



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**GESIEL GOMES DUARTE**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DEFEITOS NO PAVIMENTO NO ENTORNO DE  
POÇOS DE VISITA NO CONFORTO DOS USUÁRIOS DA VIA POR MEIO DA  
MEDIÇÃO DA ACELERAÇÃO VERTICAL**

**JOÃO PESSOA - PB**

**2024**

**GESIEL GOMES DUARTE**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DEFEITOS NO PAVIMENTO ENTORNO DE  
POÇOS DE VISITA NO CONFORTO DOS USUÁRIOS DA VIA POR MEIO DA  
MEDIÇÃO DA ACELERAÇÃO VERTICAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção de bacharel em Engenharia Civil, do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Almeida De Melo.

**JOÃO PESSOA - PB**

**2024**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

D812a Duarte, Gesiel Gomes.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DEFEITOS NO PAVIMENTO NO  
ENTORNO DE POÇOS DE VISITA NO CONFORTO DOS USUÁRIOS DA  
VIA POR MEIO DA MEDIÇÃO DA ACELERAÇÃO VERTICAL / Gesiel  
Gomes Duarte. - João Pessoa, 2024.

109 f. : il.

Orientação: Ricardo Almeida De Melo.  
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. poço de visita. 2. desnível. 3. aceleração  
vertical. 4. conforto do usuário. I. Melo, Ricardo  
Almeida De. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 62(043.2)

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**GESIEL GOMES DUARTE**

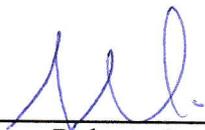
### **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DEFEITOS NO PAVIMENTO NO ENTORNO DE POÇOS DE VISITA NO CONFORTO DOS USUÁRIOS DA VIA POR MEIO DA MEDIÇÃO DA ACELERAÇÃO VERTICAL**

Trabalho de Conclusão de Curso em 10/05/2024 perante a seguinte Comissão Julgadora:



\_\_\_\_\_  
Ricardo Almeida De Melo  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



\_\_\_\_\_  
Roberto Leal Pimentel  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



\_\_\_\_\_  
Leonardo Vieira Soares  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

*Dedico este trabalho a meu Senhor, Jesus Cristo,  
e à minha família por darem sentido à minha  
vida.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela salvação, pela vida, por guiar meus passos, por iluminar o meu caminho e por todas as demais bênçãos que me concedeu.

Aos meus pais, Gesiel e Carmelia, por me ensinarem o amor e a dedicação e por me apoiarem em todos os momentos de minha vida. E ao meu pai, em especial, pela ajuda na execução deste projeto. A minha avó, Teresinha, pelos ensinamentos e pelo apoio.

Ao meu irmão, Miquéias, por me ensinar a enxergar além de minhas próprias convicções e por ser meu melhor amigo.

A minha sobrinha, Liz; às minhas primas, Melissa, Rebeca e Sarah; e, aos meus primos, Ricardo Miguel, Otto, Theo e Thomaz, por alegrarem os meus dias.

Aos meus primos, Jediael e Jeasiel, pelos conselhos ao longo da minha graduação.

A minha tia e professora, Josélia, por edificar as bases da minha educação formal.

A todos os membros da minha família, por seu apoio e pelo amor que me dedicaram.

Aos meus pastores, Antônio Pedro e Leonardo Felix, pelas orientações espirituais.

Ao meu diácono, Adriano, e ao meu tio Gerson, pelos ensinamentos sobre Cristo.

Aos meus irmãos em Cristo, pelo suporte na caminhada da fé e da vida.

A Montbravo Construtora pela oportunidade e pelo apoio.

Aos amigos que conheci durante a graduação, Caio, Caroliny, Gabriel, Hamilton, Helisson, Isaías, Jardel, Joana, Kaliel, Lucélia, Marcelo, Maria Helena, Moab, Pedro, Renan, Simas, entre muitos outros, sem os quais eu jamais poderia ter alcançado a graduação.

Aos meus amigos mais antigos, Arthur, Asafe, Isabela e Matheus pelo carinho e pelo suporte que me ofereceram.

Aos meus amigos e companheiros de Célula, Arthur Macedo, Carlos, Caio Porto, Caio Augusto, Emmanuel, Ismael, Luan e Luiz pelo companheirismo e amor que me dedicaram durante os períodos mais difíceis de minha vida.

Às minhas amigas, Alane, Clara e Stephane, pelo carinho e consideração.

Aos meus professores do ensino básico, fundamental, médio, da graduação e do curso de inglês, por todo conhecimento que me repassaram.

Ao meu professor orientador, Ricardo Almeida de Melo, pela disponibilidade e disposição em me guiar e auxiliar ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais membros da banca avaliadora, os professores Leonardo Vieira Soares e Roberto Leal Pimentel, pela disponibilidade e presteza.

A João, Juliana, Maisa e Pedro, pelo auxílio no desenvolvimento deste projeto.

## RESUMO

As redes de infraestrutura são fundamentais para a manutenção do funcionamento de um país e para garantir o seu desenvolvimento econômico e social e uma das principais dessas redes é a malha viária. No meio urbano é comum a alocação de outras redes enterradas sob as vias, em especial, as de coleta de esgoto e de drenagem de águas pluviais, mas isso pode gerar alguns pontos de conflito entre os componentes dessas redes. Destaca-se, neste trabalho, a relação entre as tampas dos poços de visita das redes subterrâneas e a superfície do pavimento nas proximidades, com um foco sobre o desnível entre esses elementos, bem como sua relação com o grau de conforto dos usuários das vias urbanas. Essa análise foi realizada por meio da condução de um experimento em 20 poços de visita distribuídos em 4 rotas no perímetro urbano de João Pessoa, PB, Brasil. O experimento envolveu a medição do desnível dos poços de visita em três pontos e a medição da aceleração vertical no interior de um automóvel, com o uso de um smartphone. Os dados de aceleração coletados foram corrigidos para não considerarem a aceleração da gravidade, foram tratados por um filtro de média móvel e calculados os valores RMS da aceleração vertical ponderada, com base no procedimento descrito na norma ISO 2631-1-1997 e no intervalo de tempo de referência adotado de 0,2 segundos. Após isso, foram avaliados os graus de conforto relativos aos valores RMS determinados. Assim, foi possível a determinação de uma relação entre o maior módulo dos desníveis medidos nos poços de visita, o valor RMS e o nível de conforto do usuário da via com uma equação exponencial de  $R^2 = 0,91$  e a montagem de uma tabela relacionando esses fatores. Conclui-se que, apesar do método aplicado possuir muitas limitações e estar sujeito a diversas fontes de imprecisão, ele pode ser utilizado para avaliação do nível de conforto em uma via, como um mecanismo de baixo custo na gestão das vias urbanas e no desenvolvimento de outros projetos, se forem implementadas correções.

**Palavras-chave:** poço de visita; desnível; aceleração vertical; conforto do usuário.

## ABSTRACT

Infrastructure networks are fundamental to maintaining the functioning of a country and ensuring its economic and social development, and one of the main networks is the road network. In urban areas, it is common to allocate other networks buried under roads, especially those for sewage collection and rainwater drainage, but this can generate some points of conflict between the components of these networks. In this work, the relationship between the manhole covers of underground networks and the surface of the nearby pavement stands out, with a focus on the difference in level between these elements, as well as its relationship with the level of comfort of urban road users. This analysis was carried out by conducting an experiment in 20 manholes distributed across 4 routes in the urban perimeter of João Pessoa, PB, Brazil. The experiment involved measuring the slope of the manholes at three points and measuring the vertical acceleration inside a car, using a smartphone. The collected acceleration data were corrected to not consider the acceleration due to gravity, were treated by a moving average filter and the RMS values of the weighted vertical acceleration were calculated, based on the procedure described in the ISO 2631-1-1997 standard and the range of adopted reference time of 0.2 seconds.. After that, the degrees of comfort relative to the determined RMS values were evaluated. Thus, it was possible to determine a relationship between the greatest module of the unevenness measured in the manholes, the RMS value and the road user's comfort level with an exponential equation of  $R^2 = 0.91$  and the assembly of a table relating these factors. It is concluded that, although the applied method has many limitations and is subject to several sources of inaccuracy, it can be used to evaluate the level of comfort on a road, as a low-cost mechanism in the management of urban roads and in the development of other projects, if corrections are implemented.

**Keywords:** manhole; unevenness; vertical acceleration; user comfort.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema básico de poço de visita e seus componentes.....	20
Figura 2: Exemplo de distribuição de bocas-de-lobo (BL), poços de visita (PV), caixas de ligação (CL) e traçados de galerias em uma rede de microdrenagem de águas pluviais.....	21
Figura 3: Esquema de redes de coleta de esgoto, de drenagem de água pluviais e de distribuição de água, enterradas sob o pavimento.....	22
Figura 4: Esquema da medição em três pontos no limite das bordas e no centro da tampa (a), a 10 cm ou 20 cm do limite das bordas e no centro da tampa (b).....	32
Figura 5: Mecanismo de fixação (a) e posicionamento do smartphone (b).....	34
Figura 6: Rota Água Fria 1.....	37
Figura 7: Rota Água Fria 2, versão 1 (a) e versão 2 (b).....	38
Figura 8: Rota Altiplano.....	39
Figura 9: Rota Cabo Branco.....	39
Figura 10: Poços de visita 1 (a), 2 (b) e 3 (c) da rota Água Fria 1.....	40
Figura 11: Poços de visita 4 (a), 5 (b), 6 (c) e 7 (d) da rota Água Fria 2.....	41
Figura 12: Poços de visita 8 (a), 9 (b), 10 (c) e 11 (d) da rota Altiplano.....	42
Figura 13: Poços de visita 12 (a), 13 (b), 14 (c), 15 (d), 16 (e), 17 (f), 18 (g), 19 (h) e 20 (l) da rota Cabo Branco.....	43

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	46
Gráfico 2: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	46
Gráfico 3: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	48
Gráfico 4: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	48
Gráfico 5: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	49
Gráfico 6: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	50
Gráfico 7: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	51
Gráfico 8: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	51
Gráfico 9: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	53
Gráfico 10: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	53
Gráfico 11: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	54
Gráfico 12: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	55
Gráfico 13: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	56
Gráfico 14: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	56
Gráfico 15: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem	

tratamento com filtro.....	57
Gráfico 16: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	58
Gráfico 17: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	59
Gráfico 18: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	59
Gráfico 19: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	61
Gráfico 20: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	61
Gráfico 21: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	62
Gráfico 22: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	63
Gráfico 23: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	64
Gráfico 24: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	65
Gráfico 25: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	66
Gráfico 26: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	66
Gráfico 27: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	67
Gráfico 28: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	68
Gráfico 29: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	69
Gráfico 30: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	70
Gráfico 31: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo	

(s), da rota Cabo Branco, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	71
Gráfico 32: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	72
Gráfico 33: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	73
Gráfico 34: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	74
Gráfico 35: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	75
Gráfico 36: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	76
Gráfico 37: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.....	77
Gráfico 38: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.....	78
Gráfico 39: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	79
Gráfico 40: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	79
Gráfico 41: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	80
Gráfico 42: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	81
Gráfico 43: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	82
Gráfico 44: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	82
Gráfico 45: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	83
Gráfico 46: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	84
Gráfico 47: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	84
Gráfico 48: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	85
Gráfico 49: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	86
Gráfico 50: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 3,	

com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	86
Gráfico 51: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	87
Gráfico 52: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	88
Gráfico 53: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	89
Gráfico 54: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	89
Gráfico 55: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	90
Gráfico 56: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	91
Gráfico 57: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto....	91
Gráfico 58: Efeito do desnível no ponto 1 na aceleração vertical e no conforto dos usuários em todos os poços de visita, considerando a média das voltas.....	99
Gráfico 59: Efeito do desnível no ponto 2 na aceleração vertical e no conforto dos usuários em todos os poços de visita, considerando a média das voltas.....	100
Gráfico 60: Efeito do desnível no ponto 3 na aceleração vertical e no conforto dos usuários em todos os poços de visita, considerando a média das voltas.....	100
Gráfico 61: Efeito do maior desnível na aceleração vertical e no conforto dos usuários em todos os poços de visita, considerando a média das voltas.....	101
Gráfico 62: Efeito da média do desnível na aceleração vertical e no conforto dos usuários em todos os poços de visita, considerando a média das voltas.....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre os valores RMS da aceleração ponderada e o grau de conforto.....	26
Tabela 2: Determinação do intervalo de tempo considerado para cada poço de visita.....	35
Tabela 3: Limites adotados para os níveis de conforto.....	36
Tabela 4: Propriedades dos poços de visita da rota Água Fria 1.....	40
Tabela 5: Propriedades dos poços de visita da rota Água Fria 2.....	41
Tabela 6: Propriedades dos poços de visita da rota Altiplano.....	42
Tabela 7: Propriedades dos poços de visita da rota Cabo Branco.....	43
Tabela 8: Valores de referência para tratamento dos valores medidos de aceleração vertical..	45
Tabela 9: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 1, na volta 1.....	45
Tabela 10: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 1, na volta 2.....	47
Tabela 11: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 1, na volta 4.....	49
Tabela 12: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 1, na volta 5.....	50
Tabela 13: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 2, na volta 1.....	52
Tabela 14: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 2, na volta 2.....	54
Tabela 15: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 2, na volta 3.....	55
Tabela 16: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 2, na volta 4.....	57
Tabela 17: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 2, na volta 5.....	58
Tabela 18: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Altiplano, na volta 1.....	60
Tabela 19: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Altiplano, na volta 2.....	62
Tabela 20: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Altiplano, na volta 3.....	63
Tabela 21: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Altiplano, na volta 4.....	65
Tabela 22: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Altiplano, na volta 5.....	67
Tabela 23: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 1.....	68
Tabela 24: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 2.....	70
Tabela 25: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 3.....	72

Tabela 26: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 4.....	74
Tabela 27: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 5.....	76
Tabela 28: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 1 em todas as rotas.....	92
Tabela 29: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 2 em todas as rotas.....	93
Tabela 30: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 3 em todas as rotas.....	95
Tabela 31: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 4 em todas as rotas.....	96
Tabela 32: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 5 em todas as rotas.....	97
Tabela 33: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, com a média das voltas e em todas as rotas.....	98
Tabela 34: Relação entre os níveis de conforto do usuário, os valores RMS da aceleração vertical ponderada limites de cada nível e o maior entre os módulos dos desníveis calculados a partir desses limites.....	102

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1 OBJETIVOS.....	18
<b>1.1.1 Objetivo geral.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
1.2 ESTRUTURA DESTE TRABALHO.....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
2.1 POÇOS DE VISITA E DEFEITOS NO PAVIMENTO NO SEU ENTORNO.....	20
2.2 IMPACTO PARA OS USUÁRIOS DAS VIAS.....	23
2.3 MEDIDAS CORRETIVAS E PREVENTIVAS.....	23
2.4 MEDIÇÃO DA ACELERAÇÃO.....	23
<b>2.4.1 Detecção de defeitos no pavimento.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.2 Impactos de defeitos no pavimento sobre o conforto dos usuários.....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.3 Tratamento dos valores de aceleração vertical medidos.....</b>	<b>27</b>
<b>3. PROPOSIÇÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	30
4.2 MEDIÇÃO DO DESNÍVEL.....	30
<b>4.2.1 Materiais utilizados na medição do desnível.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2.2 Descrição do método de medição em três pontos.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2.3 Tratamento das informações coletadas na medição em três pontos.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.4 Limitações do método de medição em três pontos.....</b>	<b>33</b>
4.3 MEDIÇÃO DA ACELERAÇÃO VERTICAL.....	33
<b>4.3.1 Materiais utilizados na medição da aceleração vertical.....</b>	<b>33</b>
<b>4.3.2 Descrição do método de medição com smartphone.....</b>	<b>33</b>
<b>4.3.3 Tratamento das informações coletadas com smartphone.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.4 Limitações do método de medição com smartphone.....</b>	<b>36</b>
4.4 ROTAS EM ESTUDO.....	37
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
5.1 CARACTERÍSTICAS E DESNÍVEL DOS POÇOS.....	40
5.2 AVALIAÇÃO DA ACELERAÇÃO VERTICAL.....	44
<b>5.2.1 Aceleração na rota Água Fria 1.....</b>	<b>45</b>
<b>5.2.2 Aceleração na rota Água Fria 2.....</b>	<b>52</b>
<b>5.2.3 Aceleração na rota Altiplano.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2.4 Aceleração na rota Cabo Branco.....</b>	<b>68</b>
5.3 EFEITO SOBRE O CONFORTO DOS USUÁRIOS.....	78
<b>5.3.1 Conforto na rota Água Fria 1.....</b>	<b>78</b>
<b>5.3.2 Conforto na rota Água Fria 2.....</b>	<b>81</b>
<b>5.3.3 Conforto na rota Altiplano.....</b>	<b>85</b>
<b>5.3.4 Conforto na rota Cabo Branco.....</b>	<b>88</b>

<b>5.3.5 Conforto no geral.....</b>	<b>92</b>
<b>5.4 LIMITAÇÕES ENCONTRADAS NO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>103</b>
<b>6. CONCLUSÃO E DISCUSSÕES.....</b>	<b>104</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>105</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A malha viária representa uma parte fundamental da infraestrutura de um país, possibilitando e facilitando o trânsito das cargas e pessoas pelo território nacional, favorecendo a integração física entre as diversas áreas do país, seja em nível municipal, estadual ou federal (MARTINELLI *et al.*, 2022). Portanto, defeitos nos componentes dessa malha possuem grande impacto entre a população do país, tanto no âmbito da economia e da segurança, quanto no conforto e qualidade de vida.

Outros integrantes da infraestrutura brasileira possuem pontos de intersecção física com a malha viária. Isso se deve ao fato de parte dessas redes serem dispostas sob os pavimentos das vias, como as tubulações da rede pública de abastecimento de água e da rede de coleta de esgoto, além das galerias da rede de drenagem urbana (ABNT, 2020; SANTOS, 2015).

Os poços de visita e de inspeção são partes de suma importância das redes de condutos livres, seja na instalação de novas tubulações ou na avaliação e manutenção de trechos já construídos, de acordo com CHANG; YANG; LIN (2014), ZHAO *et al.* (2019), HU *et al.* (2020), ABNT (2020) e ABNT (1986). E portanto, podem ser encontrados em uma quantidade bastante considerável em grande parte das vias brasileiras, principalmente nos maiores centros urbanos. Porém, também é bastante comum observar-se a presença de diversos defeitos no pavimento no entorno da entrada desses poços, como trincamento e o desnivelamento (AZAMBUJA, 2009). Esses defeitos, podem representar fontes de acidentes e de grande desconforto para os usuários da malha viária, afetando uma parcela considerável da população (ZHAO *et al.*, 2019).

Esses defeitos podem ter origens em fontes diversas e, segundo ZHAO *et al.* (2019), os principais fatores que influenciam o conforto dos usuários das vias quando em passagem por esses defeitos próximos aos poços de visita são: a velocidade do veículo e o desnivelamento da tampa do poço.

Assim, se verifica ser necessária uma avaliação quanto ao impacto desses defeitos no conforto dos motoristas, em especial o desnivelamento dos poços com o pavimento circundante, para favorecer o desenvolvimento de medidas de detecção e correção desses problemas e reforçar a qualidade de vida da população. Porém, um dos principais problemas enfrentados no desenvolvimento desses métodos de avaliação é impedir que os custos relacionados a eles sejam proibitivos de sua aplicação, principalmente considerando a grande extensão das vias urbanas brasileiras e a necessidade de reforçar a atratividade econômica desses procedimentos para os gestores urbanos, levando em conta os limitados orçamentos municipais (MARTINELLI *et al.*, 2022).

Um método de menor custo que pode ser aplicado para avaliação do impacto de defeitos no pavimento sobre os usuários das vias é a medição da aceleração vertical, que pode ser relacionada tanto à condição do pavimento quanto ao conforto dos motoristas, conforme CELAYA-PADILLA *et al.* (2018), MARTINELLI *et al.* (2022), MULITERNO; JUNIOR; PRAVIA (2019), WANG *et al.* (2021), ZHANG; LI; LIU (2020), ZHAO *et al.* (2019), FIGUEIREDO; SILVA; BARNABÉ (2016) e ZHOU *et al.* (2022). Esse é um procedimento mais prático do que a inspeção visual presencial e menos custoso, tanto em aspectos financeiros quanto em poder computacional exigido, do que a análise de registros visuais fotográficos (MARTINELLI *et al.*, 2022; ZHANG; LI; LIU, 2020).

Além disso, na pesquisa bibliográfica empreendida neste projeto, alguns índices relevantes que correlacionam a aceleração com o conforto puderam ser encontrados, principalmente em referência à norma internacional ISO 2631-1-1997 (BRITO; OLIVEIRA, 2017; FIGUEIREDO; SILVA; BARNABÉ, 2016; ZHAO *et al.*, 2019).

Levando em conta esses aspectos, foi realizado um experimento para a medição da aceleração vertical de um veículo passando por 20 poços de visita, em uma velocidade aproximada de 40 km/h, distribuídos em quatro rotas na área urbana da cidade de João Pessoa, PB, Brasil. Sendo empregado o uso de um smartphone, instalado no interior do veículo, e um aplicativo gratuito nomeado *Accelerometer Meter*. Em paralelo, também foram medidos os desníveis das tampas dos poços em relação ao entorno, por meio de um método de medição de três pontos.

Os valores de aceleração vertical medidos no experimento foram, então, compilados em tabelas, tratados por um filtro de média móvel e calcularam-se, a partir deles, os valores RMS da aceleração ponderada de acordo com a frequência, conforme recomendado na norma ISO 2631-1-1997. Assim, esses valores RMS puderam ser correlacionados ao conforto no interior do veículo por meio de uma tabela de referência presente na mesma norma. E, os resultados dessa análise puderam, então, ser relacionados graficamente aos desníveis encontrados nos poços, avaliando o efeito desses últimos sobre o conforto dos usuários das vias.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

- Estudar, por meio de um experimento conduzido nas vias de João Pessoa, PB, Brasil, a relação entre o desnível entre poços de visita e o pavimento circundante e o conforto dos usuários das vias, por meio da medição da aceleração vertical.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o tema de defeitos no pavimento no entorno de poços de visita;
- Realizar experimento de medição da aceleração vertical de um veículo sobre os poços de visita em estudo e de medição do desnível desses poços em relação ao pavimento;
- Estudar a relação entre a aceleração e o desnível medidos e o conforto dos usuários, com base na ISO 2631-1-1997.

## 1.2 ESTRUTURA DESTE TRABALHO

Este primeiro capítulo do trabalho, trata de introduzir o tema do impacto que o desnível em poços de visita pode exercer sobre o conforto dos usuários das vias urbanas e sobre a importância da busca por métodos de menor custo para a avaliação desse impacto. Além de apresentar os principais objetivos do trabalho e dos procedimentos experimentais adotados.

O segundo capítulo, trata de uma apresentação da revisão bibliográfica que foi conduzida sobre o tema. Abordando as propriedades dos poços de visita e dos defeitos que podem surgir em seu entorno, os impactos que esses defeitos podem exercer sobre os usuários das vias, as medidas de mitigação que podem ser adotadas e uma descrição das características e aplicações do método de medição da aceleração na avaliação do pavimento.

O terceiro capítulo, trata da tese do trabalho, de que o desnível entre poços de visita e o pavimento circundante pode afetar significativamente o conforto. Além de referir-se à

proposta de experimento e análise que foi adotada com base na norma ISO 2631-1.

O quarto capítulo, trata de uma descrição completa das etapas de desenvolvimento da pesquisa bibliográfica, dos experimentos de medição de desnível e de aceleração vertical executadas ao longo deste projeto e das características das rotas em estudo neste projeto. Além de expor os materiais e softwares utilizados, os mecanismos de tratamento e de análise das informações coletadas e as limitações encontradas nos métodos adotados. E, por fim, registrar as bases teóricas para o procedimento de análise de dados adotado neste trabalho.

O quinto capítulo trata da apresentação, principalmente, com o emprego de gráficos e tabelas dos resultados obtidos por meio dos experimentos e do tratamento de dados adotado. Indo desde a exposição dos dados coletados nos poços em estudo, até uma avaliação gráfica dos impactos dos poços sobre as variações de aceleração vertical, com e sem a aplicação do filtro adotado, sobre os valores RMS da aceleração ponderada e sobre o conforto dos usuários. E, novamente, do registro das limitações encontradas durante a execução dos experimentos e da análise.

O sexto capítulo trata das conclusões obtidas a partir dos resultados compilados no capítulo anterior e de uma avaliação crítica dessas conclusões e de como os procedimentos adotados poderiam ser empregados no desenvolvimento de pesquisas futuras.

O sétimo capítulo, por fim, lista as referências bibliográficas do trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

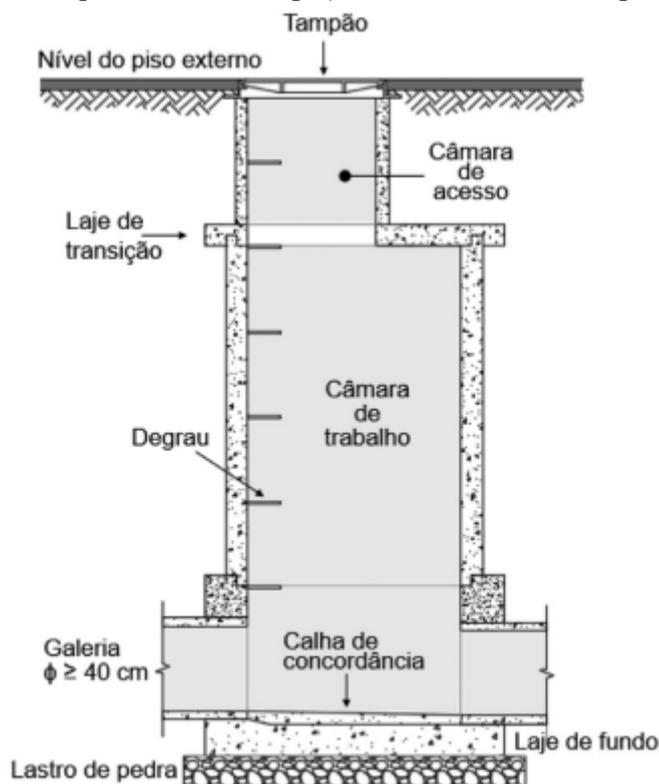
### 2.1 POÇOS DE VISITA E DEFEITOS NO PAVIMENTO NO SEU ENTORNO

Os poços de visita e poços de inspeção são estruturas de grande importância para os sistemas de infraestrutura urbana que podem ser instalados enterrados, como: as redes de abastecimento de água e de gás, de coleta de esgoto, de galerias para drenagem urbana de águas pluviais, de fornecimento de eletricidade e de acesso à telefonia e à internet. Esses poços são estruturas rígidas que ligam os componentes subterrâneos das redes à superfície. Os poços de visita cumprem a função de permitir o acesso de pessoas a esses componentes para possibilitar sua vistoria, desobstrução e demais procedimentos que servem à manutenção de seu funcionamento normal, empregados em redes de condutos livres. Já os poços de inspeção permitem somente, como explicitado por seu título, a inspeção dos itens da rede e o uso de aparelhos de desobstrução, caso necessário, sem permitirem o acesso de pessoas (ABNT, 2020).

Esses poços contribuem significativamente para manter o pleno funcionamento das redes subterrâneas de infraestrutura urbana. Por exemplo, de acordo com ABNT (1986), no caso de uma rede de coleta de esgoto, a instalação de poços de visita é necessária em diversos pontos, como: no início dos coletores, nos pontos de encontro entre os coletores e nas seções onde há mudanças de direção, de inclinação, de diâmetro e de profundidade por meio de degraus. Além de que a distância entre poços consecutivos deve ser restrita de acordo com o limite de ação dos aparelhos de desobstrução.

Geralmente, os poços de visita apresentam uma configuração similar à representada na figura 1.

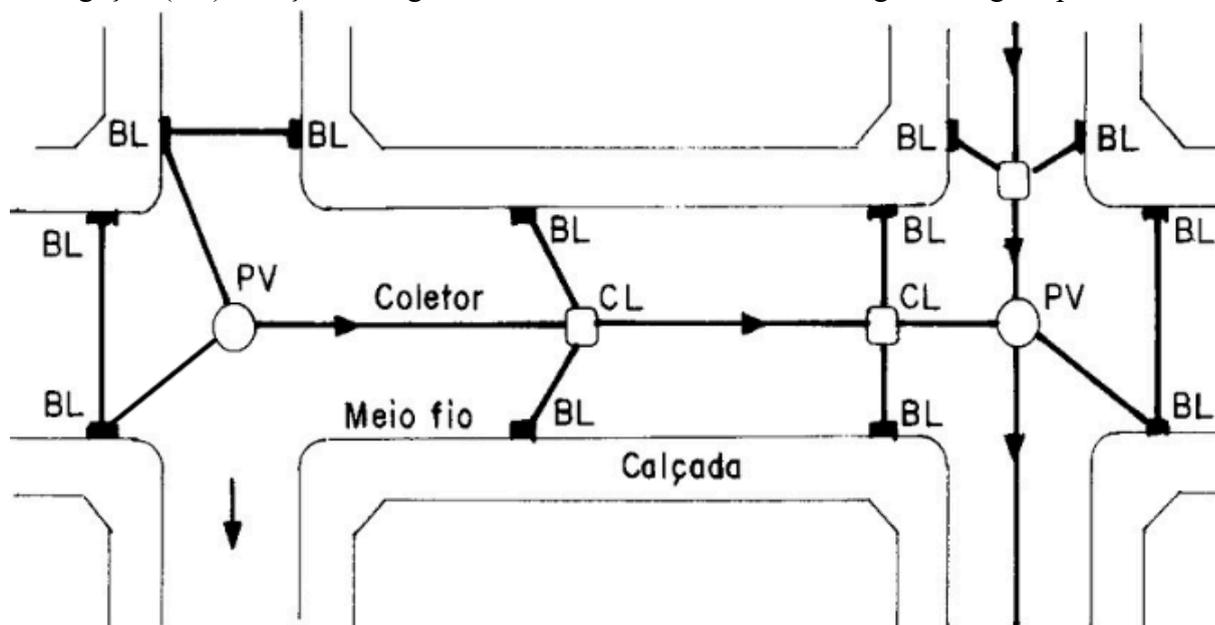
Figura 1: Esquema básico de poço de visita e seus componentes.



Fonte: (Diogo, 2023).

Outro caso, é o da rede de drenagem de águas pluviais urbanas. A alocação de poços de visita na rede de galerias que compõem a rede de microdrenagem urbana é recomendada em diversos pontos, assim como no caso da rede de coleta de esgoto: no encontro de coletores, nos cruzamentos de vias, no início da rede e nos locais de mudança de direção, de declividade e de diâmetro; cumprindo também a função de permitir a desobstrução, inspeção e manutenção dos condutos (PAZ, 2023). Além disso, TUCCI (1995, apud PAZ, 2023) também recomenda valores de espaçamento máximo entre os poços de acordo com o diâmetro das galerias: espaçamento de 120 metros para condutos de 300 milímetros de diâmetro, 150 m para entre 500 e 900 mm e 180 m para diâmetros superiores a 1000 mm, o que reforça a grande presença desses itens nas cidades. Principalmente, considerando que, em 2022, 24,8% das vias públicas urbanas brasileiras já possuíam canalizações enterradas sob elas (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS, 2022). Geralmente dispostas em uma configuração similar ao exemplo exposto na figura 2.

Figura 2: Exemplo de distribuição de bocas-de-lobo (BL), poços de visita (PV), caixas de ligação (CL) e traçados de galerias em uma rede de microdrenagem de águas pluviais.



Fonte: (TUCCI, 2004, apud PAZ, 2024).

Portanto, devido ao papel desempenhado por essas estruturas nessas redes, os poços de visita podem ser encontrados em grande quantidade no território brasileiro, em especial no contexto urbano.

Os componentes das redes de infraestrutura são geralmente alocados sob as vias públicas como um meio de reduzir as interferências de seus elementos sobre a paisagem e sobre o uso do espaço público pela população, sem sacrificar o acesso dessa mesma população aos benefícios do acesso à essas redes (SANTOS, 2015), como representado no esquema da figura 3.

Figura 3: Esquema de redes de coleta de esgoto, de drenagem de água pluviais e de distribuição de água, enterradas sob o pavimento.



Fonte: (Descubra [...], 2023)

Porém, pode-se também constatar a presença de defeitos no pavimento no entorno das tampas de grande parte desses poços, principalmente: o desnivelamento com o pavimento circunvizinho e o aparecimento de trincas de acordo com AZAMBUJA (2009), ZHAO *et al.* (2019), CHANG; YANG; LIN (2014), HU *et al.* (2020), ZHANG; ZHAO; PENG (2020) e ZHOU *et al.* (2022).

Entre as principais causas para o surgimento desses defeitos, de acordo com ZHAO *et al.* (2019) e AZAMBUJA (2009), estão:

- A dificuldade de compactação ao redor dos poços que pode sujeitar essa região ao adensamento;
- A descoordenação e falta de comunicação e de troca de dados entre os responsáveis pelos pavimentos e pelas redes subterrâneas nos âmbitos do planejamento, da instalação, da gestão e da manutenção dessas áreas, o que pode ocasionar o desnível entre os poços e as vias;
- Os diferentes níveis de rigidez entre os pavimentos, principalmente, no caso de pavimentos flexíveis; e, a estrutura mais rígida dos poços, geralmente montados com anéis de concreto (ABNT, 2020), o que pode favorecer o recalque diferencial entre esses elementos;
- Entre outras causas.

Além disso, de acordo com HU *et al.* (2020), os próprios danos já presentes no pavimento podem ocasionar uma aceleração na taxa de deterioração de sua condição, por ampliarem o impacto das cargas dos veículos sobre a área. Um fator também avaliado por ZHANG; ZHAO; PENG (2020), que conclui que a resistência à fadiga do pavimento se reduz conforme o afundamento da tampa dos poços cresce, ou seja, conforme o desnível entre o pavimento no entorno dos poços e as suas coberturas se amplia.

Esses fatores explicam a classificação das áreas no entorno dos poços como pontos de fragilidade das vias urbanas (ZHAO *et al.*, 2019), por representarem um espaço onde pode ser constatada, geralmente, uma maior presença de defeitos e uma maior suscetibilidade para esses defeitos apresentarem uma severidade mais elevada.

## 2.2 IMPACTO PARA OS USUÁRIOS DAS VIAS

Devido aos defeitos descritos, os trechos de pavimento nas cercanias de poços de visita podem representar fontes de desconforto para os usuários das vias. Principalmente, considerando o efeito significativo que as mudanças abruptas de velocidade e as vibrações dos veículos podem ter sobre o conforto dos motoristas e passageiros, seja no caso de carros de passeio, ônibus, caminhões ou motocicletas, conforme explorado por ZHAO *et al.* (2019) e WANG *et al.* (2021).

Além de fontes de desconforto, essas áreas também podem ser fontes de insegurança para os usuários, conforme ZHAO *et al.* (2019) e ZHOU *et al.* (2022). Sendo que esse último, propõe uma classificação dos graus de desnível das tampas dos poços que descreve como os diferentes graus podem afetar a segurança dos veículos e dos motoristas:

“‘Bom’ significa que a tampa está completa e em boas condições; ‘Médio’ significa que a tampa do poço está provavelmente danificada ou acabou de começar a ser danificada, o que irá afetar levemente a segurança do veículo, mas precisa ser abordada; ‘Pobre’ significa que a tampa do poço está seriamente amassada e pode estar seriamente danificada, o que irá afetar a segurança na condução do veículo e precisa ser reparada imediatamente.” (ZHOU *et al.*, 2022, tradução nossa)

Portanto, pode-se concluir que os defeitos no entorno dos poços de visita representam problemas bastante relevantes para o usufruto das vias urbanas pela população e que, logo, devem ser abordados pelas políticas públicas. Os seus efeitos sobre o conforto e segurança dos usuários das vias urbanas devem ser mitigados.

## 2.3 MEDIDAS CORRETIVAS E PREVENTIVAS

Algumas das medidas normalmente empregadas, no caso brasileiro, no reparo desse tipo de defeitos, envolvem (AZAMBUJA, 2009):

- A correção, por adição ou remoção, do concreto de regularização do nível das tampas dos poços;
- O selamento das trincas que forem detectadas no entorno dos poços;
- O uso de remendos no caso de afundamentos mais profundos ou buracos abertos no pavimento.

Ou seja, medidas com um foco mais corretivo dos defeitos, como outras medidas descritas para outros defeitos no manual de restauração de pavimentos asfálticos (BRASIL, 2006). Seguindo a mudança de foco nas últimas décadas, também descrita no manual, das atividades de construção para as de restauração no contexto rodoviário brasileiro, em busca de uma malha viária mais auto-sustentável.

Além disso, ao redor do globo também ocorreu o desenvolvimento de diversas medidas de mitigação focadas em abordagens alternativas para o problema. Como, de acordo com CHANG; YANG; LIN (2014): o emprego de novas técnicas e materiais alternativos na manutenção dos poços e o reforço à políticas mais rígidas de gerenciamento, fiscalização e manutenção das vias urbanas taiwanesas; alcançando resultados bastante satisfatórios, como a redução na quantidade de vias que falhavam em atender às exigências regulamentares do país de 87% em 2008 para 19% em 2011, de acordo com o artigo.

## 2.4 MEDIÇÃO DA ACELERAÇÃO

Além das medidas de atenuação descritas anteriormente, outro conjunto de medidas em estudo atualmente, mais voltado ao monitoramento e coleta de dados, se concentra na medição da aceleração dos veículos ou das próprias tampas dos poços durante os eventos de passagem dos veículos, tanto para determinação do impacto dos defeitos sobre o conforto dos usuários quanto para detecção dos próprios defeitos. Esse é um método de coleta que vem sendo investigado com relação a diversos tipos de defeitos encontrados nas vias, com objetivos variados.

#### 2.4.1 Detecção de defeitos no pavimento

No âmbito da detecção de defeitos, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos, tanto no exterior, como também no território nacional. Principalmente, em relação à busca por novos métodos de avaliação da condição dos pavimentos de menor custo e de alta produtividade que possam ser aplicados na elaboração de sistemas de gerência de pavimentos mais eficazes, eficientes e viáveis, conforme recomendação do manual de gerência de pavimentos (BRASIL, 2011).

De acordo com essa perspectiva, BISCONSINI (2016) estudou o uso de dois aplicativos: o *Accelerometer Analyser* e o *AndroSensor*; instalados em três modelos de smartphones diferentes, que foram fixados sobre o painel dos veículos, para a medição da aceleração vertical de um veículo ao transitar por diferentes trechos de estrada, repetidas vezes. Os resultados dessas medições foram, então, tratados por filtros para redução do ruído e calculados em termos de RMSVA (*Root Mean Square Vertical Acceleration*, traduzido como aceleração vertical quadrática média). Por fim, os dados obtidos foram utilizados para a determinação do IRI (*International Roughness Index*, traduzido como índice internacional de irregularidade) dos trechos e os resultados obtidos foram comparados com os resultados determinados por meio da aplicação do método de Nível e Mira, recomendado como referência. A dissertação conclui que o uso dos smartphones para a avaliação da irregularidade dos pavimentos é uma alternativa viável, se forem levados em consideração as diversas limitações desse método, como: as diferenças entre os veículos utilizados nas aferições, as limitações de medição dos smartphones, a necessidade da aplicação de filtros devido ao ruído nas medições, entre outros fatores.

Seguindo uma linha de pesquisa similar, MULITERNO; JUNIOR; PRAVIA (2019) trabalharam a aplicação dos smartphones para a avaliação do IRI de pavimentos em pontes. O aplicativo utilizado nesse caso também foi o *Accelerometer Analyzer*, instalado em dois aparelhos que foram fixados sobre a suspensão do veículo e no interior do veículo, sobre o assoalho. Os dados também foram tratados por filtros e a integral dupla dos valores de aceleração foi calculada. E os resultados foram, então, também comparados com os resultados obtidos pelo método de Nível e Mira. O artigo conclui que há correlação satisfatória entre os métodos para que o uso dos smartphones possa ser considerada uma alternativa viável para a avaliação do IRI em pontes, principalmente com relação ao aparelho fixado sobre a suspensão do carro. Além disso, o artigo também destaca a importância dos filtros para garantir a confiabilidade dos dados tendo em vista a presença significativa de ruídos nas medições brutas.

Quanto aos trabalhos estrangeiros, ZHANG; LI; LIU (2020) se propuseram a estudar o monitoramento da condição das tampas de poços de visita utilizando acelerômetros de detecção triaxial e de baixo gasto energético, instalados sob as próprias tampas. Obtendo resultados de alta precisão na avaliação de anormalidades nas tampas.

De acordo com CELAYA-PADILLA et al. (2018), foi conduzido um estudo na cidade de Zacatecas no México com o objetivo de desenvolver um método mais ágil e barato para a detecção de anormalidades no pavimento das vias, com um foco na aplicação dos conceitos de

*Internet of Things* (traduzido como internet das coisas) e *Smart City* (traduzido como cidade inteligente), unindo os avanços tecnológicos no campo da internet e a sustentabilidade urbana. Os experimentos conduzidos envolveram o uso de Raspberry Pi 3 para a coleta dos dados de três tipos de sensores diferentes: um acelerômetro, um giroscópio e um GPS. As informações obtidas a partir dos dados coletados foram utilizadas para o desenvolvimento de um modelo de detecção quase em tempo real de anormalidades, baseado em um algoritmo genético de *machine learning* (traduzido como aprendizado de máquina). O modelo final desenvolvido, a partir dos dados de um teste de direção conduzido a 20 km/h por vias da cidade, atingiu uma precisão de 0,9714 em avaliação cega e uma taxa de falsos positivos de aproximadamente 0,018, um resultado bastante satisfatório para os objetivos do estudo.

Já em um estudo conduzido em Florença na Itália (MARTINELLI et al., 2022), foram utilizados dois acelerômetros de baixo custo, instalados um no painel e o outro no assoalho de um carro, para medição da aceleração em três eixos durante um teste de direção em trechos das vias da cidade. Os resultados, foram tratados por uma análise de Fourier de curto prazo para obtenção das informações dos sinais de energia do domínio tempo-frequência, e, o coeficiente de variação e a entropia desses sinais foram utilizados para a classificação da condição dos pavimentos em três tipos:

- Sinais de curto prazo de anormalidade, como buracos e tampas de poços de visita;
- Sinais de longo prazo de anormalidade, como trincamentos por fadiga;
- Sinais de conformidade, ou seja, pavimentos sem defeitos.

Os condutores desse estudo, aplicaram três algoritmos de *machine learning* supervisionados para essa classificação e obtendo, com o mais preciso deles, uma taxa de 97%, 84% e 97% de acurácia para cada tipo de sinal, respectivamente.

Em um estudo semelhante, com um foco em poços de visita nesse caso, ZHOU et al. (2022) utilizaram diversos smartphones instalados em veículos diferentes para conduzir testes de direção no campus de Yuehai da universidade de Shenzhen. O objetivo do estudo era montar um modelo de *machine learning* que pudesse detectar as tampas dos poços de visita presentes nas vias e classificá-las conforme o grau de subsidência. Para cumprir esse propósito, os aparelhos coletavam fotografias do pavimento das vias e detectavam os dados de aceleração linear e angular do veículo, alimentando o modelo com as informações obtidas a partir do tratamento desses dados. Como descrito anteriormente no tópico 2.2, o modelo classificou os poços em estudo nas classes de “bom”, “médio” e “pobre”, atingindo um grau de precisão médio de 86,9%.

#### **2.4.2 Impactos de defeitos no pavimento sobre o conforto dos usuários**

No caso da análise em foco neste estudo: a avaliação do impacto dos defeitos no pavimento sobre o conforto dos usuários das vias; a aceleração tem sido explorada como um parâmetro importante para essa avaliação, devido aos efeitos que a vibração pode ter sobre os seres humanos.

Quanto aos efeitos da vibração sobre a saúde, BRITO; OLIVEIRA (2017) desenvolveram algoritmos, utilizando a linguagem *Matlab*, com base na norma ISO 2631, para construir filtros para o tratamento de dados de aceleração para determinação dos valores RMS da aceleração ponderada. O objetivo do estudo era o uso dessas informações para a avaliação do desconforto em edificações. Essa avaliação se deu por meio da aplicação da ISO 2631-1 para classificação do grau de desconforto em relação ao nível de vibração experimentado, conforme a tabela 1 abaixo, adaptada da norma:

Tabela 1: Relação entre os valores RMS da aceleração ponderada e o grau de conforto.

Valores RMS da aceleração ponderada (m/s <sup>2</sup> )	Grau de conforto
< 0,315	Confortável
Entre 0,315 e 0,630	Pouco desconfortável
Entre 0,500 e 1,000	Razoavelmente desconfortável
Entre 0,800 e 1,600	Desconfortável
Entre 1,250 e 2,500	Muito desconfortável
> 2,000	Extremamente desconfortável

Fonte: ISO 2631-1 (1997, apud BRITO; OLIVEIRA, 2017).

No caso de WANG et al. (2021), foram conduzidos 18 testes de direção em uma rota em Xian, na China, com o objetivo de avaliar a relação entre os movimentos realizados por um ônibus ao transitar pelo percurso e o desconforto dos seus passageiros, com o propósito de servir como dados de apoio aos órgãos de gestão quanto à determinação das rotas de transporte público e dos métodos de condução dos motoristas. Esse desconforto foi aferido por meio de um mecanismo de *feedback* disponibilizado para os 22 participantes do teste, com um foco sobre o enjôo experimentado por eles devido aos movimentos do veículo, o fenômeno da *motion sickness*. Já os movimentos do ônibus foram avaliados por meio da instalação de um smartphone sobre o assoalho do ônibus e do uso do aplicativo *Acceler log* para medição da aceleração linear e angular em seis graus de liberdade. Os dados coletados foram, então, tratados por filtros e correlacionados às informações do desconforto. O estudo, por fim, concluiu que a duração do enjôo pôde ser prevista com 79,8% de precisão a partir dos indicadores de aceleração lateral, rotação e velocidade angular de inclinação do veículo.

Seguindo a mesma linha de estudo quanto ao tratamento do conforto e da saúde no transporte público, FIGUEIREDO; SILVA; BARNABÉ (2016) abordam a investigação do grau de exposição do motorista, do cobrador, e, de passageiros nos assentos centrais e frontais do ônibus, à vibração de corpo inteiro. Para avaliação da vibração, foram empregados aparelhos de medição de vibração e de aceleração, além de métodos de tratamento de dados descritos na norma ISO 2631 para determinação dos níveis de desconforto experimentados nas posições em estudo. Ao fim da análise das informações, pôde-se concluir que os assentos dos cobradores e dos motoristas não são suficientemente adequados para garantir a manutenção de sua saúde, tendo em vista os efeitos da vibração. Enquanto que, esses efeitos não representam um grande risco no caso dos passageiros, pois, devido ao baixo período de exposição, os efeitos do desconforto constatado no percurso, de acordo com a tabela 1, não são capazes de gerar grandes danos à sua saúde.

Por fim, ZHAO et al. (2019) trata especificamente do tema do uso da medição da aceleração como um critério para avaliação do grau de conforto no interior de um veículo ao passar por um poço de visita e seu entorno. O estudo se desenvolveu por meio do desenvolvimento de um modelo humano-veículo-tampa com múltiplos graus de liberdade e da determinação, com a aplicação da linguagem de programação *Matlab*, das variações na aceleração de condução do veículo. Usando a classificação apresentada na norma ISO 2631-1, referenciada na tabela 1, os dados iniciais adotados para aplicação do modelo, e, a partir do cálculo do valor RMS da aceleração ponderada foi determinado que, no ponto de máxima aceleração, a classificação do grau se deu como “desconfortável”. Além disso, também se realizou um estudo da relevância de diversos fatores para o grau de conforto, por meio da avaliação da variação de seus valores e da aplicação do método de correlação cinza de entropia para examinar essas relações. O artigo conclui que os principais fatores que influenciam o grau de conforto no interior do veículo que transita sobre uma tampa de poço

de vista e o pavimento circundante são: a inclinação longitudinal, a velocidade de condução, o desnível causado por danos no pavimento circundante e pela subsidência dos poços, a rigidez dos pneus, a rigidez da tampa dos poços e o amortecimento dos pneus.

### 2.4.3 Tratamento dos valores de aceleração vertical medidos

Neste tópico, estão descritas as bases teóricas para o tratamento das informações de aceleração vertical medidos em campo.

No caso de CELAYA-PADILLA et al. (2018), a localização dos defeitos detectados pelo procedimento da medição de aceleração era determinada por meio de um estudo da superfície do pavimento e da correlação dessas visitas em campo com o referenciamento geográfico por GPS e com base na velocidade média dos veículos.

No caso deste trabalho em função de limitações do aplicativo acelerômetro utilizado neste projeto, *Accelerometer*, que não coleta informações de localização, adotou-se um procedimento fundamentado na definição de intervalos temporais, com base:

- No tempo de referência marcado durante a passagem sobre os pontos de interesse do percurso;
- No tempo de passagem pelo diâmetro do poço, adotado igual a 60 cm, conforme ABNT (1986);
- No tempo extra escolhido pelo autor de acordo com a experiência de campo;
- No tempo de reação médio dos seres humanos igual a 0,45 segundo, conforme SILVA et al. (2016).

Além das variações na aceleração vertical, o aplicativo *Accelerometer* também detecta, no eixo vertical z, o valor da aceleração da gravidade. Com o objetivo de considerar apenas as variações de aceleração vertical do veículo no percurso, o valor da gravidade foi subtraído dos valores medidos. Sendo adotado,  $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ , de acordo com GOUVEIA (2024).

Posteriormente, para reduzir o ruído das medições realizadas, tratou-se os dados com um filtro de média móvel. Embora esse filtro possa ser considerado bastante simplificado, considerou-se que sua aplicação nesse caso poderia ser adequada (MULITERNO; JUNIOR; PRAVIA, 2019). Portanto, a média móvel pode ser determinada pela equação 01 abaixo, de acordo com SMITH (1999):

$$y(i) = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} x(i + j) \quad (01)$$

Sendo: x, o sinal de aceleração de entrada; y, o sinal de saída; i+j, o intervalo de dados; e, n, o número de pontos considerados na média (MULITERNO; JUNIOR; PRAVIA, 2019). Destaca-se, porém, que, no caso da aplicação da média móvel neste trabalho, não foi empregado critério para de filtro passa alta ou passa baixa, o que pode ocasionar a redução dos picos dos dados e uma imprecisão em sua correlação com os valores medidos na prática.

Para que seja possível a análise do efeito da aceleração vertical sobre o conforto dos usuários das vias, adotou-se o método descrito pela ISO 2631-1 (1997, apud ANDRIOLO, 2013; ZHAO et al., 2019), citado anteriormente

De acordo com esse método é necessário determinar o valor RMS da aceleração ponderada, para que possa-se determinar o nível de conforto de acordo com a tabela 1. Esse valor RMS, de acordo com a norma, pode ser determinado por meio da aplicação da equação 02 abaixo, aos dados tratados com o filtro:

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (02)$$

Onde:  $a_w$  é o valor RMS da aceleração ponderada em m/s<sup>2</sup>,  $a_w(t)$  é aceleração ponderada no tempo t em m/s<sup>2</sup> e T é o tempo de duração da considerado em segundos (ANDRIOLO, 2013). Ou seja, T é o tempo considerado para a aplicação da integração das acelerações. Para a ponderação foi empregado a equação 03:

$$a_w(t) = a(t) \cdot W(f) \quad (03)$$

Sendo: a(t), a aceleração medida no tempo t em m/s<sup>2</sup>; e, W(f), um fator de ponderação que depende da frequência de medição f em Hz. Considerando que, segundo ZHAO et al. (2019):

- Se  $0,5 < f < 2$ ,  $W(f) = 0,5$ ;
- Se  $2 < f < 4$ ,  $W(f) = f / 4$ ;
- Se  $4 < f < 12,5$ ,  $W(f) = 1$ ;
- Se  $12,5 < f < 80$ ,  $W(f) = 12,5 / f$ .

De acordo com ANDRIOLO (2013), pode ser necessária, também, uma correção do valor RMS, devido à possível não aplicabilidade desse método. A necessidade dessa correção pode ser avaliada pelo fator de crista, definido pelo módulo da razão entre o valor da aceleração ponderada e seu respectivo valor RMS. Para se realizar essa correção, recalcula-se o valor RMS, com a aplicação da equação 04:

$$a_w(t_0) = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t_0-\delta}^{t_0} [a_w^2(t)]^2 dt} \quad (04)$$

Onde:  $a_w(t_0)$  é o *running RMS value*; T possui a mesma definição exposta previamente;  $a_w(t)$  é a aceleração ponderada instantânea em m/s<sup>2</sup>; e,  $\delta$  e  $t_0$  são os tempos de integração e de início da medição, respectivamente, em segundos. Considerando que o valor de aceleração ponderada também deve ser empregado em módulo nesse caso, pelo mesmo motivo que na equação anteriormente aplicada.

### 3. PROPOSIÇÃO

De acordo com a pesquisa apresentada, pode-se perceber que o desnível entre as tampas de poços de visita das redes subterrâneas de infraestrutura urbana e o pavimento das vias onde elas estão localizadas é um fator que afeta o conforto dos usuários das vias. Porém, considerando a pesquisa realizada, pode-se perceber também que o desenvolvimento de um método de avaliação e quantificação do modo como esse fator afeta o conforto e a aplicação prática desse método ainda são temas que carecem de pesquisas, em especial no contexto brasileiro.

Quanto ao método empregado da medição da aceleração vertical com smartphones, percebe-se que têm sido desenvolvidas diversas pesquisas nos últimos anos quanto a esse tema, porém, geralmente com um foco na detecção de defeitos e na avaliação da condição dos pavimentos. E, nos trabalhos encontrados na pesquisa que focam no conforto, ainda sim, as perspectivas, seja quanto à aplicação de índices quantificadores, quanto ao estudo desse tipo de defeito em particular ou quanto à condução de experimentos em campo, ainda são restritas.

Devido a isso, ao se desenvolver este relatório, optou-se por focar em um estudo experimental de como o desnivelamento entre poços de visita e o pavimento pode afetar o conforto dos usuários, por meio da aferição da aceleração vertical no interior de um carro de passeio ao passar por cima dos referidos defeitos. O desnível dos poços em relação ao pavimento foi medido por meio de um método de medição em três pontos e se avaliou a conexão entre o desnível aferido e o conforto por meio de recursos descritos na norma ISO 2631-1 e de procedimentos gráficos para definição de equações de curva de correlação entre esses fatores.

Com esse procedimento adotado, buscou-se avaliar a relevância desse defeito para a determinação do nível de serventia das vias urbanas e também as potencialidades do método de medição de aceleração vertical como um modo de aferição da condição do pavimento e da possível necessidade de manutenção das vias, para que possa, possivelmente, ser aplicado como um suporte de baixo custo para orientar e embasar as decisões dos gestores dessas vias.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos adotados neste trabalho têm base na condução de uma pesquisa bibliográfica em material em português e em inglês sobre o tema em estudo. Com base nessa pesquisa, foi escolhido o seguinte procedimento experimental para condução do trabalho: a medição do desnível em três pontos entre a tampa de poços de visita e o pavimento circundante, a medição da aceleração vertical no interior de um carro de passeio ao dirigir por cima de poços de visita com uso de smartphone e a determinação da relação dessa medição com o conforto do motorista e dos passageiros por meio de um método descrito na ISO 2631-1-1997.

O modo de condução da pesquisa, dos experimentos realizados e da análise dos resultados obtidos se encontra descrito com mais detalhes ao longo deste capítulo 4. Além da descrição das 4 rotas onde os experimentos foram conduzidos.

### 4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo se baseou na condução de uma pesquisa bibliográfica exploratória do tema “defeitos no pavimento no entorno de poços de visita e a avaliação do efeito desses defeitos sobre o conforto dos usuários da via”. A pesquisa foi conduzida por meio do seguinte procedimento, tanto em material em português quanto em inglês:

- Google Padrão e Google Acadêmico: Por meio da pesquisa dos termos: “Pavimento”, “Poços de visita”, “PV”, “Defeitos nos pavimentos”, “Condição dos pavimentos”, “Bueiros”, “Conforto”, “Acelerômetro”, “ISO 2631-1-1997”, “RMS da aceleração ponderada”, “Pavement”, “Manhole”, “Manhole cover”, “Comfort”, “Accelerometer” e “RMS of weighted acceleration”, em suas diversas combinações;
- Periódicos da Capes: Usando os mesmos termos que a pesquisa descrita no tópico anterior no mecanismo de busca avançada do site também em suas diversas combinações;
- ANPET: Pesquisa por artigos relacionados ao tema;
- *Target*: busca por normas ABNT de redes de coleta de esgoto;
- Buscas ocasionais no Google Padrão por temas específicos como a “Redes enterradas de infraestrutura” e “Valor da aceleração da gravidade”.

Os materiais encontrados foram analisados e classificados conforme sua relevância para o tema em pesquisa e os experimentos a serem conduzidos. Ao fim da classificação, foram selecionados os materiais utilizados de base para o desenvolvimento deste trabalho.

Posteriormente à condução da pesquisa, partiu-se para a definição do foco dos experimentos que seriam realizados e do procedimento a ser adotado em sua condução.

### 4.2 MEDIÇÃO DO DESNÍVEL

#### 4.2.1 Materiais utilizados na medição do desnível

Equipamentos utilizados no procedimento experimental:

- Régua de alumínio de 2 metros;
- Trena de 3 metros;

- Caderno de anotações;
- Lápis grafite.
- Softwares empregados no tratamento dos dados:
- AutoCad, para elaboração do esquema das medições;
- Google Maps, para determinação da localização geográfica dos poços de visita;
- Google Planilhas, para cálculos e elaboração de tabelas e gráficos.

#### 4.2.2 Descrição do método de medição em três pontos

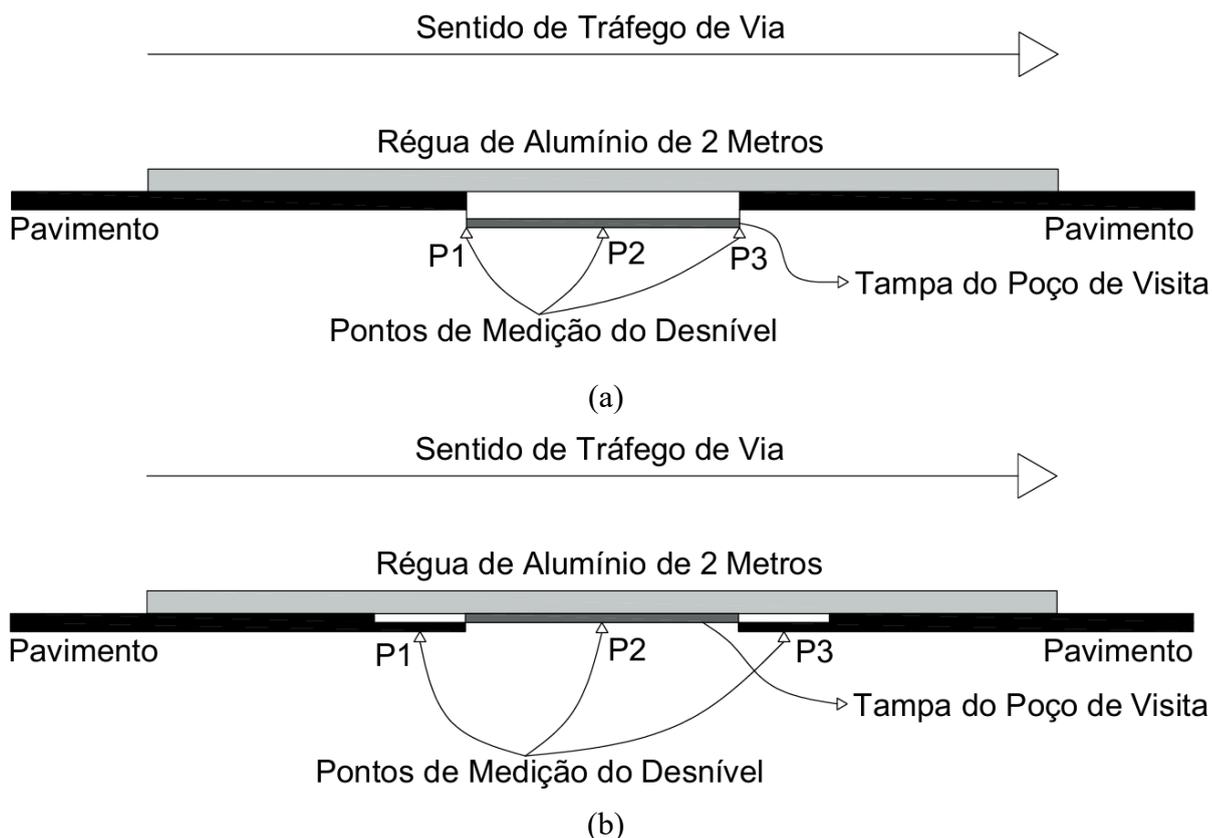
O método de medição de desnível em três pontos adotado neste trabalho é baseado na aplicação de um aparelho nomeado *3-meter straight edge*, conforme descrito por CHANG; YANG; LIN (2014). Devido às limitações financeiras que impossibilitam a aquisição desse equipamento, foi desenvolvido um método similar que permitisse a avaliação do desnível das tampas dos poços de visita em relação ao pavimento em seu entorno. Considerando que foram examinados 20 poços de visita localizados em vias urbanas de João Pessoa, PB.

O método se baseia nas seguintes etapas:

1. Posicionar régua de alumínio de 2 m sobre a tampa do poço de visita:
  - a. Localizar o centro da régua sobre o centro do poço;
  - b. Alinhar a maior dimensão da régua ao sentido longitudinal da via.
2. Medir a distância entre a face inferior da régua e os pontos de referência do poço com a trena:
  - a. Ponto 1 (P1):
    - i. Se a borda da tampa estiver desnivelada em relação ao pavimento, o ponto 1 é localizado na borda da tampa que se encontra antes do seu centro, em relação ao sentido de tráfego da via;
    - ii. Se a borda da tampa estiver nivelada com o pavimento e for observado desnível na região de ação da régua, nas proximidades do poço, o ponto 1 é localizado a 10 ou 20 cm (dependendo de qual a área de maior desnível) da borda que vem antes do centro, em relação ao sentido de tráfego da via.
  - b. Ponto 2 (P2):
    - i. Se o centro da tampa estiver desnivelado, o ponto 2 é localizado no centro da tampa;
    - ii. Se o centro da tampa não apresentar desnível, o ponto 2 não é considerado, devido à dificuldade de avaliar a sua relação com o pavimento circundante.
  - c. Ponto 3 (P3):
    - i. Se a borda da tampa estiver desnivelada em relação ao pavimento, o ponto 3 é localizado na borda da tampa que se encontra depois do seu centro, em relação ao sentido de tráfego da via;
    - ii. Se a borda da tampa estiver nivelada com o pavimento e for observado desnível na região de ação da régua, nas proximidades do poço, o ponto 3 é localizado a 10 ou 20 cm (dependendo de qual a área de maior desnível) da borda que vem depois do centro, em relação ao sentido de tráfego da via.
  - d. O nível do pavimento nas pontas da régua é considerado o nível zero de referência do eixo de aferição do desnível e o sentido é negativo na direção do solo e positivo no sentido contrário.
3. Registrar as distâncias medidas para os três pontos no caderno, esses são os valores considerados de desnível dos poços de visita.

Com o auxílio do software AutoCad foi montado o seguinte esquema representativo da aplicação do método descrito, apresentado na figura 4.

Figura 4: Esquema da medição em três pontos no limite das bordas e no centro da tampa (a), a 10 cm ou 20 cm do limite das bordas e no centro da tampa (b).



Fonte: Autoral.

Além do desnível, também foram coletadas outras informações relativas aos poços:

- Numeração, com base na praticidade verificada em campo e no tratamento dos dados;
- Rota de condução do veículo, tipo de pista e faixa na qual o poço se localiza;
- Tipo de poço registrado na tampa do mesmo;
- Coordenadas geográficas do poço, com auxílio do Google Maps, com precisão de um raio de até 5 metros.

#### 4.2.3 Tratamento das informações coletadas na medição em três pontos

Os dados coletados em campo foram registrados em tabelas montadas com o software Google Planilhas e foram determinados os seguintes valores:

- Módulo do desnível em cada ponto de referência;
- Maior módulo do desnível para cada poço;
- Média dos módulos dos desníveis.

No caso dos poços para os quais se dispensou a medição no ponto 2, também não se considera esse fator para a determinação da média, ou seja, nesse caso número de amostras = 2.

Para o estabelecimento da relação entre o conforto, aceleração e desnível, considerou-se o módulo desses últimos, pois se observou que os valores absolutos deles eram

mais representativos de sua influência sobre os outros elementos do que o sentido dos desníveis.

#### 4.2.4 Limitações do método de medição em três pontos

O método aplicado é uma adaptação bastante simplificadora de um método já reconhecido, portanto não possui reconhecimento e nem comprovação de eficácia para a avaliação de desnível. Sendo, portanto, tomado como uma referência geral ao nível e grandeza do desnivelamento apresentado pelos objetos de estudo e não como uma avaliação definitiva dessa propriedade.

Além disso, ao se optar por avaliar somente o desnível dos poços de visita em relação ao pavimento, de acordo com o propósito da pesquisa, exposto no tópico 3; nenhum outro tipo de defeito do entorno dos poços foi avaliado neste trabalho.

### 4.3 MEDIÇÃO DA ACELERAÇÃO VERTICAL

#### 4.3.1 Materiais utilizados na medição da aceleração vertical

Equipamentos utilizados no procedimento experimental:

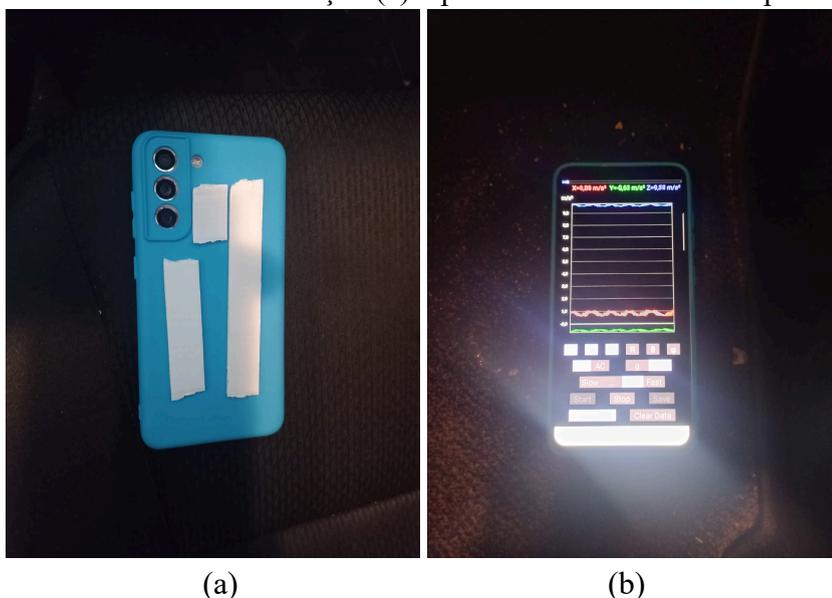
- Carro de passeio de teste:
    - Modelo: *Honda City* 2019;
    - Última revisão do veículo: 2023.
  - Smartphone usado para medição da aceleração: *Samsung Galaxy S21 FE*;
  - Smartphone usado para marcação de tempo de referência: *Samsung Galaxy A32*;
- Softwares empregados no procedimento experimental:
- *Accelerometer* da *Keuwl*, para medição da aceleração;
  - Relógio da *Android*, para marcação do tempo de referência.
- Softwares empregados no tratamento dos dados:
- Google Planilhas, para cálculos e elaboração de tabelas e gráficos;
  - *Symbolab*, para resolução das integrações.

#### 4.3.2 Descrição do método de medição com smartphone

A aplicação deste método se deu pelos seguintes passos:

1. Posicionamento do smartphone *Samsung Galaxy S21 FE*, no carro de teste:
  - a. No interior do veículo, fixado com fita dupla face sobre assoalho do veículo, nas proximidades da roda de teste, que é a roda dianteira do lado do passageiro, conforme registrado nas fotografias apresentadas da figura 5:

Figura 5: Mecanismo de fixação (a) e posicionamento do smartphone (b).



Fonte: Autoral.

2. Conduzir o veículo pelas rotas selecionadas no perímetro urbano de João Pessoa, PB:
  - a. O experimento foi realizado por duas pessoas:
    - i. O condutor do veículo;
    - ii. O responsável pelos smartphones e medições no banco do passageiro da frente.
  - b. Ativar simultaneamente a medição da aceleração no smartphone fixado e a função cronômetro do aplicativo Relógio no *Samsung Galaxy A32*, com o veículo parado para marcar o início da coleta de dados;
    - i. A aceleração é medida com uma frequência de 50 Hz.
  - c. Iniciar o movimento do carro e conduzi-lo de modo a passar a roda de teste sobre os poços de visita selecionados, cujo desnível foi avaliado pelo método dos três pontos;
    - i. O veículo deve passar sobre os poços a aproximadamente 40 km/h;
  - d. Marcar um tempo parcial de referência no cronômetro nas proximidades de cada singularidade considerada significativa ao longo do percurso:
    - i. Aceleração: Início de movimento do veículo;
    - ii. Curva: Curvas realizadas no percurso;
    - iii. Poço: Poços de visita em estudo;
    - iv. Fim: Fim da rota de teste.
  - e. Para cada rota, são realizadas cinco voltas de passagem do veículo.
3. Registrar os marcos temporais medidos com o Relógio e as medições de aceleração nos eixos x, y e z e em coordenadas polares fornecidas pelo *Accelerometer*, a cada volta em todas as rotas.

#### 4.3.3 Tratamento das informações coletadas com smartphone

Primeiramente, as informações coletadas foram organizadas em tabelas com o auxílio do software Google Planilhas e as marcações temporais das singularidades foram alocadas como pontos de referência nas tabelas. No caso dos poços de visita, foram determinados os

intervalos temporais de dados a serem considerados na análise do impacto dos poços na aceleração vertical conforme os critérios apresentados no tópico 2.4.3:

- Considerar o diâmetro do poço igual a 60 cm, conforme ABNT (1986), mesmo nos casos em que o desnível é medida a certa distância da borda, devido à grande relevância do segundo critério. Calcular tempo de passagem do veículo com base na velocidade de 40 km/h;
- Considerar 10 metros antes da tampa do poço e 10 metros depois, com base na velocidade de 40 km/h. Um valor de referência arbitrado de acordo com a experiência do autor em campo e com as variações de aceleração observadas nas proximidades dos poços;
- Considerar o tempo de reação médio dos seres humanos igual a 0,45 segundo (SILVA et al, 2016).

Por fim, os tempos relativos a esses três critérios foram somados e esse valor foi adotado como o intervalo, com centro no ponto medido no cronômetro, conforme registrado na tabela 2.

Tabela 2: Determinação do intervalo de tempo considerado para cada poço de visita.

<b>Cálculo do Intervalo Considerado</b>	
Distância Antes do Poço (m)	10
Diâmetro dos Poços (m)	0,6
Distância Depois do Poço (m)	10
Distância Total Percorrida (m)	20,6
Velocidade (km/h)	40
Velocidade (m/s)	11,11
Tempo de Trajeto (s)	1,854
Tempo de Reação (s)	0,45
Intervalo Considerado (s)	2,304

Fonte: Autoral.

Para este trabalho, foram considerados apenas os valores de aceleração vertical, medida no eixo z, subtraídos do valor da gravidade.

Outro importante fator a ser levado em consideração é que o sentido de medição é positivo na direção do solo e negativo no sentido oposto.

Posteriormente, tratou-se os valores de variação de aceleração com o filtro de média móvel adotado, conforme o tópico 2.4.3. Sendo que, no caso deste projeto, adotou-se média móvel com cinco pontos, tomando-se um valor de aceleração medido em determinado tempo e somando-se esse valor com os quatro valores subsequentes e dividindo-se essa soma por cinco.

Por fim, aplicou-se o método descrito pela ISO 2631-1, citado anteriormente no referencial teórico para determinação do valor RMS da aceleração ponderada e do seu valor corrigido.

No caso desse projeto, para os os níveis de conforto, considerou-se a tabela 3, que foi adaptada da norma com um critério bastante exigente para classificação, considerando dos intervalos que se sobrepõem registrados na tabela 1 sempre o menor valor como limite inferior.

Tabela 3: Limites adotados para os níveis de conforto.

Limites - Valor RMS da Aceleração Vertical Ponderada (m/s <sup>2</sup> )				
Pouco desconfortável	Razoavelmente desconfortável	Desconfortável	Muito desconfortável	Extremamente desconfortável
0,315	0,5	0,8	1,25	2

Fonte: Autoral, adaptado com base na ISO ISO 2631-1.

Aplicaram-se, então, as fórmulas descritas no tópico 2.4.3 sobre os valores de aceleração tratados com o filtro para a ponderação, determinação do valor RMS e correção do valor, quando necessário, considerando que, no caso deste trabalho foi adotado T igual a 0,2 s, em função dos esforços em estudo se caracterizarem por uma duração bastante curta. Destaca-se também que foi necessário a aplicação do valor da aceleração ponderada em módulo na equação de determinação do valor RMS, pois a integração de uma variável (x) elevada ao quadrado, de acordo com software *Symbolab*, pode ser determinada pela equação 05 abaixo:

$$\int x^2 dx = \frac{x^3}{3} + C \quad (05)$$

Sendo: C, um valor constante.

Ou seja, o valor resultante da integração pode ser negativo, caso o valor da variável seja negativo. O que impossibilitaria o cálculo da raiz quadrática que compõe a fórmula, sendo esse o caso para a fórmula de cálculo do valor corrigido também.

Portanto, ao final desse tratamento, tem-se os dados de aceleração tratados com filtro e com o valor RMS calculado para cada intervalo de tempo de 0,2 s. Além dos intervalos de tempo considerados para cada poço de visita de 2,304 s, em cada volta em todas as rotas, e dos limites de conforto definidos de acordo com a ISO 2631-1. Com esses dados montaram-se diversos gráficos que possibilitam a observação do efeito dos poços sobre o veículo que transita sobre eles e sobre os seus ocupantes.

#### 4.3.4 Limitações do método de medição com smartphone

A aplicação desse método possui diversas limitações, como:

- Fixação do smartphone Samsung *Galaxy S21 FE* em uma superfície que não é perfeitamente horizontal;
- Possível imprecisão dos sensores do Samsung *Galaxy S21 FE* em relação a um acelerômetro profissional;
- Limitações de precisão do aplicativo gratuito *Accelerometer* e por não permitir o referenciamento geográfico das medidas;
- Interferência do amortecimento das rodas e da estrutura do veículo nos valores medidos;
- Dependência de marcações temporais tomadas em um carro em movimento, do banco do passageiro, com um campo de visão limitado;
- Intervalo de tempo de referência dos poços escolhido de forma arbitrária;
- Simplicidade do filtro adotado, com o risco de perder dados importantes por não abarcar um critério de passa alta ou baixa;
- Critérios adotados pelo autor na aplicação da norma ISO 2631-1:
  - Limites considerados para níveis de conforto;

- Método de ponderação por multiplicação da aceleração pelo fator  $W(t)$ ;
- Necessidade de aplicação de valores de aceleração ponderada em módulo;
- Aplicação do valor RMS, que foi desenvolvido para medições ao longo de tempos mais longos, na avaliação de um evento de curta duração.
- Ruído em geral na medição de aceleração.

#### 4.4 ROTAS EM ESTUDO

Para a realização dos experimentos foram selecionadas as rotas que seriam estudadas dentre as vias do perímetro urbano de João Pessoa.

As duas primeiras rotas selecionadas se localizam no bairro de Água Fria e foram escolhidas devido à conveniência apresentada por estarem incluídas em outro projeto do qual o autor também participou e por sua proximidade ao Campus I da Universidade Federal da Paraíba, onde o autor estuda.

A primeira rota foi nomeada de Água Fria 1, inclui os poços de visita numerados de 1 a 3 e está representada na figura 6. Partindo do repouso na rua Isaura Silveira Lira e percorrendo os poços de visita em parte da rua José Firmino Ferreira.

Figura 6: Rota Água Fria 1.



Fonte: Autoral, gerada no Google Earth.

A segunda rota foi nomeada de Água Fria 2 e inclui os poços de 4 a 7. Porém, como pode-se observar por sua representação na figura 7, possui duas versões. A versão 1, exposta na figura 7 (a), se inicia na rua Joaquim Borba Filho em um semáforo na esquina com a rua José Firmino Ferreira, onde os poços em estudo se localizam, e a versão 2, como pode-se observar na figura 7 (b), se inicia já nessa última rua citada. Essa diferença se deu devido às limitações impostas pelo significativo número de veículos que transitavam pela área durante o período de testes. Porém, como os mesmos poços foram abordados por ambas as versões, manteve-se a sua classificação como uma mesma rota.

Figura 7: Rota Água Fria 2, versão 1 (a) e versão 2 (b).



(a)



(b)

Fonte: Autoral, gerada no Google Earth.

A terceira rota se localiza no bairro de Altiplano e foi escolhida devido ao grande desnível apresentado em seus poços de visita. Essa rota foi nomeada, simplesmente, de Altiplano, inclui os poços de 8 a 11 e está representada na figura 8. Partindo do repouso na rua Emílio de Araújo Chaves e percorrendo os poços de visita na rua Clementina Lindoso e na rua Josita Almeida.

Figura 8: Rota Altiplano.



Fonte: Autoral, gerada no Google Earth.

A quarta e última rota se localiza no bairro de Cabo Branco e foi selecionado devido à grande quantidade de poços de visita localizados no trecho em estudo e devido à facilidade para a realização das medições de desnível, pela limitação do acesso de veículos à área entre 5:00 e 8:00 horas da manhã. A rota foi nomeada de Cabo Branco, abarca os poços de 12 a 20 e está exposta na figura 9. Partindo do repouso na Avenida Índio Arabutã e percorrendo os poços ao longo de parte da Avenida Cabo Branco.

Figura 9: Rota Cabo Branco.



Fonte: Autoral, gerada no Google Earth.

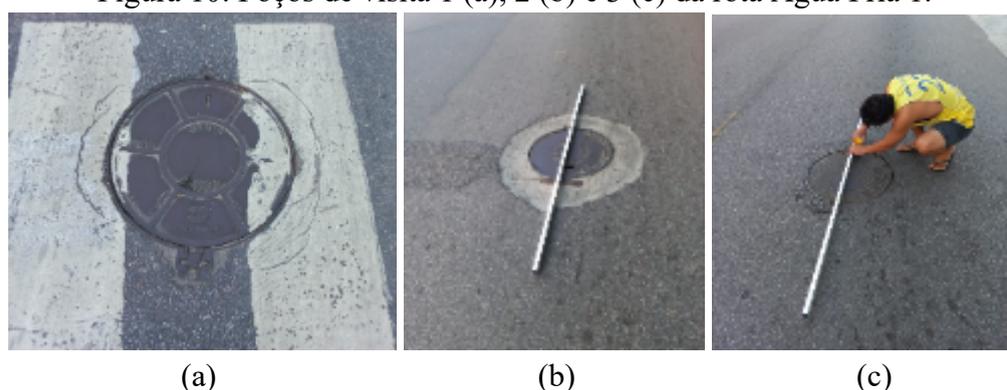
## 5. RESULTADOS

Este capítulo 5 trata da exposição dos resultados obtidos por meio da aplicação do procedimento experimental descrito no capítulo 4 em vias de João Pessoa, PB, Brasil e do tratamento e análise desses dados.

### 5.1 CARACTERÍSTICAS E DESNÍVEL DOS POÇOS

Como citado no tópico 4.4, na rota Água Fria 1, se localizam os poços de visita numerados 1, 2 e 3. O registro fotográfico deles está exposto na figura 10.

Figura 10: Poços de visita 1 (a), 2 (b) e 3 (c) da rota Água Fria 1.



Fonte: Autoral.

Foi realizada a coleta dos dados como descrito no tópico 4.2.2, e as informações obtidas foram compiladas na tabela 4.

Tabela 4: Propriedades dos poços de visita da rota Água Fria 1.

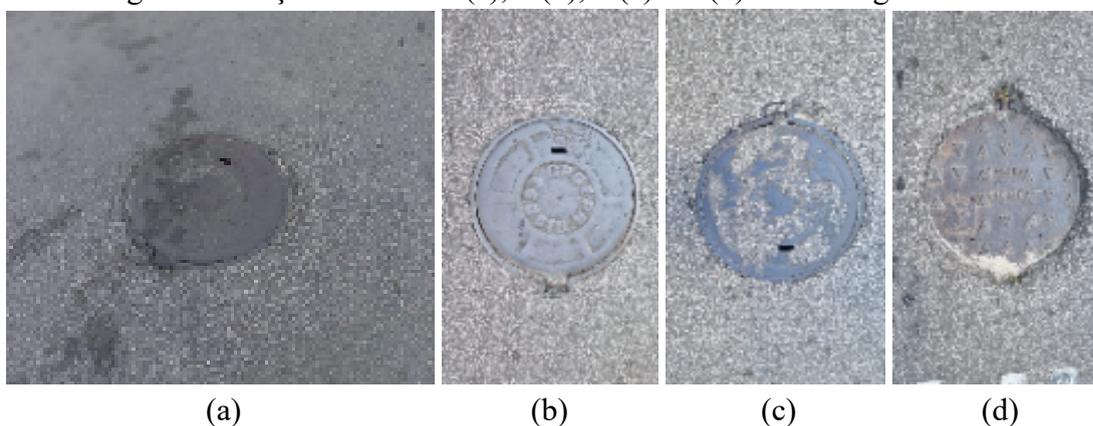
PV					Desnível (cm)			Localização	
Nº	Rota	Pista	Faixa	Tipo	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Latitude	Longitude
1	Água Fria 1	Simples Mão dupla	Direita	Cagepa Esgoto	-1,8	-2,5	-2,1	7°09'22.3"S	34°51'09.7"W
2*	Água Fria 1	Simples Mão dupla	Direita	Cagepa Esgoto	-2,2	-1,3	-1,4	7°09'07.7"S	34°51'05.5"W
3	Água Fria 1	Simples Mão dupla	Direita	Cagepa	-1,5	-1,2	-0,7	7°09'05.7"S	34°51'04.8"W
*	10 cm antes e 10 cm depois								

Fonte: Autoral.

Pela tabela 4, percebe-se que os três poços apresentam afundamento em relação ao pavimento em seu entorno e uma irregularidade nos desníveis medidos nos três pontos, em todos os poços avaliados. Além disso, no poço 2, percebe-se que os pontos 1 e 3 foram tomados 10 cm antes e 10 cm depois da tampa do poço, em relação ao sentido do tráfego, respectivamente.

Na figura 11, estão representados os poços 4, 5, 6 e 7, localizados na rota Água Fria 2.

Figura 11: Poços de visita 4 (a), 5 (b), 6 (c) e 7 (d) da rota Água Fria 2.



Fonte: Autoral.

As informações coletadas em campo desses quatro poços de visita, estão representadas na tabela 5 abaixo.

Tabela 5: Propriedades dos poços de visita da rota Água Fria 2.

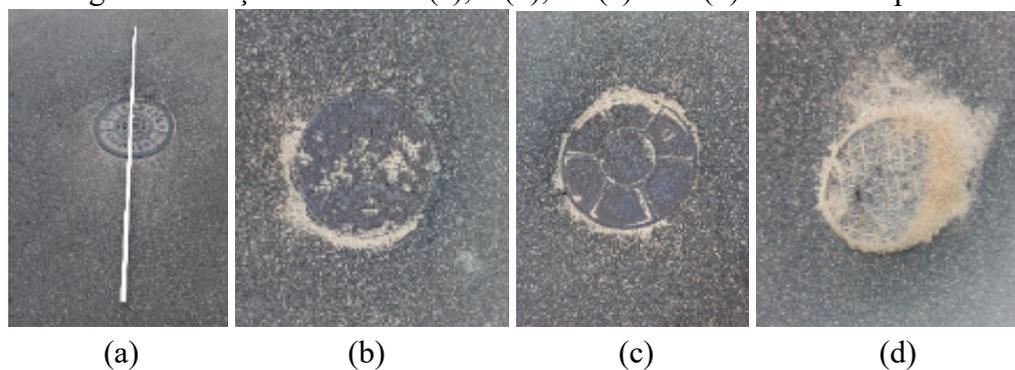
Nº	PV				Desnível (cm)			Localização	
	Rota	Pista	Faixa	Tipo	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Latitude	Longitude
4	Água Fria 2	Simples Mão dupla	Direita	Cagepa Esgoto	-0,5	-0,7	0	7°09'01.3"S	34°51'03.6"W
5	Água Fria 2	Simples Mão dupla	Direita	Cagepa Esgoto	-1	-1,5	-0,6	7°08'58.1"S	34°51'02.6"W
6	Água Fria 2	Simples Mão dupla	Direita	Cagepa Esgoto	-0,9	-1	-0,2	7°08'56.8"S	34°51'02.1"W
7	Água Fria 2	Simples Mão dupla	Direita	Cagepa Esgoto	-3,6	-4,2	-4,2	7°08'54.3"S	34°51'01.3"W

Fonte: Autoral.

Percebe-se, então, que esses poços também apresentam afundamento de suas tampas e variações nos valores verificados nos três pontos. A única exceção é o ponto 3 do poço 4, que está em nível com o pavimento.

Na figura 12 abaixo, estão expostos os registros fotográficos dos poços 8, 9, 10 e 11, da rota Altiplano.

Figura 12: Poços de visita 8 (a), 9 (b), 10 (c) e 11 (d) da rota Altiplano.



Fonte: Autoral.

Novamente, as informações coletadas sobre esses poços de visita foram organizadas e estão registradas na tabela 6 abaixo.

Tabela 6: Propriedades dos poços de visita da rota Altiplano.

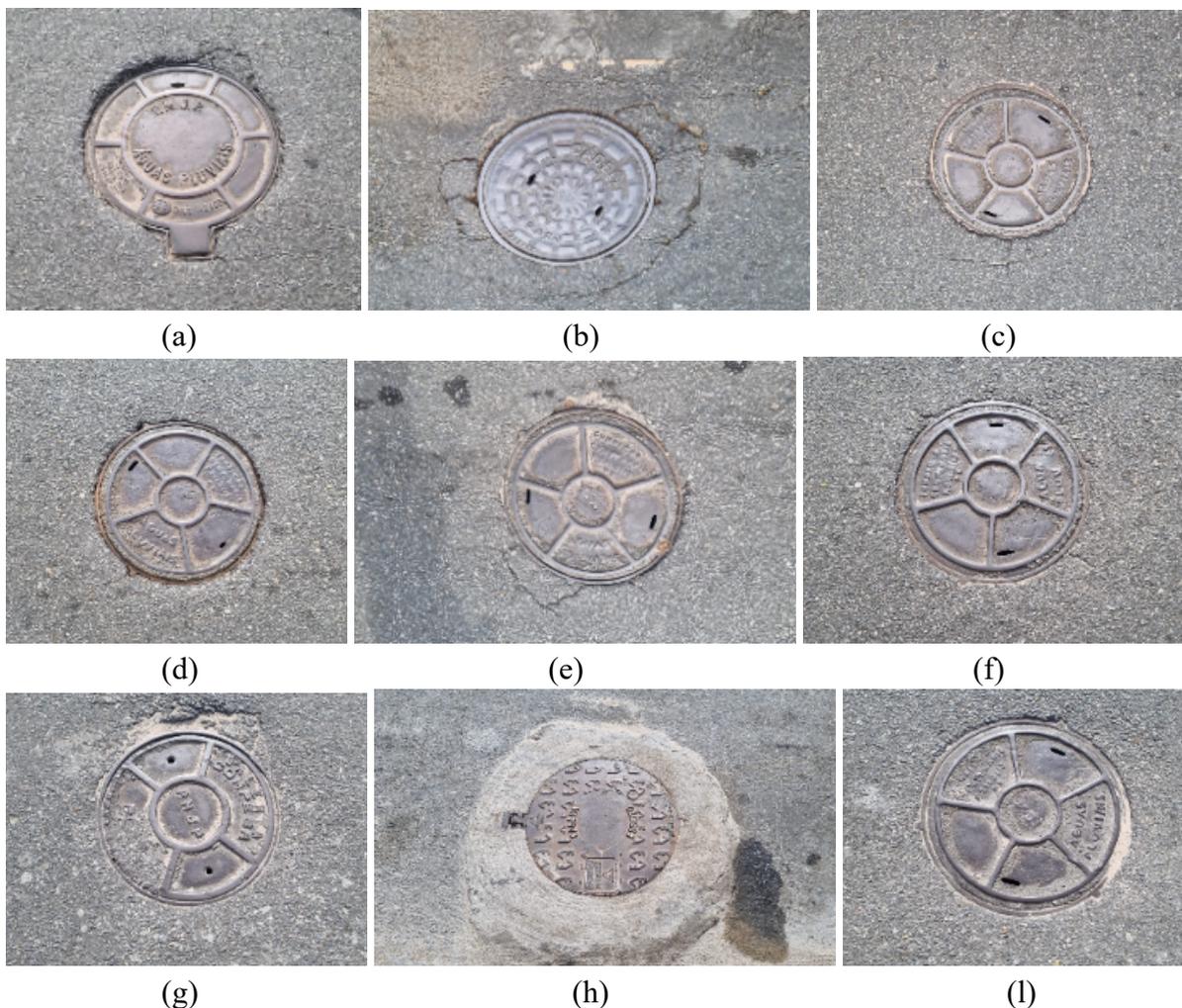
Nº	PV				Desnível (cm)			Localização	
	Rota	Pista	Faixa	Tipo	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Latitude	Longitude
8	Altiplano	Simples Mão dupla	Direita	Sanecap Esgoto	-7,2	-7,8	-8	7°07'56.1"S	34°49'40.3"W
9	Altiplano	Simples Mão dupla	Direita	Cagepa Esgoto	-3	-3,4	-3,9	7°07'57.0"S	34°49'36.7"W
10	Altiplano	Simples Mão dupla	Direita	Cagepa Esgoto	-6,5	-6,5	-5,8	7°07'59.7"S	34°49'35.6"W
11	Altiplano	Simples Mão dupla	Direita	Cagepa	-7,5	-8,4	-8,2	7°08'01.8"S	34°49'35.0"W

Fonte: Autoral.

Nota-se que os valores dos desníveis medidos nesses poços é bem maior que os valores verificados nos poços do bairro de Água Fria, como já mencionado. Além disso, também pode-se constatar que as tampas desses poços também apresentam afundamento.

No caso da rota Cabo, estão localizados a maioria dos poços de visita em estudo neste trabalho. Nela, estão os poços de visita 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20, registrados na figura 13 abaixo.

Figura 13: Poços de visita 12 (a), 13 (b), 14 (c), 15 (d), 16 (e), 17 (f), 18 (g), 19 (h) e 20 (l) da rota Cabo Branco.



Fonte: Autoral.

As informações coletadas em campo foram organizadas na tabela 7 abaixo.

Tabela 7: Propriedades dos poços de visita da rota Cabo Branco.

(continua)

Nº	PV				Desnível (cm)			Localização	
	Rota	Pista	Faixa	Tipo	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Latitude	Longitude
12	Cabo Branco	Faixa dupla Mão única	Direita	P.M.J.P. Águas pluviais	-2,5	-3	-1,8	7°07'16.5"S	34°49'26.4"W
13 **	Cabo Branco	Faixa dupla Mão única	Direita	Cagepa Esgoto	4,3	-	2,4	7°07'17.4"S	34°49'26.3"W

Tabela 7: Propriedades dos poços de visita da rota Cabo Branco.

(conclusão)

PV					Desnível (cm)			Localização	
Nº	Rota	Pista	Faixa	Tipo	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Latitude	Longitude
14	Cabo Branco	Faixa dupla Mão única	Direita	Fundação centenário Águas pluviais	-1,5	-2,1	-0,9	7°07'20.3"S	34°49'26.5"W
15	Cabo Branco	Faixa dupla Mão única	Direita	Fundação centenário Águas pluviais	-2,8	-3,6	-3,1	7°07'22.1"S	34°49'26.3"W
16	Cabo Branco	Faixa dupla Mão única	Direita	Fundação centenário Águas pluviais	-3,1	-4,1	-3,8	7°07'22.9"S	34°49'26.3"W
17	Cabo Branco	Faixa dupla Mão única	Direita	Fundação centenário Águas pluviais	-1,3	-1,9	-1,7	7°07'24.3"S	34°49'26.2"W
18	Cabo Branco	Faixa dupla Mão única	Direita	Galeria Compesa P.M.J.P.	-2,1	-3,9	-3,5	7°07'25.6"S	34°49'26.0"W
19 **	Cabo Branco	Faixa dupla Mão única	Direita	Cagepa Esgoto	1,5	-	1,2	7°07'26.6"S	34°49'26.1"W
20	Cabo Branco	Faixa dupla Mão única	Direita	Fundação centenário Águas pluviais	-1,5	-2,5	-2,7	7°07'27.3"S	34°49'26.0"W
**	20 cm antes e 20 cm depois								

Fonte: Autoral.

Pode-se observar que nos poços 13 e 19, os pontos 1 e 3 foram medidos a 20 cm das bordas das tampas dos poços e o ponto 2 de cada poço foi dispensado da análise. Sendo verificado, nesses mesmos dois poços, uma elevação da área no entorno das tampas em relação ao pavimento no entorno. O resto dos poços analisados apresenta afundamento.

## 5.2 AVALIAÇÃO DA ACELERAÇÃO VERTICAL

Durante a condução do teste de direção, devido às diferentes localizações dos poços na faixa, foram necessárias diversas correções de trajeto feitas ao longo de cada percurso. Além disso, o volume de veículos, mesmo quando reduzido, transitando pelas vias, foi um fator de grande imprecisão nas medidas e na manutenção da velocidade de 40 km/h ao transitar pelos poços de visita.

Assim como descrito no tópico 4.3.2, foram realizadas cinco voltas com o automóvel em cada uma das quatro rotas e os resultados obtidos a partir de cada uma dessas voltas estão expostos nos tópicos 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3 e 5.2.4.

Destaca-se que, devido a erros no procedimento experimental, a terceira volta realizada em Água Fria 1 foi desconsiderada do processo.

A exposição dos dados obtidos foi organizada por meio da montagem de dois gráficos para cada volta em cada rota. Um gráfico compilando os valores de aceleração vertical medidos já subtraídos do valor da aceleração da gravidade em relação ao tempo de medição e outro com esses valores de aceleração após o tratamento com o filtro de média móvel. Sendo que, ambos os gráficos foram montados também com representações dos intervalos de temporais de cada poço de visita.

No tratamento da aceleração vertical foram tomados três valores de referência, conforme o tópico 4.3, registrados na tabela 8.

Tabela 8: Valores de referência para tratamento dos valores medidos de aceleração vertical.

Referências	
<b>f (Hz)</b>	50
<b>W (f)</b>	0,25
<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	9,80665

Fonte: Autoral, ZHAO et al. (2019) e GOUVEIA (2024).

### 5.2.1 Aceleração na rota Água Fria 1

- Volta 1: Realizada no dia 23/03/2024 às 15:22:36.

Na volta 1 em Água Fria 1, no cronômetro do Relógio do smartphone *Samsung Galaxy A32*, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 9.

Tabela 9: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 1, na volta 1.

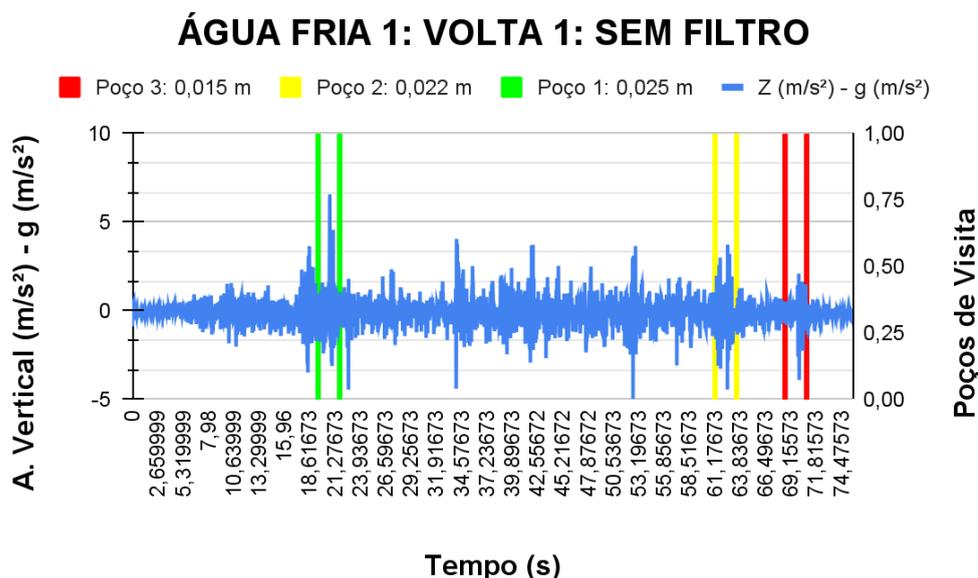
ÁGUA FRIA 1 - VOLTA 1		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V1	5,13
2	POÇO 1 V1	20,33
3	POÇO 2 V1	62,23
4	POÇO 3 V1	69,84
5	FIM V1	74

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos nessa volta e foi montado o gráfico 1 com esses valores resultantes da subtração no eixo vertical esquerdo em relação ao tempo de medição no eixo horizontal e com as marcações dos intervalos temporais considerados para os poços de visitas no eixo vertical direito.

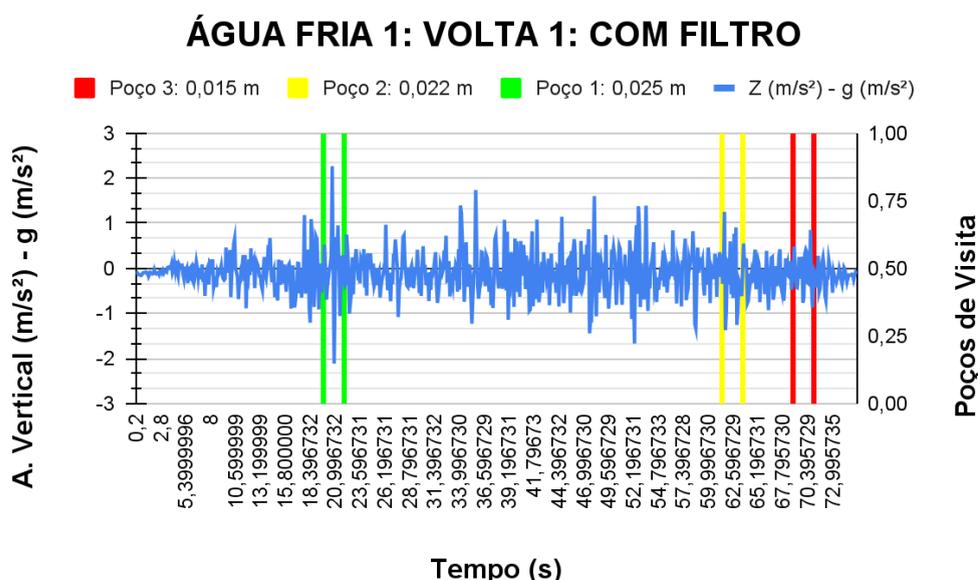
Na legenda de cada intervalo dos poços de visita, também foi registrado o maior dos módulos dos desníveis medidos neles, notação que se repete nos gráficos de 1 à 57.

Gráfico 1: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram, então, tratados pelo filtro de média móvel adotado e o gráfico 2 foi montado seguindo a mesma lógica do gráfico 1.

Gráfico 2: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Percebe-se que o poço 1 foi o que mais afetou a variação de aceleração vertical, possivelmente por ser localizado em uma curva, ter exigido uma manobra mais habilidosa do motorista para alcançá-lo e possuir os maiores desníveis nos pontos 2 e 3.

Além disso, também pode-se verificar nos gráficos 1 e 2, uma tendência dos valores médios das acelerações subtraídas da gravidade serem negativos, o que se evidencia, principalmente no caso após o tratamento com o filtro. Provavelmente, isso ocorreu devido ao valor de aceleração da gravidade local medido pelo aparelho ser inferior ao valor tomado como referência de  $9,80665 \text{ m/s}^2$ . Possivelmente pela imprecisão dos sensores do smartphone, pelas configurações do aplicativo acelerômetro ou pela aceleração da gravidade média em João Pessoa ser inferior ao valor de referência. Isso pode ser verificado nos gráficos de 3 à 57 também.

- Volta 2: Realizada no dia 23/03/2024 às 15:26:55.

Na volta 2 em Água Fria 1, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 10.

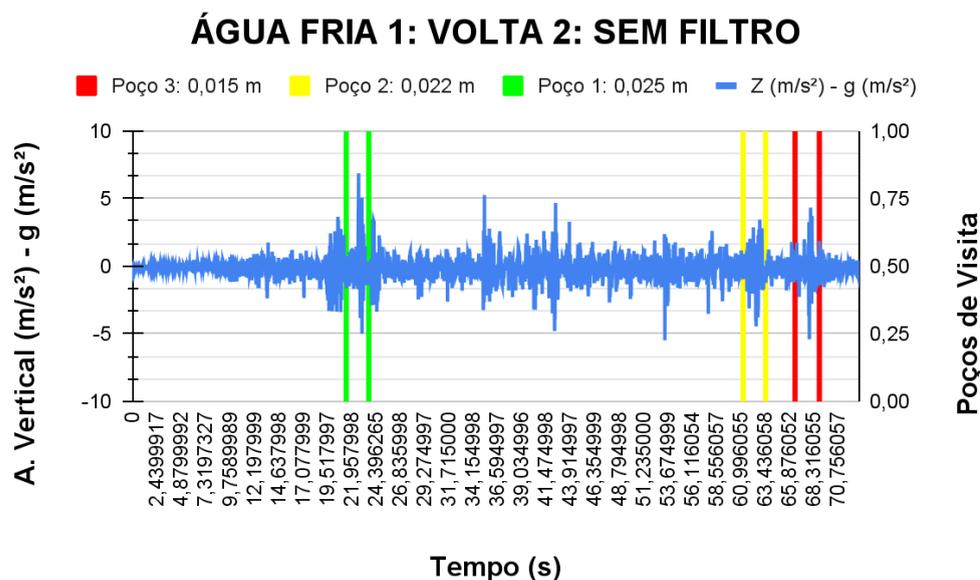
Tabela 10: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 1, na volta 2.

<b>ÁGUA FRIA 1 - VOLTA 2</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Tempo (s)</b>
1	ACELERAÇÃO V2	8,27
2	POÇO 1 V2	22,35
3	POÇO 2 V2	62,31
4	POÇO 3 V2	67,79
5	FIM V2	70,22

Fonte: Autoral.

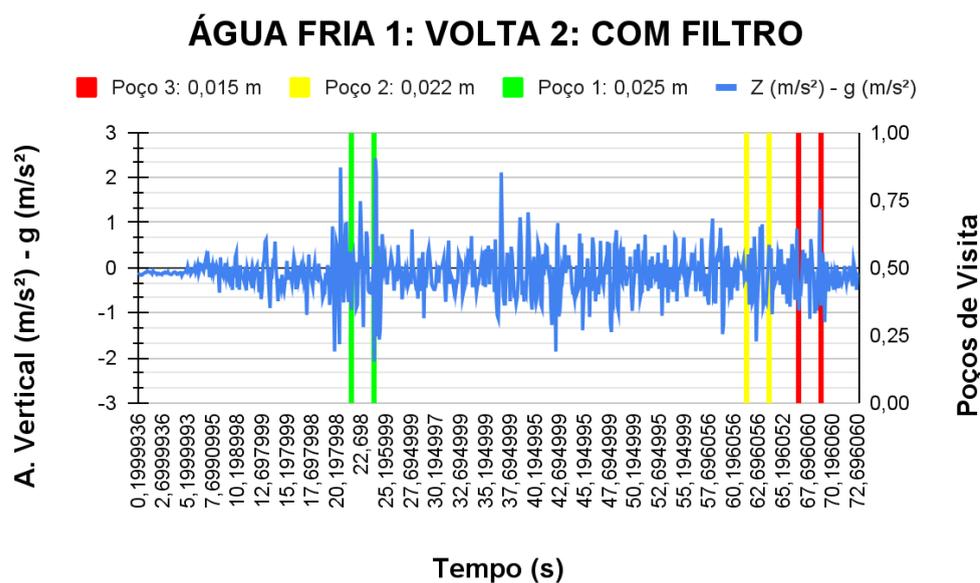
O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 3.

Gráfico 3: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 4 foi montado.

Gráfico 4: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Pelo exposto nos gráficos, os poços afetaram a aceleração, porém com uma menor relevância em relação ao resto do percurso, em comparação com a volta 1.

- Volta 3: Realizada no dia 23/03/2024 às 15:31:25.

As medições realizadas na volta 3 em Água Fria 1 foram descartadas devido a erros de medição no cronômetro por parte do responsável.

- Volta 4: Realizada no dia 23/03/2024 às 15:34:16.

Na volta 4 em Água Fria 1, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 11.

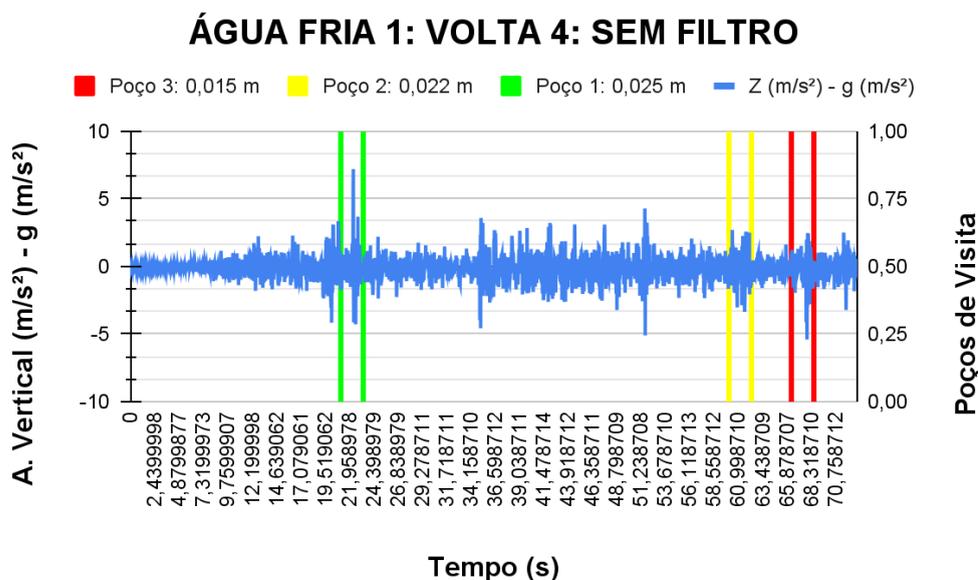
Tabela 11: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 1, na volta 4.

ÁGUA FRIA 1 - VOLTA 4		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V4	6,27
2	POÇO 1 V4	22,02
3	POÇO 2 V4	61,17
4	POÇO 3 V4	67,56
5	FIM V4	69,61

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 5.

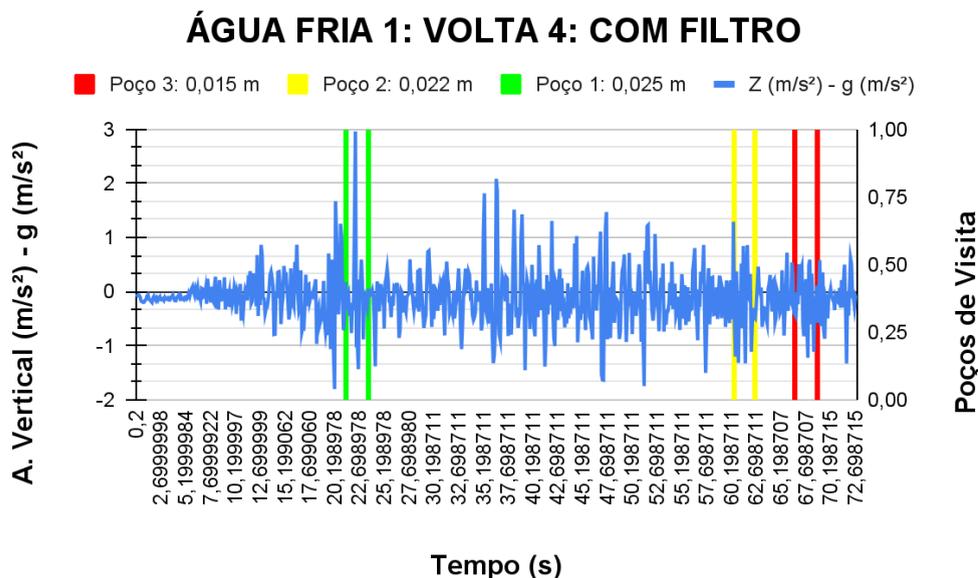
Gráfico 5: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 6 foi montado.

Gráfico 6: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O poço 1, como na primeira volta, foi o que mais afetou a variação de aceleração vertical.

- Volta 5: Realizada no dia 23/03/2024 às 15:37:23.

Na volta 5 em Água Fria 1, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 12.

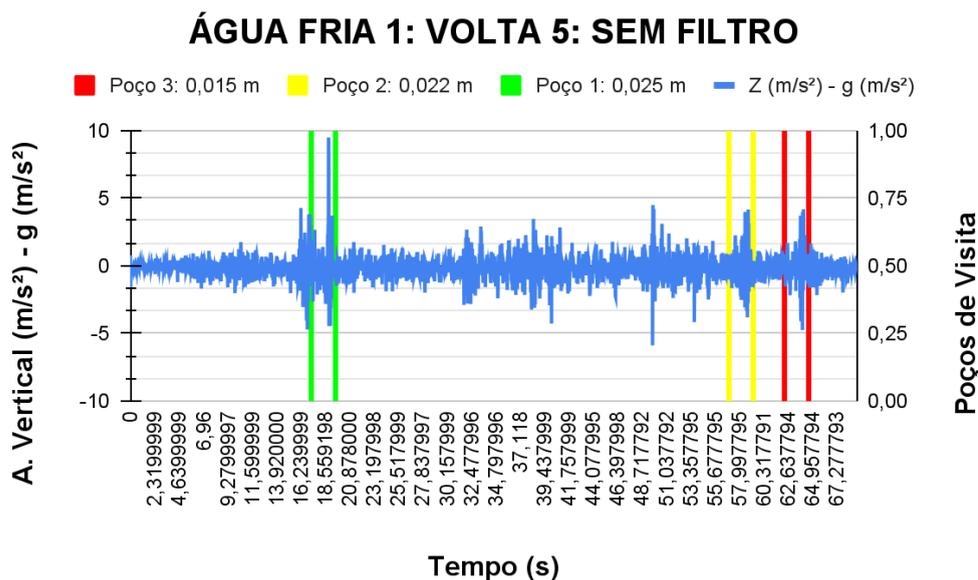
Tabela 12: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 1, na volta 5.

<b>ÁGUA FRIA 1 - VOLTA 5</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Tempo (s)</b>
1	ACELERAÇÃO V5	4,79
2	POÇO 1 V5	18,18
3	POÇO 2 V5	58,09
4	POÇO 3 V5	63,48
5	FIM V5	65,18

Fonte: Autoral.

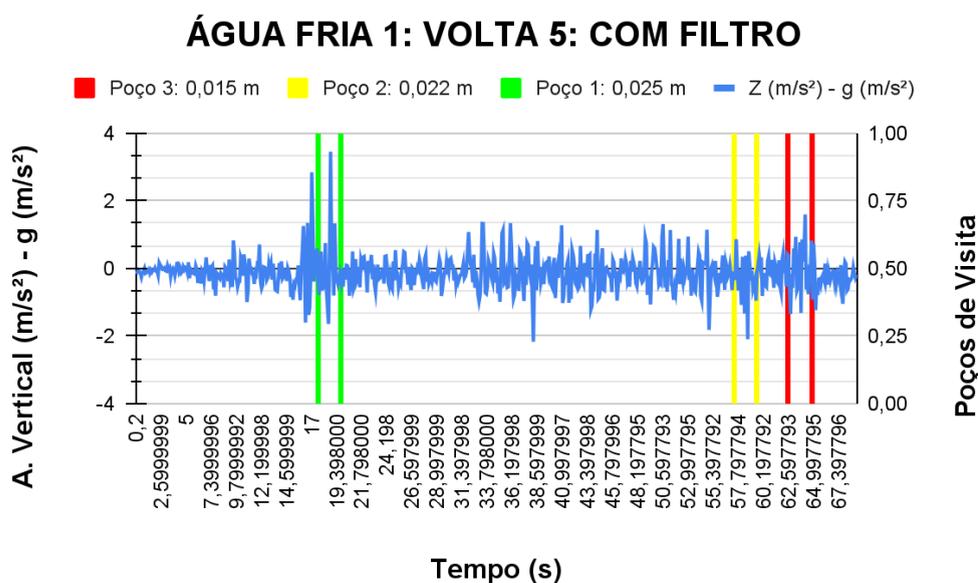
O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 7.

Gráfico 7: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 8 foi montado.

Gráfico 8: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Novamente, o poço 1 foi o que mais afetou a variação de aceleração vertical.

### 5.2.2 Aceleração na rota Água Fria 2

- Volta 1: Realizada no dia 23/03/2024 às 15:41:07.

Na volta 1 em Água Fria 2, tomou-se a rota na versão 1 e os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 13.

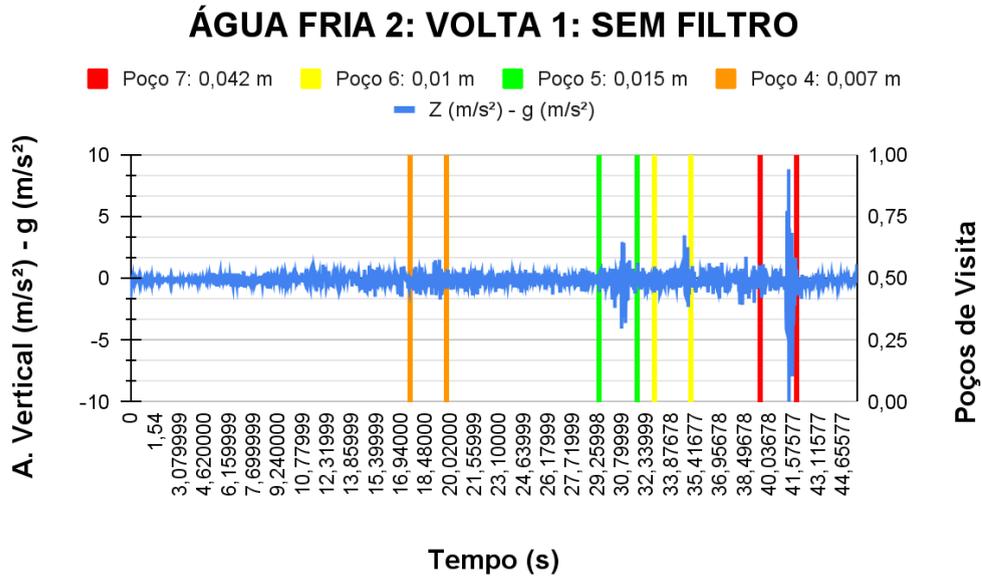
Tabela 13: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 2, na volta 1.

<b>ÁGUA FRIA 2 - VOLTA 1</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Tempo (s)</b>
1	ACELERAÇÃO V1	5,69
2	CURVA V1	10,06
3	POÇO 4 V1	18,53
4	POÇO 5 V1	30,52
5	POÇO 6 V1	34,02
6	POÇO 7 V1	40,76
7	FIM V1	43,32

Fonte: Autoral.

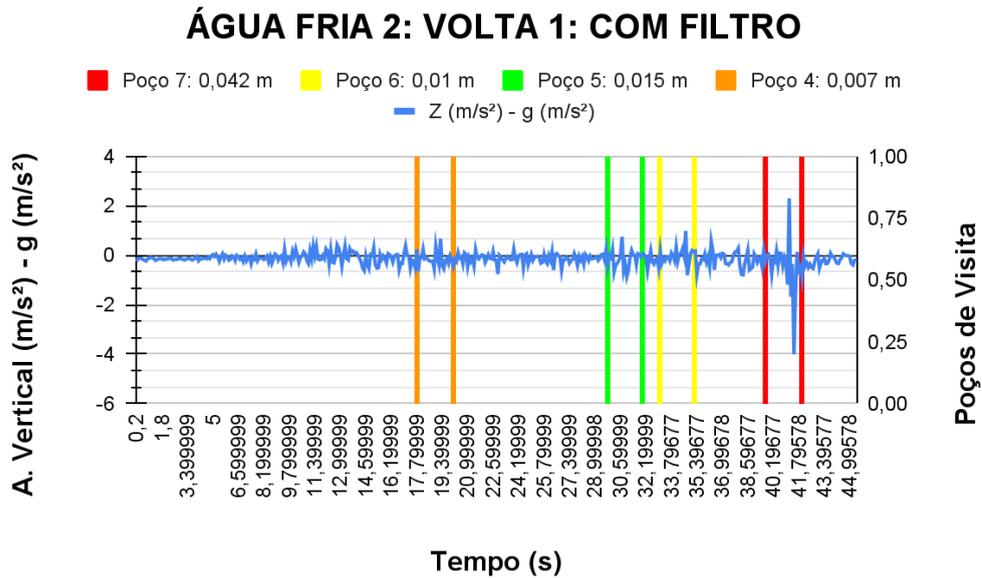
O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 9.

Gráfico 9: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 10 foi montado.

Gráfico 10: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



O poço 7 foi o que mais afetou a variação de aceleração vertical, provavelmente por apresentar o maior desnível e por ter sido necessário realizar uma manobra abrupta com o veículo para atingi-lo com roda de teste.

- Volta 2: Realizada no dia 23/03/2024 às 15:42:56.

Na volta 2 em Água Fria 2, tomou-se a rota na versão 2 e os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 14.

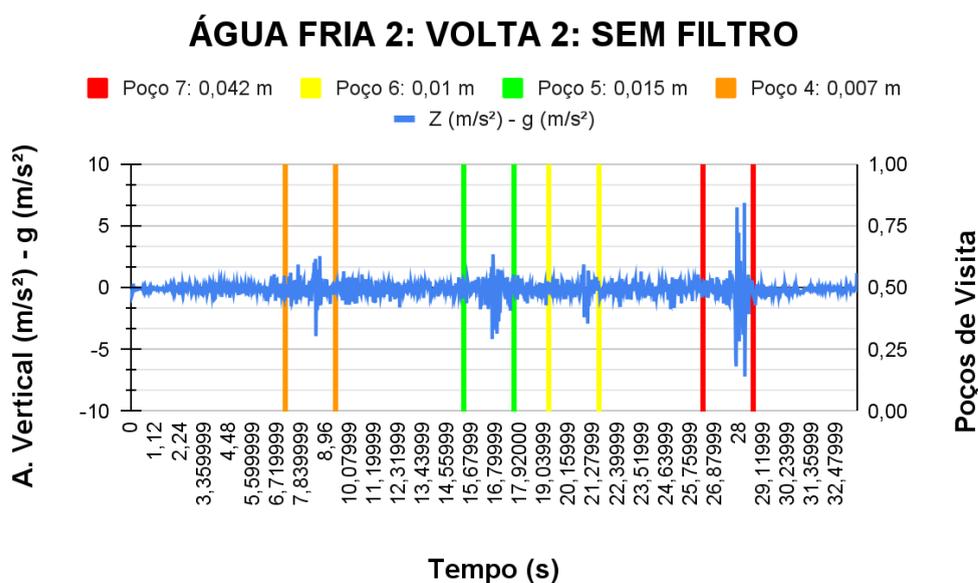
Tabela 14: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 2, na volta 2.

ÁGUA FRIA 2 - VOLTA 2		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V2	3,69
2	POÇO 4 V2	8,19
3	POÇO 5 V2	16,48
4	POÇO 6 V2	20,43
5	POÇO 7 V2	27,64
6	FIM V2	30,82

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 11.

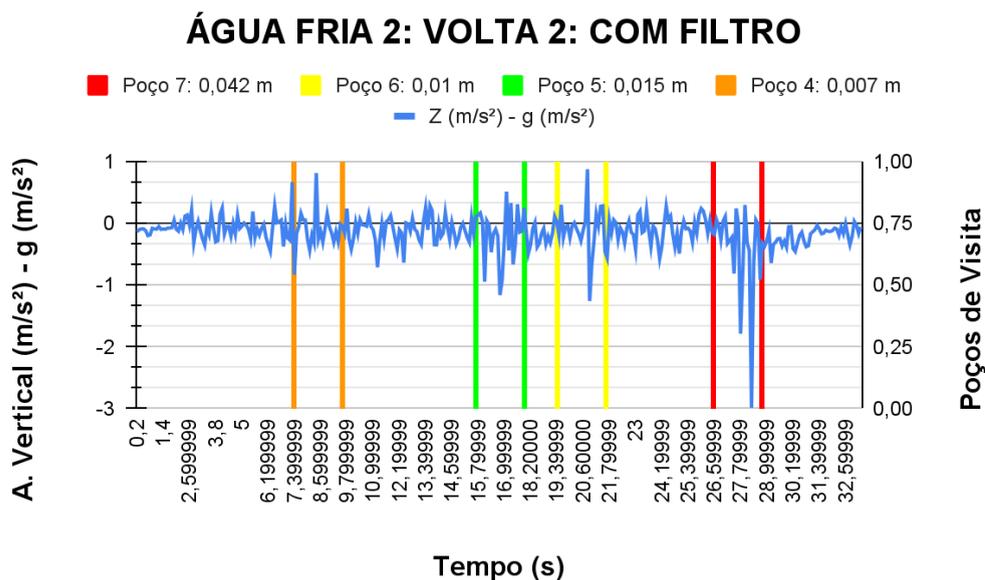
Gráfico 11: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 12 foi montado.

Gráfico 12: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O poço 7 foi, novamente, o que mais afetou a variação de aceleração vertical.

- Volta 3: Realizada no dia 23/03/2024 às 15:45:25.

Na volta 3 em Água Fria 2, tomou-se a rota na versão 2 e os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 15.

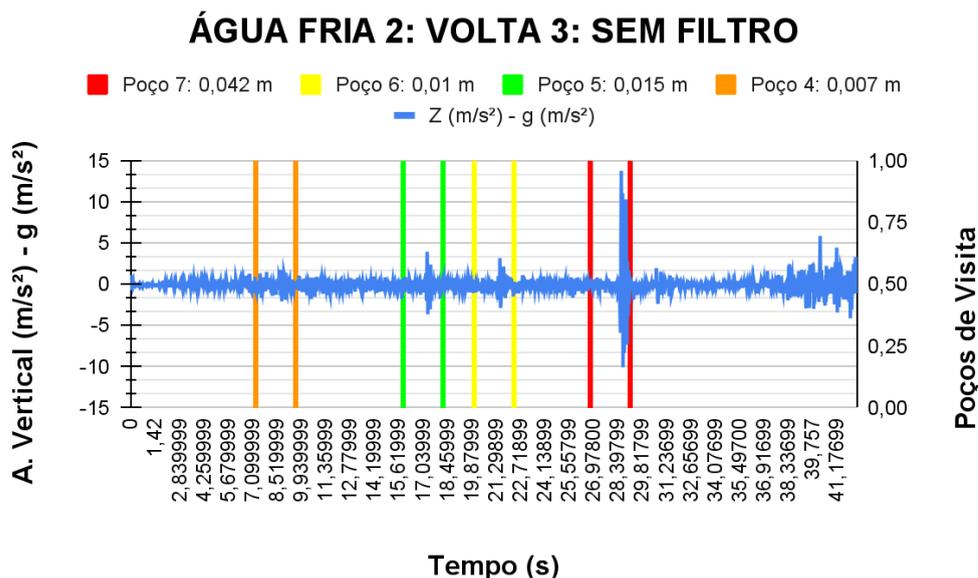
Tabela 15: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 2, na volta 3.

<b>ÁGUA FRIA 2 - VOLTA 3</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Tempo (s)</b>
1	ACELERAÇÃO V3	3,9
2	POÇO 4 V3	8,32
3	POÇO 5 V3	16,97
4	POÇO 6 V3	21,25
5	POÇO 7 V3	28,07
6	FIM V3	35,72

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 13.

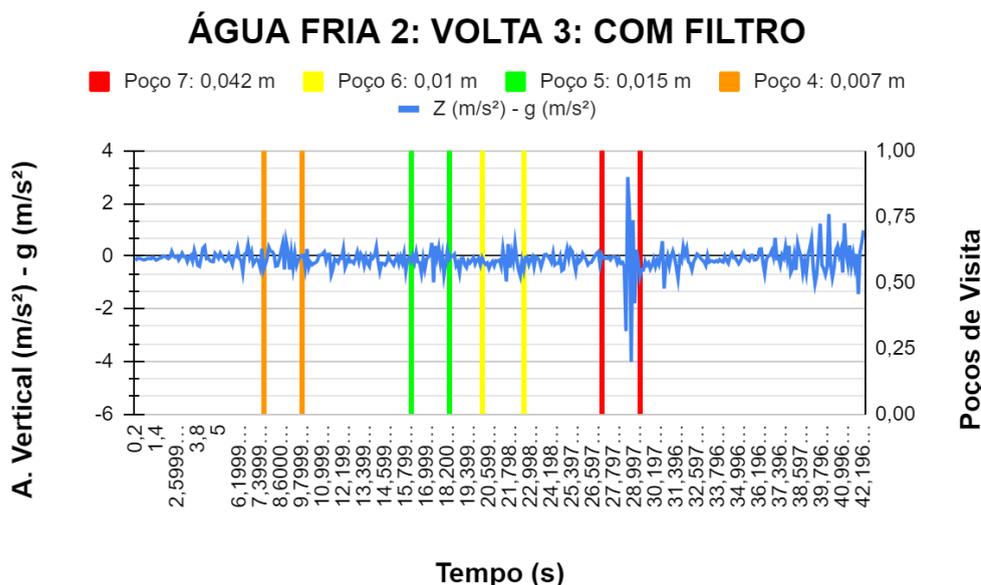
Gráfico 13: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 14 foi montado.

Gráfico 14: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O poço 7 foi, novamente, o que mais afetou a variação de aceleração vertical.

- Volta 4: Realizada no dia 23/03/2024 às 15:47:10.

Na volta 4 em Água Fria 2, tomou-se a rota na versão 1 e os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 16.

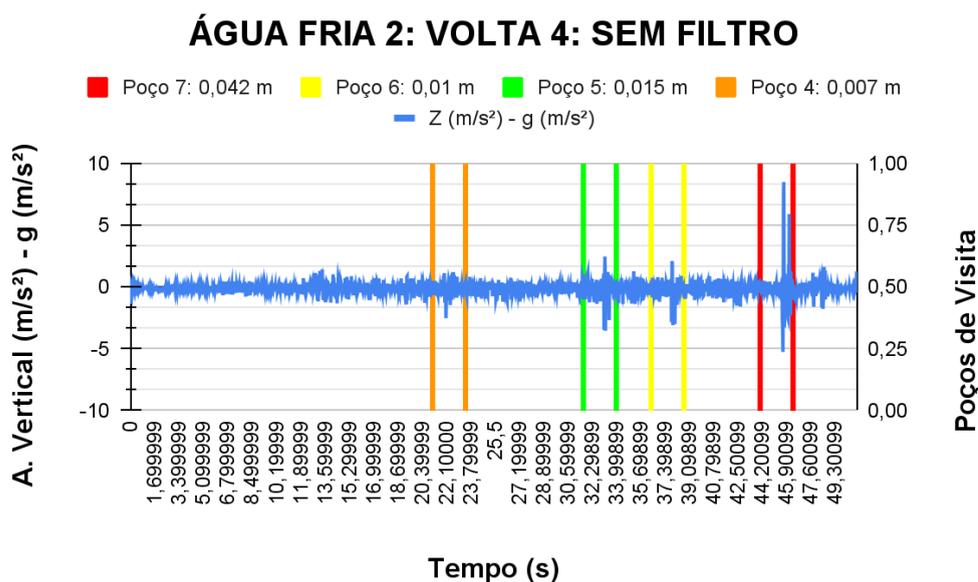
Tabela 16: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 2, na volta 4.

ÁGUA FRIA 2 - VOLTA 4		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V4	8,1
2	CURVA V4	12,69
3	POÇO 4 V4	22,1
4	POÇO 5 V4	32,81
5	POÇO 6 V4	37,59
6	POÇO 7 V4	45,36
7	FIM V4	47,37

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 15.

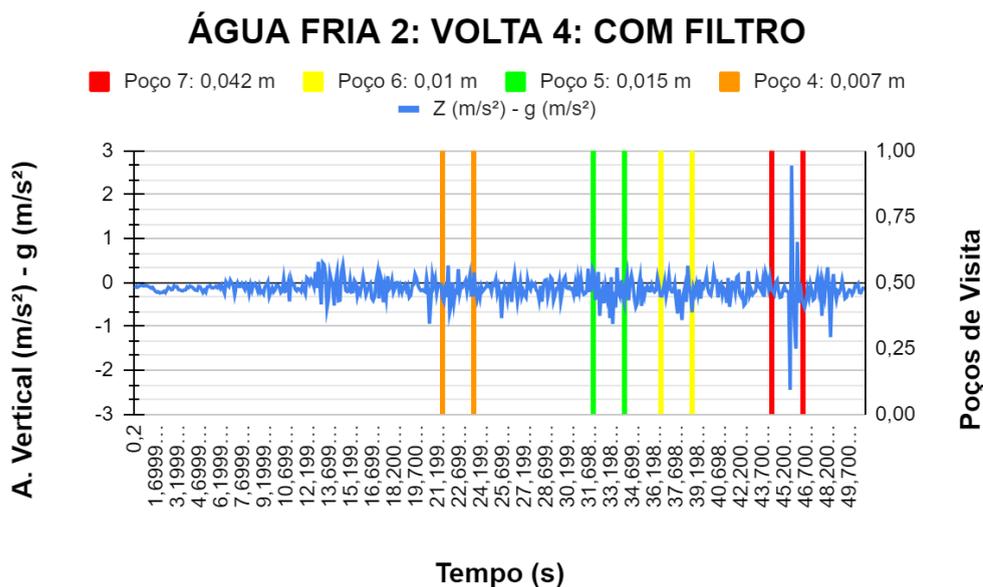
Gráfico 15: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 16 foi montado.

Gráfico 16: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O poço 7 foi, novamente, o que mais afetou a variação de aceleração vertical.

- Volta 5: Realizada no dia 23/03/2024 às 15:47:10.

Na volta 5 em Água Fria 2, tomou-se a rota na versão 2 e os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 17.

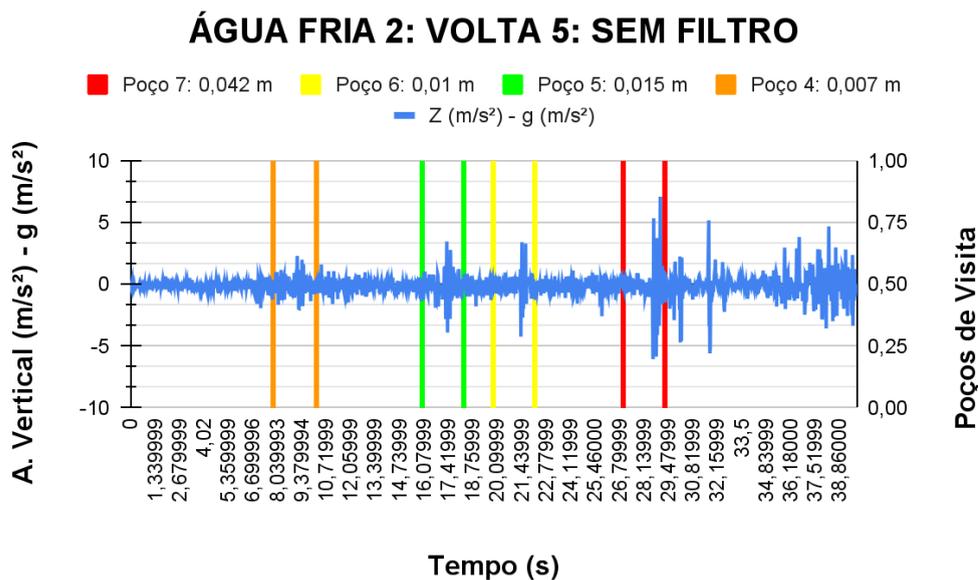
Tabela 17: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Água Fria 2, na volta 5.

<b>ÁGUA FRIA 2 - VOLTA 5</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Tempo (s)</b>
1	ACELERAÇÃO V5	3,98
2	POÇO 4 V5	8,86
3	POÇO 5 V5	17,06
4	POÇO 6 V5	21,08
5	POÇO 7 V5	28,28
6	FIM V5	30,76

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 17.

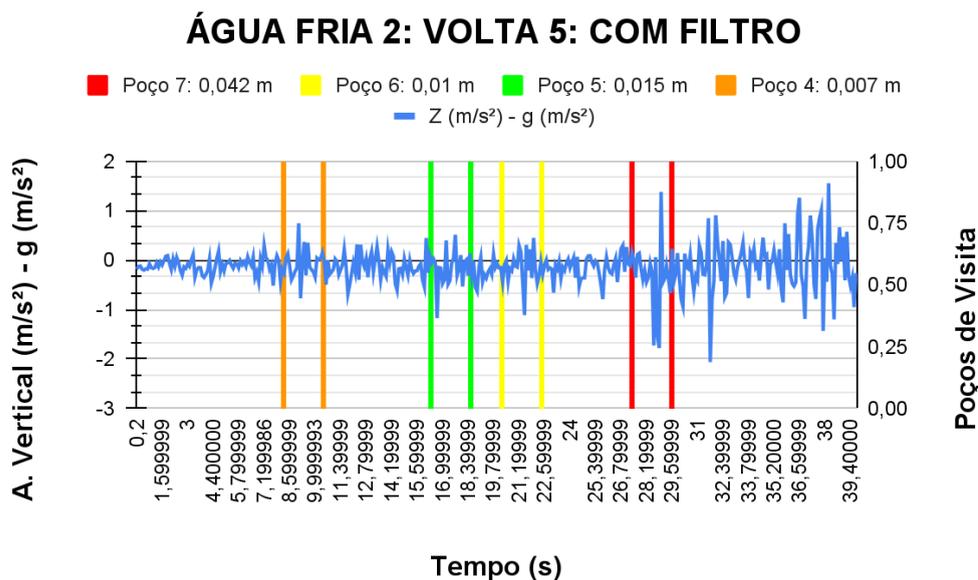
Gráfico 17: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 18 foi montado.

Gráfico 18: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O poço 7 foi, novamente, o que mais afetou a variação de aceleração vertical.

### 5.2.3 Aceleração na rota Altiplano

- Volta 1: Realizada no dia 23/03/2024 às 14:40:39.

Na volta 1 em Altiplano, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 18.

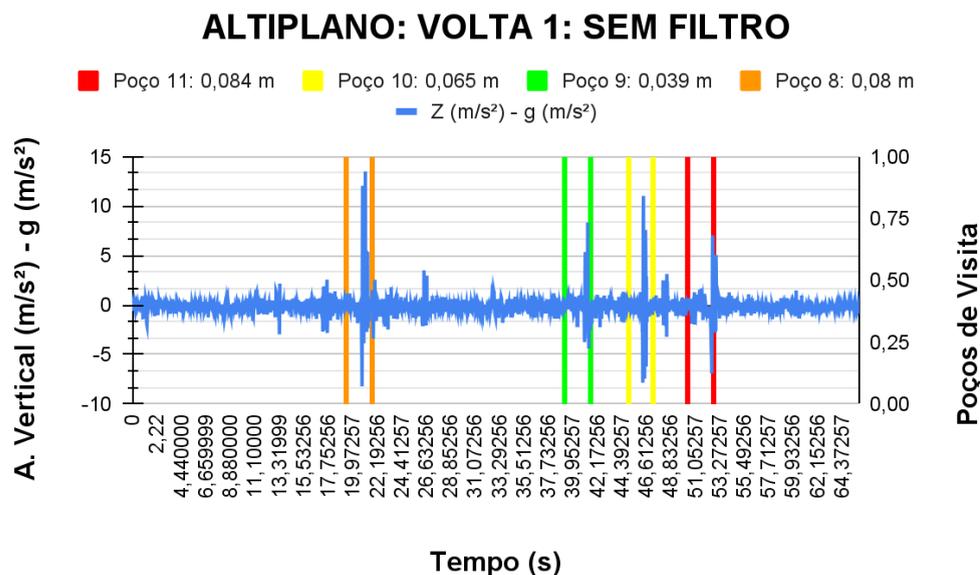
Tabela 18: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Altiplano, na volta 1.

<b>ALTIPLANO - VOLTA 1</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Tempo (s)</b>
1	ACELERAÇÃO V1	3,75
2	CURVA 1 V1	10,34
3	POÇO 8 V1	20,31
4	CURVA 2 V1	31,23
5	POÇO 9 V1	40,31
6	POÇO 10 V1	46,21
7	POÇO 11 V1	51,75
8	FIM V1	60,14

Fonte: Autoral.

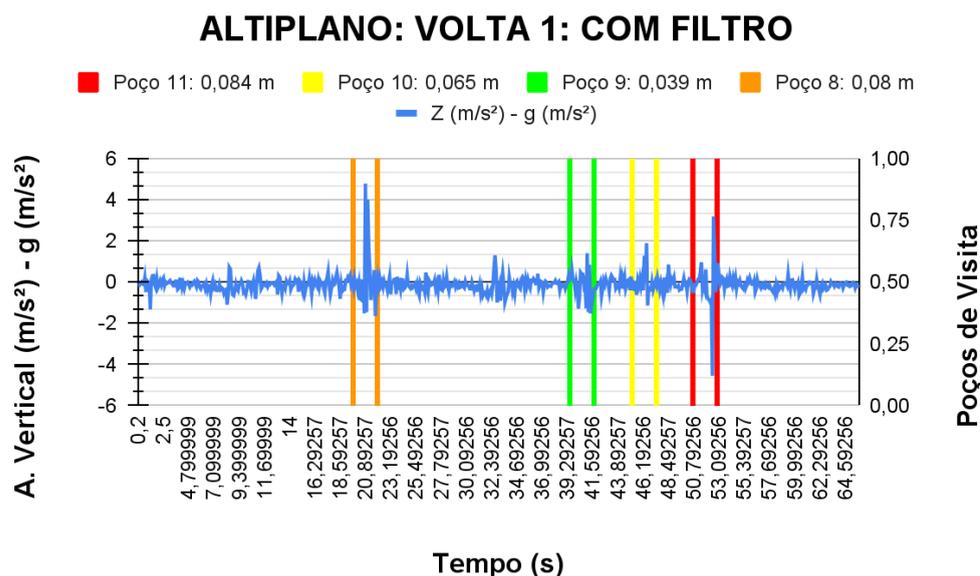
O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 19.

Gráfico 19: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 20 foi montado.

Gráfico 20: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Os poços 8 e 11 foram os que mais afetaram a variação de aceleração vertical. Possivelmente, por serem os poços que apresentaram os maiores desníveis.

- Volta 2: Realizada no dia 23/03/2024 às 14:45:54.

Na volta 2 em Altiplano, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 19.

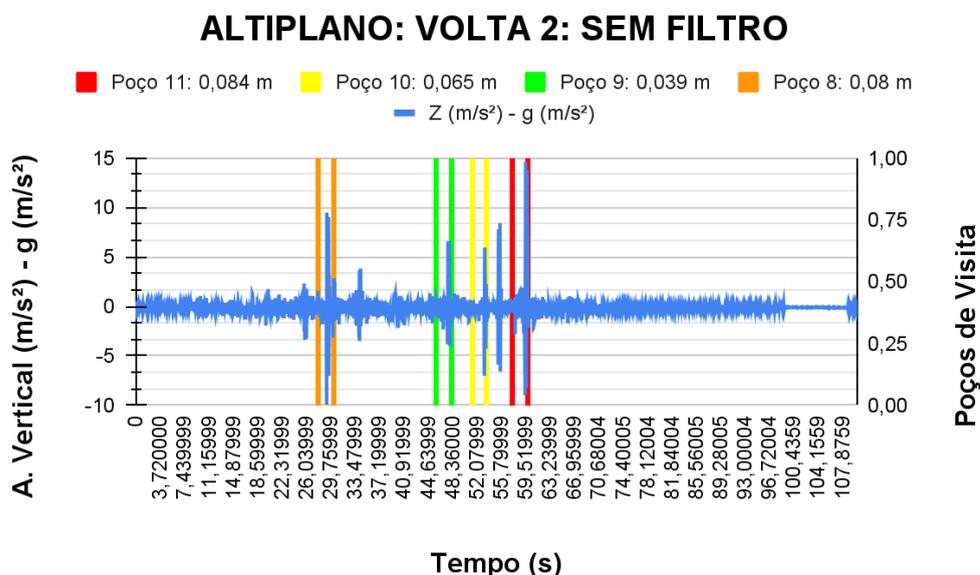
Tabela 19: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Altiplano, na volta 2.

ALTIPLANO - VOLTA 2		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V2	10,72
2	CURVA 1 V2	17,13
3	POÇO 8 V2	28,7
4	CURVA 2 V2	38,79
5	POÇO 9 V2	46,99
6	POÇO 10 V2	52,62
7	POÇO 11 V2	59,02
8	FIM V2	63,04

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 21.

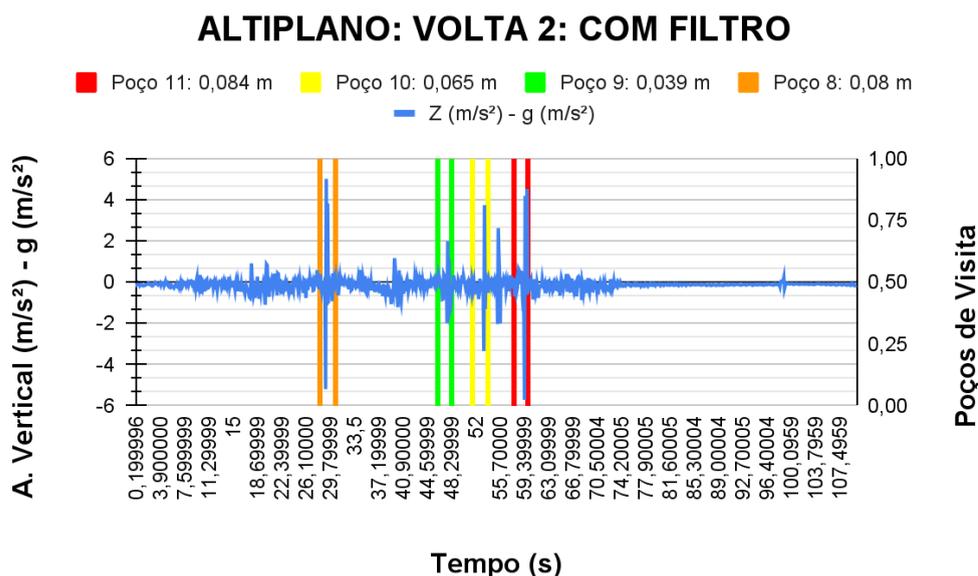
Gráfico 21: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O filtro foi aplicado nesses valores de aceleração e o gráfico 22 foi montado.

Gráfico 22: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Os poços 8 e 11 foram os que mais afetaram a variação de aceleração vertical. Porém, nessa volta, o poço 10, que também possui um desnível significativo, também teve efeito.

- Volta 3: Realizada no dia 23/03/2024 às 14:49:03.

Na volta 3 em Altiplano, os tempos, registrados na tabela 20, de referência foram marcados.

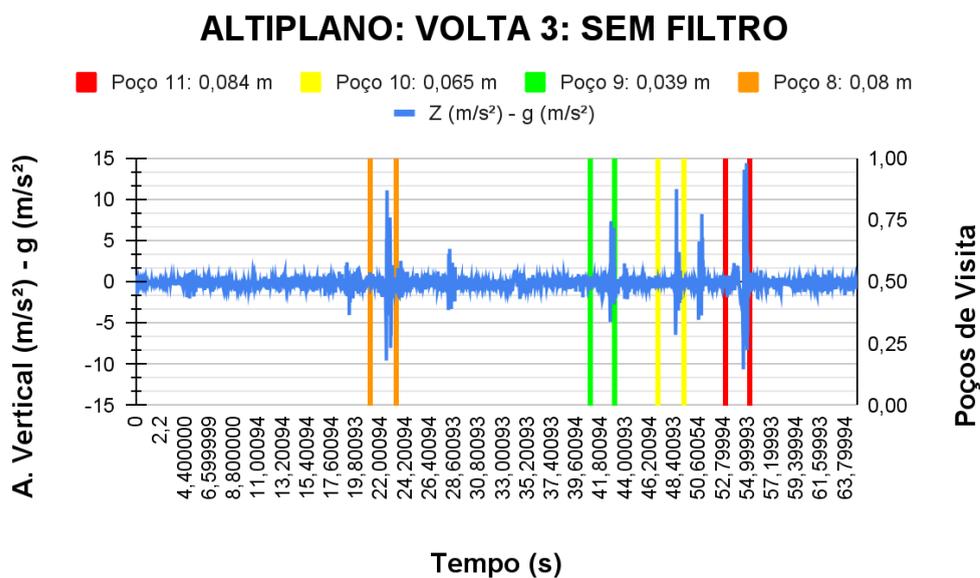
Tabela 20: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Altiplano, na volta 3.

<b>ALTIPLANO - VOLTA 3</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
<b>Número</b>	<b>Tipo</b>	<b>Tempo (s)</b>
1	ACELERAÇÃO V3	5,23
2	CURVA 1 V3	10,54
3	POÇO 8 V3	22
4	CURVA 2 V3	32,82
5	POÇO 9 V3	41,91
6	POÇO 10 V3	48,17
7	POÇO 11 V3	54,4
8	FIM V3	57,97

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 23.

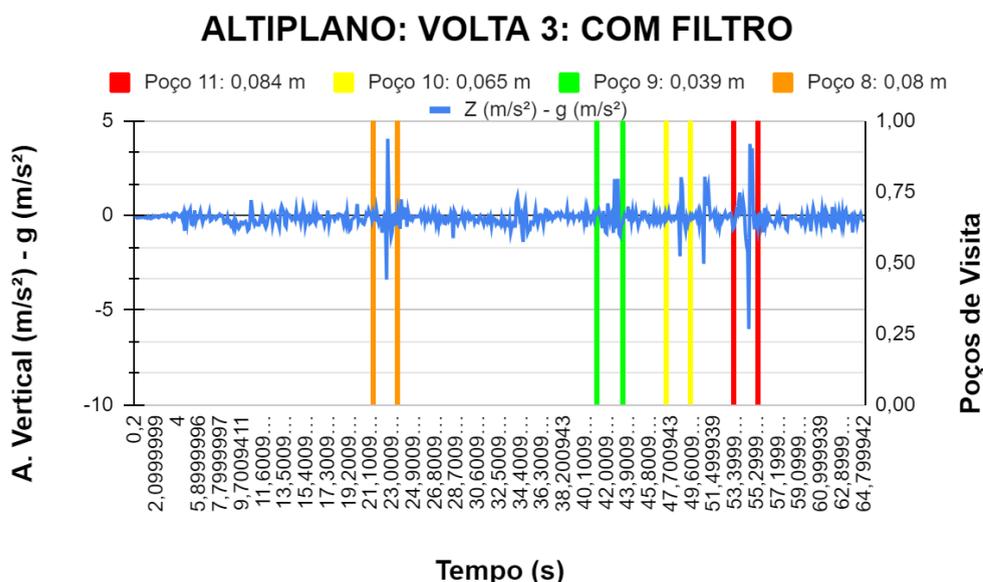
Gráfico 23: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 24 foi montado.

Gráfico 24: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Os poços 8 e 11 foram os que mais afetaram a variação de aceleração vertical.

- Volta 4: Realizada no dia 23/03/2024 às 14:55:20.

Na volta 4 em Altiplano, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 21.

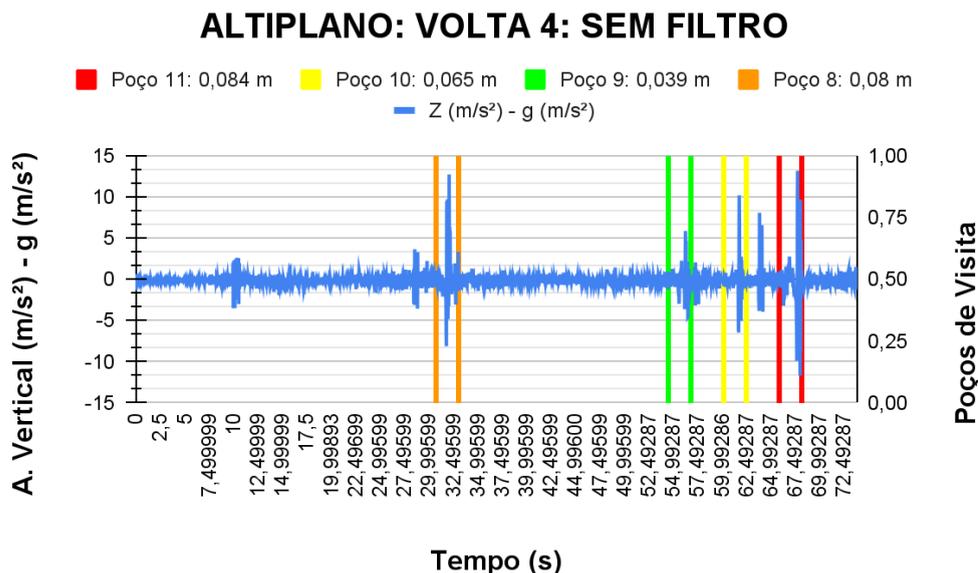
Tabela 21: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Altiplano, na volta 4.

ALTIPLANO - VOLTA 4		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V4	10,68
2	CURVA 1 V4	15,61
3	POÇO 8 V4	31,55
4	CURVA 2 V4	48,14
5	POÇO 9 V4	55,68
6	POÇO 10 V4	61,47
7	POÇO 11 V4	67,31
8	FIM V4	71,41

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 25.

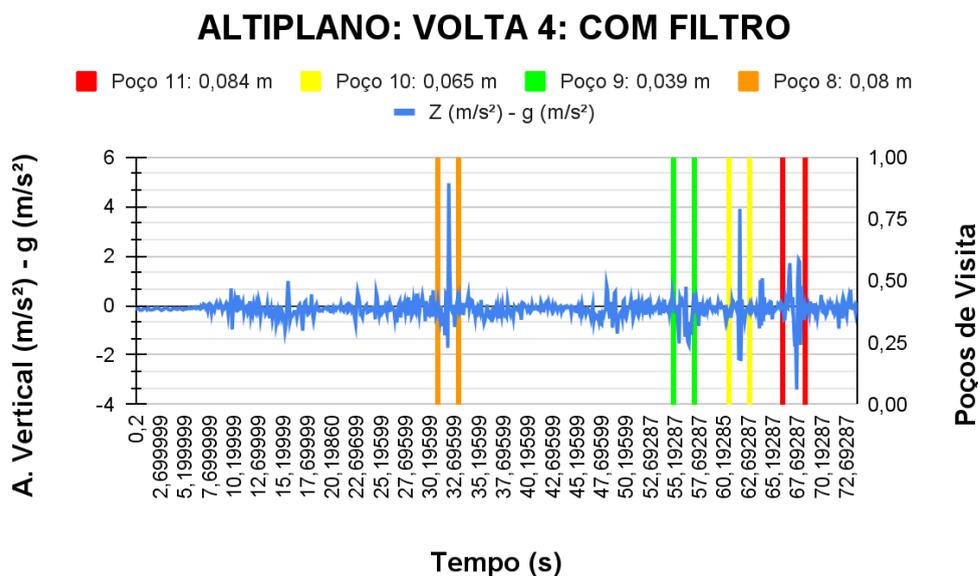
Gráfico 25: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 26 foi montado.

Gráfico 26: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O poço 8 foi o que mais afetou a variação de aceleração vertical. E nessa volta, os poços 10 e 11 tiveram um efeito de intensidade similar sobre essa variação.

- Volta 5: Realizada no dia 23/03/2024 às 14:58:35.

Na volta 5 em Altiplano, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 22.

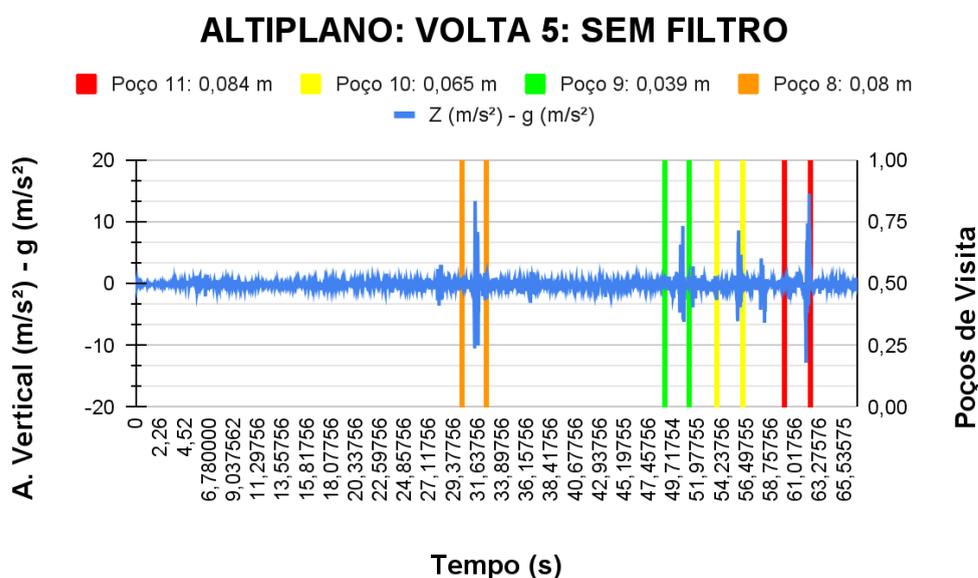
Tabela 22: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Altiplano, na volta 5.

ALTIPLANO - VOLTA 5		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V5	6,34
2	CURVA 1 V5	15,06
3	POÇO 8 V5	31,04
4	CURVA 2 V5	41,23
5	POÇO 9 V5	50
6	POÇO 10 V5	55,05
7	POÇO 11 V5	61,5
8	FIM V5	63,81

Fonte: Autoral.

Subtraiu-se a aceleração da gravidade da medida e foi montado o gráfico 27.

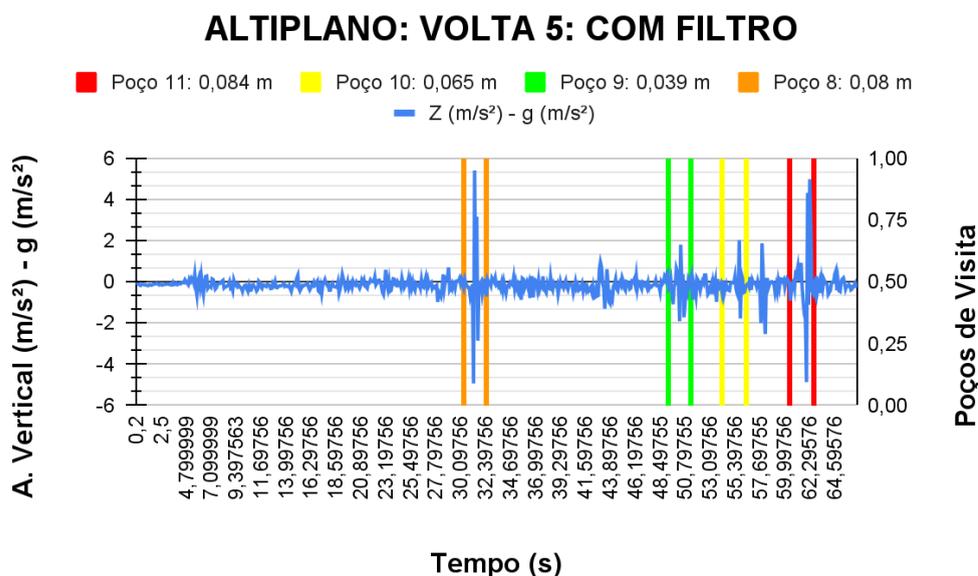
Gráfico 27: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 28 foi montado.

Gráfico 28: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Os poços 8 e 11 foram os que mais afetaram a variação de aceleração vertical, novamente.

#### 5.2.4 Aceleração na rota Cabo Branco

Essa foi a rota na qual o volume de carros presente mais influenciou negativamente a execução dos experimentos.

- Volta 1: Realizada no dia 24/03/2024 às 22:26:45.

Na volta 1 em Cabo Branco, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 23.

Tabela 23: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 1.

(continua)

<b>CABO BRANCO - VOLTA 1</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V1	19,27
2	CURVA V1	27,37

Tabela 23: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 1.

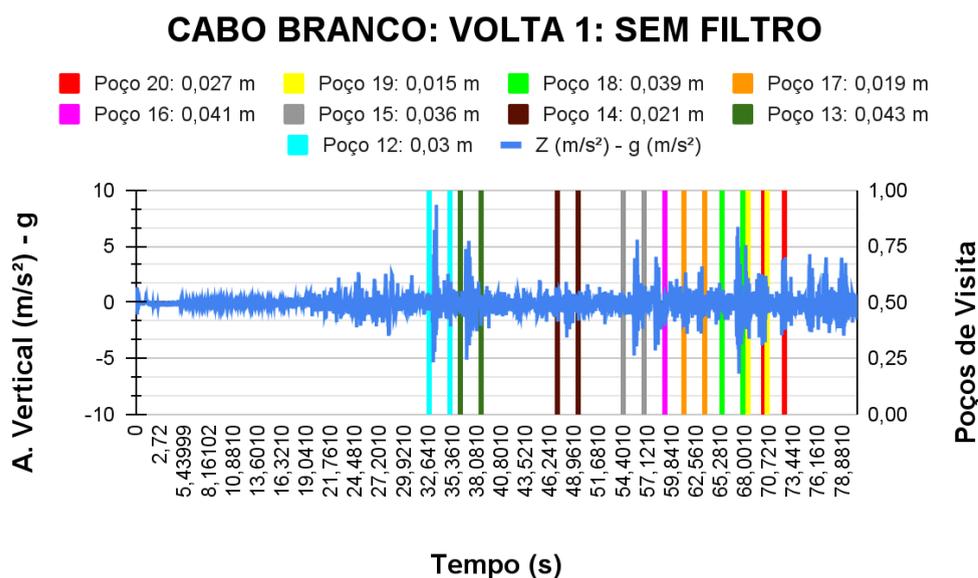
(conclusão)

CABO BRANCO - VOLTA 1		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
3	POÇO 12 V1	33,07
4	POÇO 13 V1	36,65
5	POÇO 14 V1	47,82
6	POÇO 15 V1	55,32
7	POÇO 16 V1	57,83
8	POÇO 17 V1	62,55
9	POÇO 18 V1	66,87
10	POÇO 19 V1	69,92
11	POÇO 20 V1	71,94
12	FIM V1	76,25

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 29.

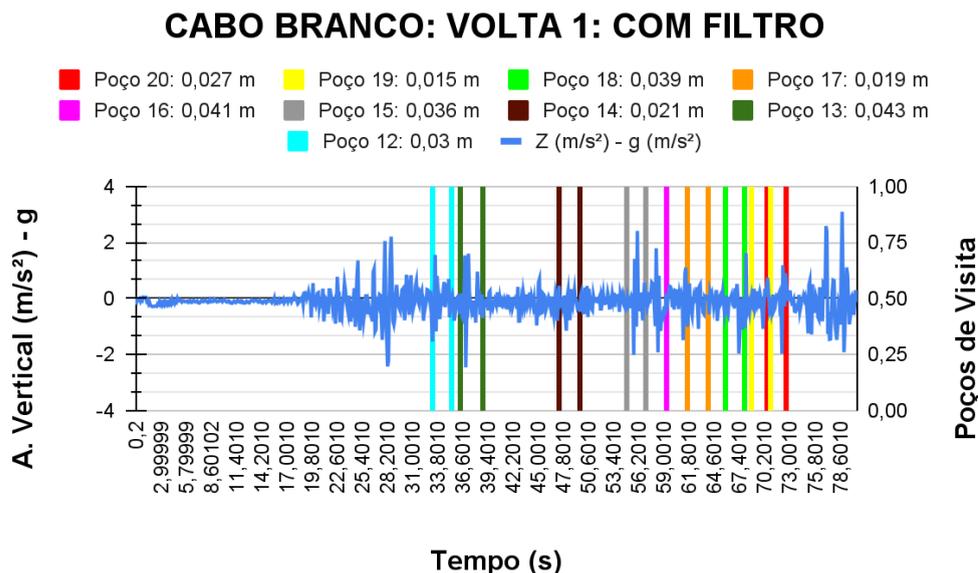
Gráfico 29: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 30 foi montado.

Gráfico 30: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Os poços 13 e 15 foram os que mais afetaram a variação de aceleração vertical, possivelmente por apresentarem um desnível significativo e por também exigirem manobras para serem atingidos.

No caso da rota de Cabo Branco, como os poços de visita são localizados muito próximos uns dos outros, alguns intervalos se sobrepõem.

- Volta 2: Realizada no dia 24/03/2024 às 22:32:28.

Na volta 2 em Cabo Branco, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 24.

Tabela 24: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 2.

(continua)

<b>CABO BRANCO - VOLTA 2</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V2	4,13
2	CURVA V2	13,61
3	POÇO 12 V2	18,5
4	POÇO 13 V2	22,55
5	POÇO 14 V2	33,09
6	POÇO 15 V2	39,41

Tabela 24: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 2.

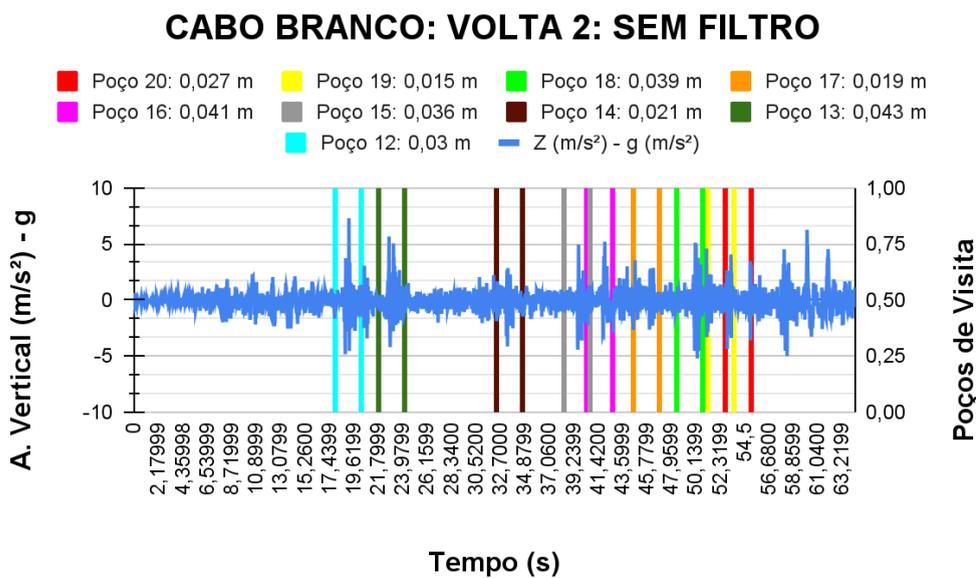
(conclusão)

CABO BRANCO - VOLTA 2		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
7	POÇO 16 V2	41,52
8	POÇO 17 V2	45,88
9	POÇO 18 V2	49,92
10	POÇO 19 V2	52,81
11	POÇO 20 V2	54,47
12	FIM V2	56,85

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 31.

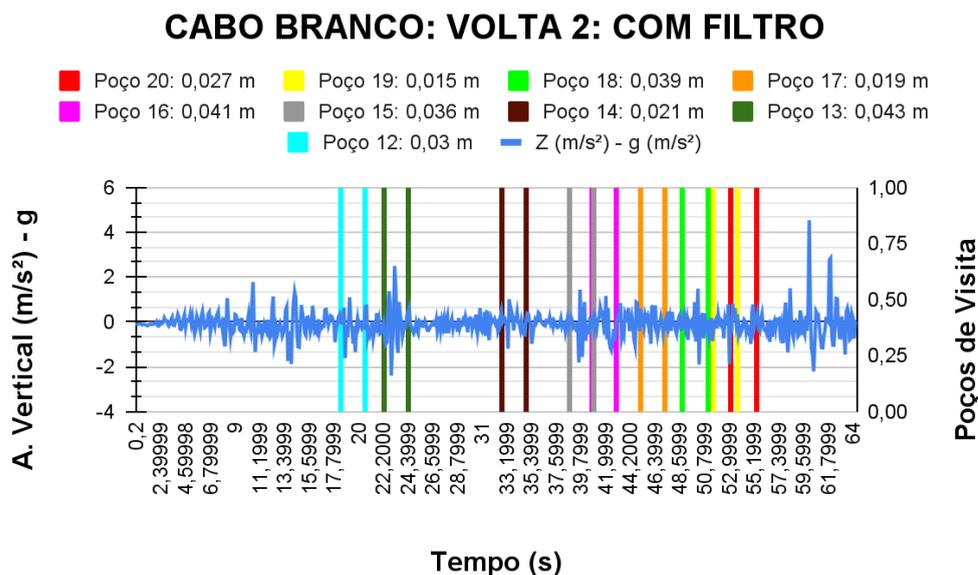
Gráfico 31: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 32 foi montado.

Gráfico 32: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O poço 13 foi o que mais afetou a variação de aceleração vertical. Novamente, alguns intervalos se sobrepõem.

- Volta 3: Realizada no dia 24/03/2024 às 22:41:16.

Na volta 3 em Cabo Branco, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 25.

Tabela 25: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 3.

(continua)

<b>CABO BRANCO - VOLTA 3</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V3	2,87
2	CURVA V3	14,28
3	POÇO 12 V3	19,23
4	POÇO 13 V3	22,67
5	POÇO 14 V3	32,37
6	POÇO 15 V3	38,82
7	POÇO 16 V3	40,78
8	POÇO 17 V3	45,34
9	POÇO 18 V3	49,66

Tabela 25: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 3.

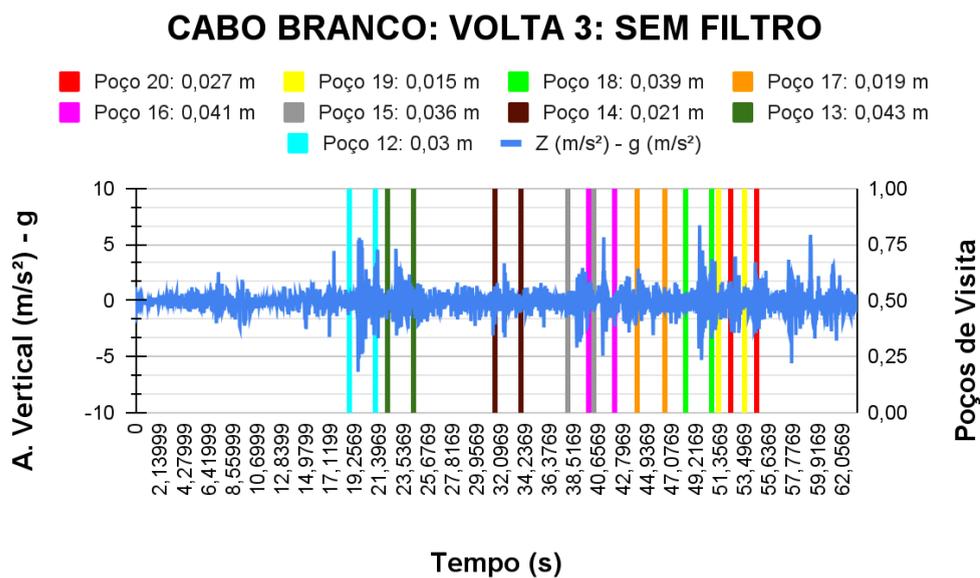
(conclusão)

CABO BRANCO - VOLTA 3		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
10	POÇO 19 V3	52,71
11	POÇO 20 V3	53,92
12	FIM V3	57,26

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 33.

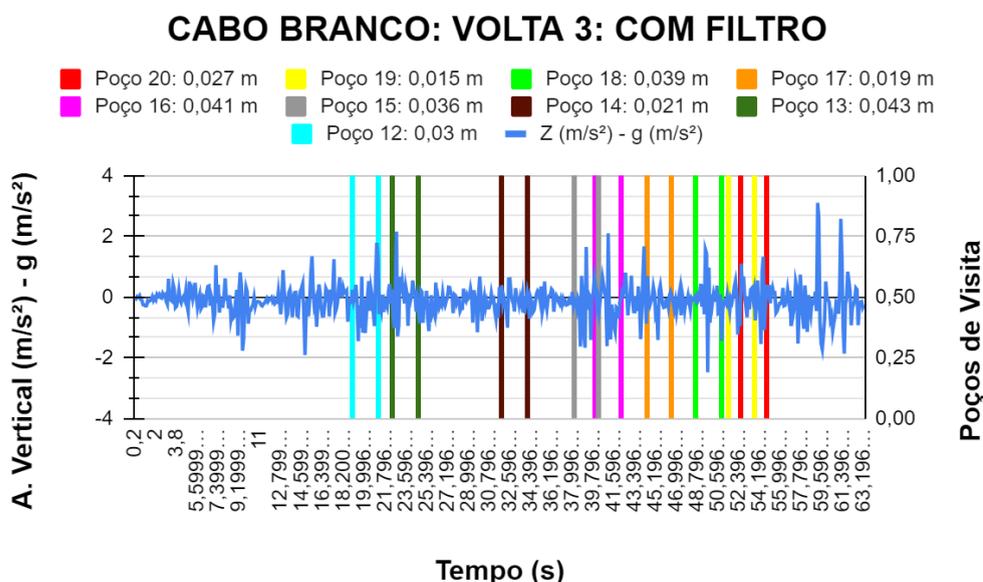
Gráfico 33: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 34 foi montado.

Gráfico 34: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O poço 13, 16 e 18 foram os que mais afetaram a variação de aceleração vertical, provavelmente devido a seus desníveis elevados e as manobras necessárias para atingi-los. Novamente, alguns intervalos se sobrepõem.

- Volta 4: Realizada no dia 24/03/2024 às 22:47:06.

Na volta 4 em Cabo Branco, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 26.

Tabela 26: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 4.

(continua)

<b>CABO BRANCO - VOLTA 4</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V4	26,45
2	CURVA V4	36,33
3	POÇO 12 V4	41,52
4	POÇO 13 V4	45,52
5	POÇO 14 V4	56,29
6	POÇO 15 V4	64,06
7	POÇO 16 V4	66,36
8	POÇO 17 V4	70,17
9	POÇO 18 V4	75,63

Tabela 26: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 4.

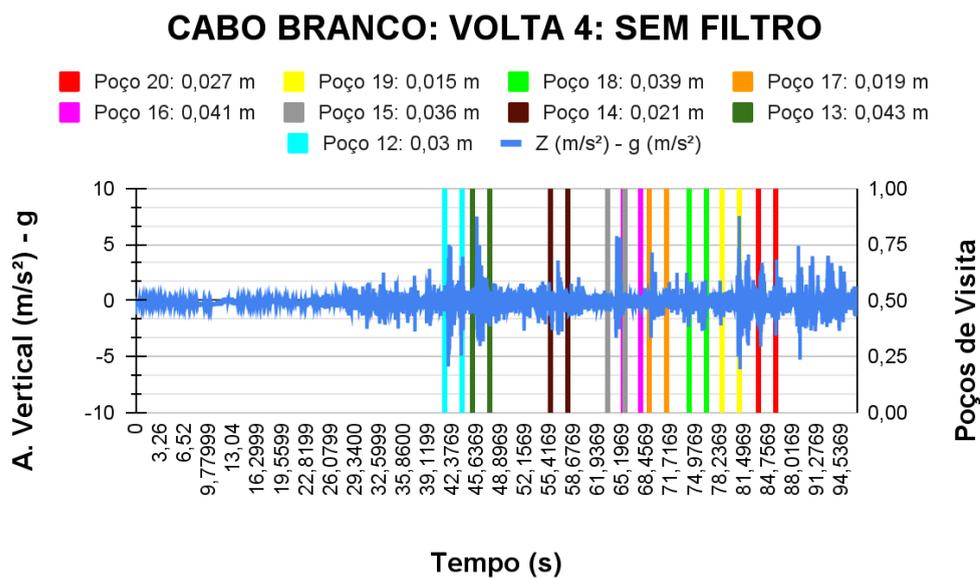
CABO BRANCO - VOLTA 4		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
10	POÇO 19 V4	80,32
11	POÇO 20 V4	85,42
12	FIM V4	90,14

(conclusão)

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 35.

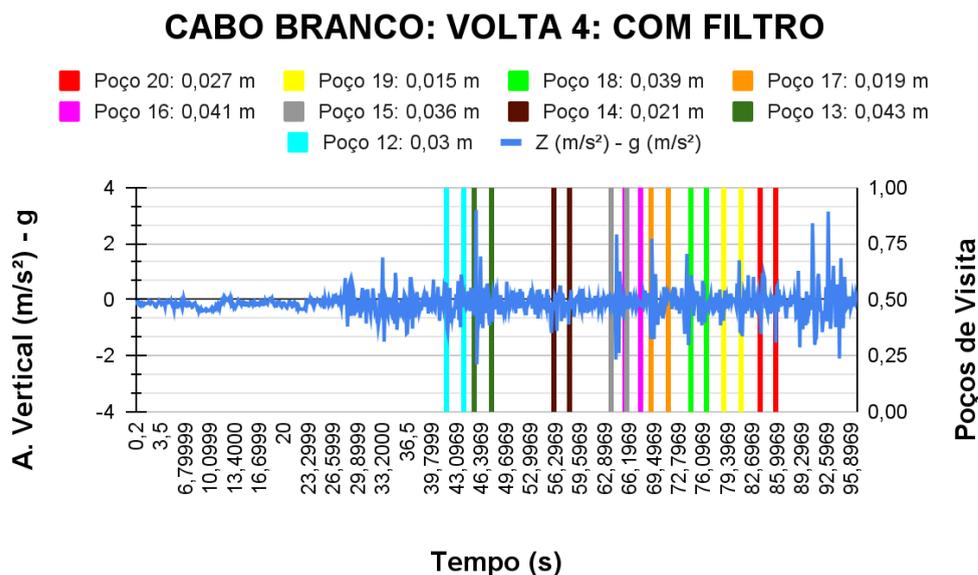
Gráfico 35: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 36 foi montado.

Gráfico 36: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O poço 13 e 15 foram os que mais afetaram a variação de aceleração vertical. Novamente, alguns intervalos se sobrepõem.

- Volta 5: Realizada no dia 24/03/2024 às 22:55:06.

Na volta 5 em Cabo Branco, os seguintes tempos de referência das singularidades foram marcados, registrados na tabela 27.

Tabela 27: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 5.

(continua)

<b>CABO BRANCO - VOLTA 5</b>		
<b>Relógio - Cronômetro - Singularidades</b>		
Número	Tipo	Tempo (s)
1	ACELERAÇÃO V5	4,19
2	CURVA V5	12,9
3	POÇO 12 V5	17,79
4	POÇO 13 V5	21,18
5	POÇO 14 V5	30,46
6	POÇO 15 V5	36,88
7	POÇO 16 V5	39,36
8	POÇO 17 V5	44,21
9	POÇO 18 V5	48,53

Tabela 27: Tempo de referência registrado por cronômetro para cada particularidade da rota Cabo Branco, na volta 5.

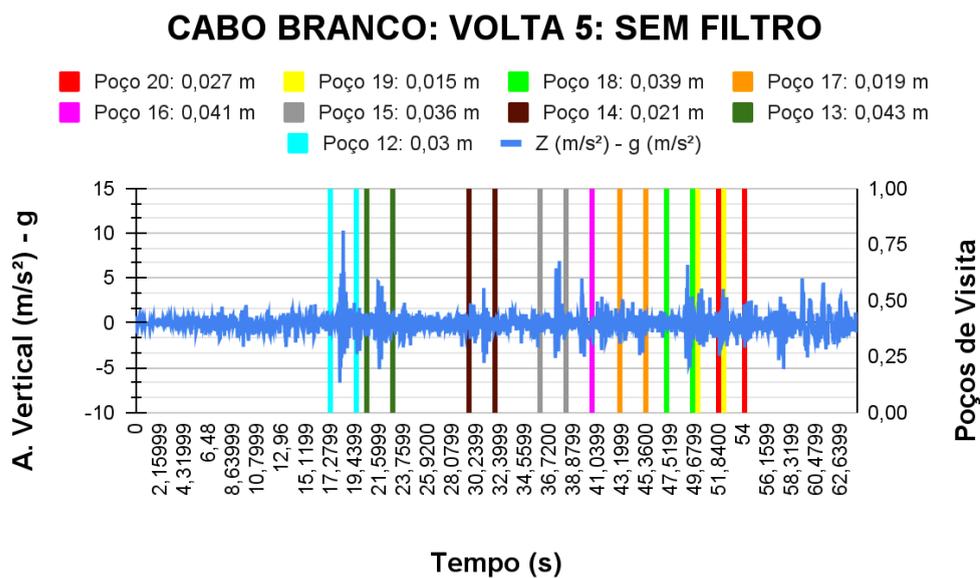
(conclusão)

CABO BRANCO - VOLTA 5		
Relógio - Cronômetro - Singularidades		
Número	Tipo	Tempo (s)
10	POÇO 19 V5	51,58
11	POÇO 20 V5	53,49
12	FIM V5	55,88

Fonte: Autoral.

O valor da aceleração da gravidade foi subtraído dos valores de aceleração medidos e foi montado o gráfico 37.

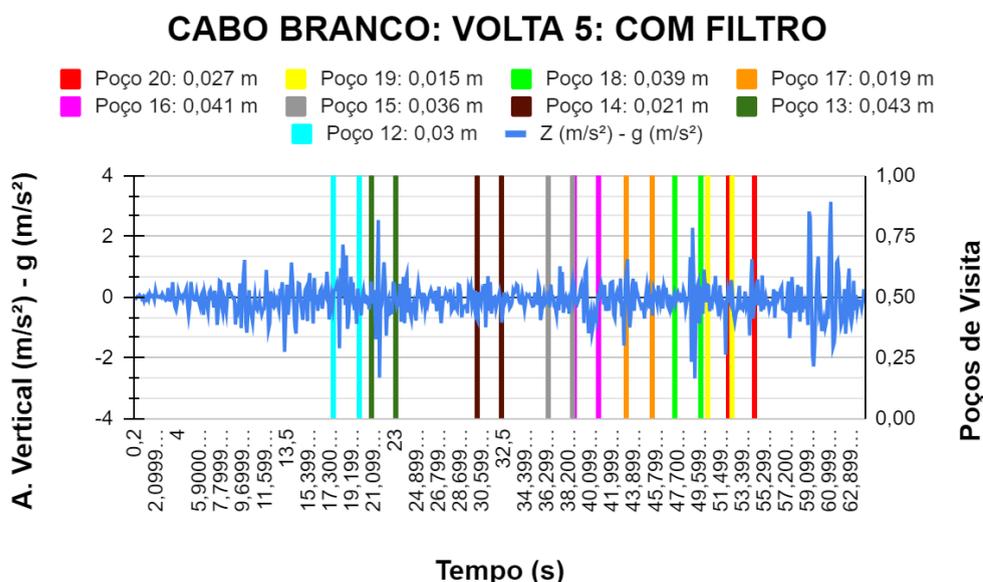
Gráfico 37: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, sem tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

Esses valores de aceleração subtraídos da gravidade foram tratados pelo filtro e o gráfico 38 foi montado.

Gráfico 38: Aceleração vertical medida subtraída da aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita, com tratamento com filtro.



Fonte: Autoral.

O poço 13 e 18 foram os que mais afetaram a variação de aceleração vertical. Novamente, alguns intervalos se sobrepõem.

### 5.3 EFEITO SOBRE O CONFORTO DOS USUÁRIOS

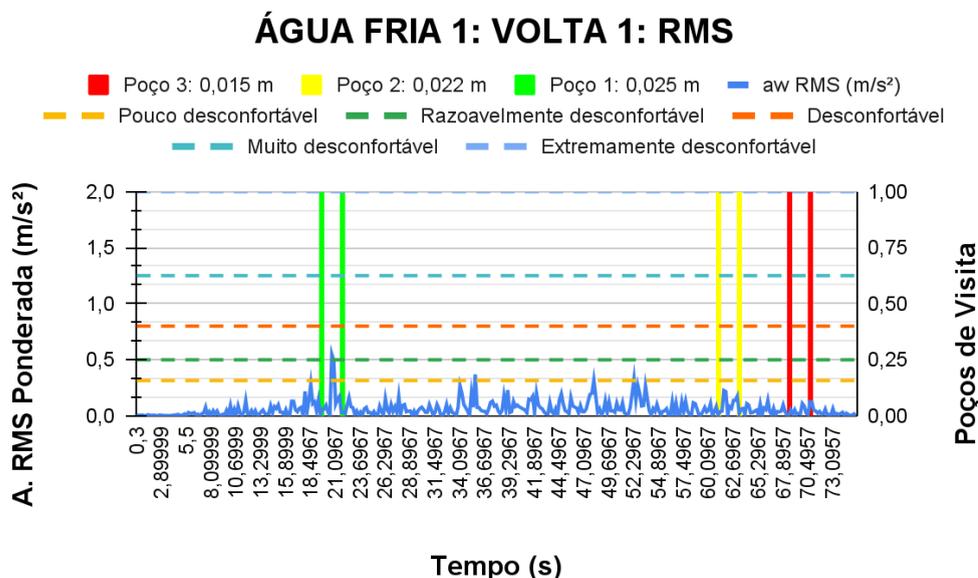
Para a avaliação do conforto, foram calculados os valores RMS da aceleração vertical ponderada para cada uma das voltas em todas as rotas e os limites expostos na tabela 3 foram utilizados como referência para determinação do nível de conforto.

#### 5.3.1 Conforto na rota Água Fria 1

- Volta 1:

Calculando-se os valores RMS, de acordo com o intervalo de 0,2 s, a partir da aceleração vertical medida na volta 1 de Água Fria 1 e tomando-se os limites de referência de conforto, assim como os intervalos temporais adotados para cada poço de visita como variáveis, montou-se o gráfico 39.

Gráfico 39: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



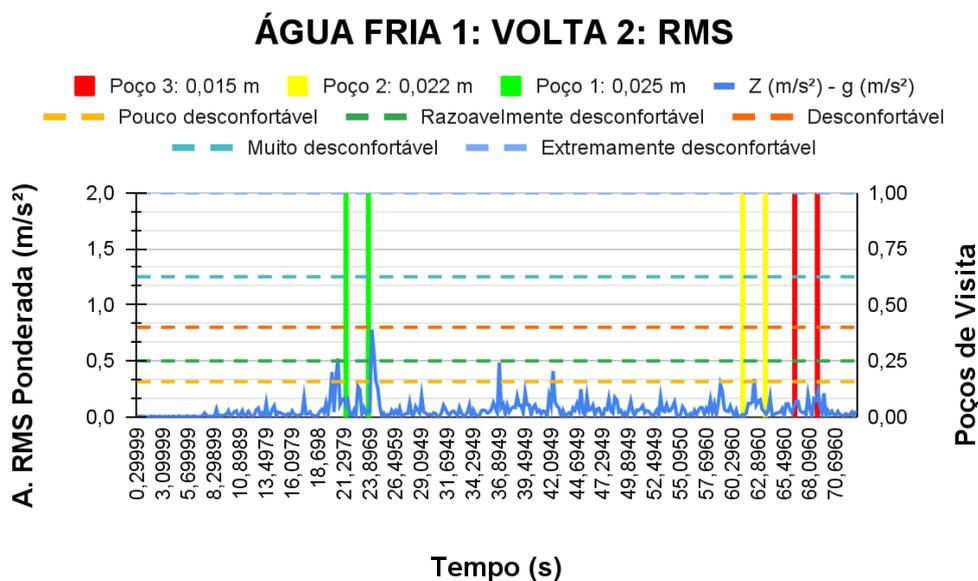
Fonte: Autoral.

Percebe-se que o poço 1 apresentou um nível de conforto razoavelmente desconfortável. Já os poços 2 e 3 ficaram em nível confortável.

- Volta 2:

Com os valores RMS calculados para volta 2 de Água Fria 1, os limites de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 40.

Gráfico 40: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



Fonte: Autoral.

Percebe-se que o poço de visita 2 atingiu um nível pouco desconfortável e os poços 1 e 3 apresentaram um nível confortável.

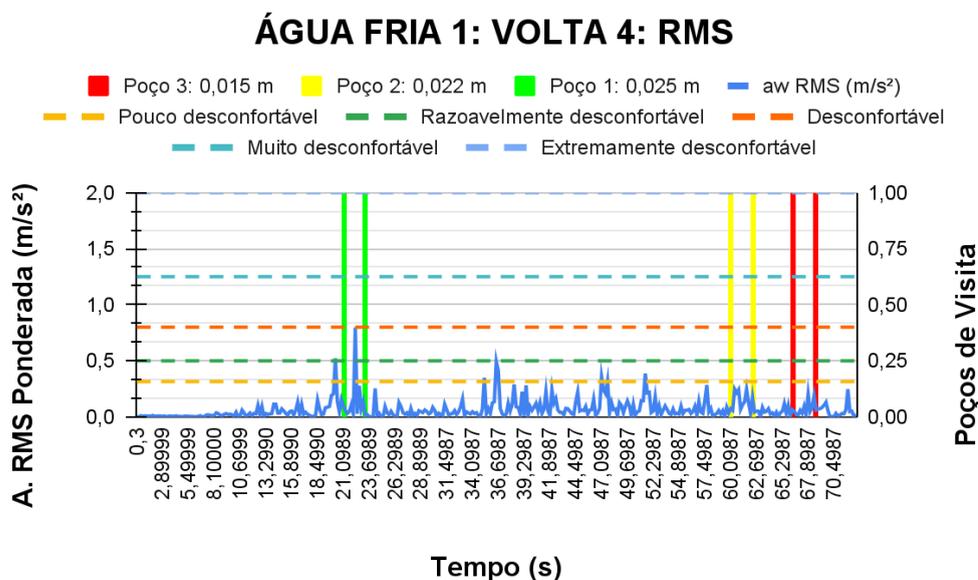
- Volta 3:

Como as medições realizadas na volta 3 em Água Fria 1 foram descartadas, os seus valores RMS também foram descartados.

- Volta 4:

Com os valores RMS calculados para volta 4 de Água Fria 1, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 41.

Gráfico 41: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.

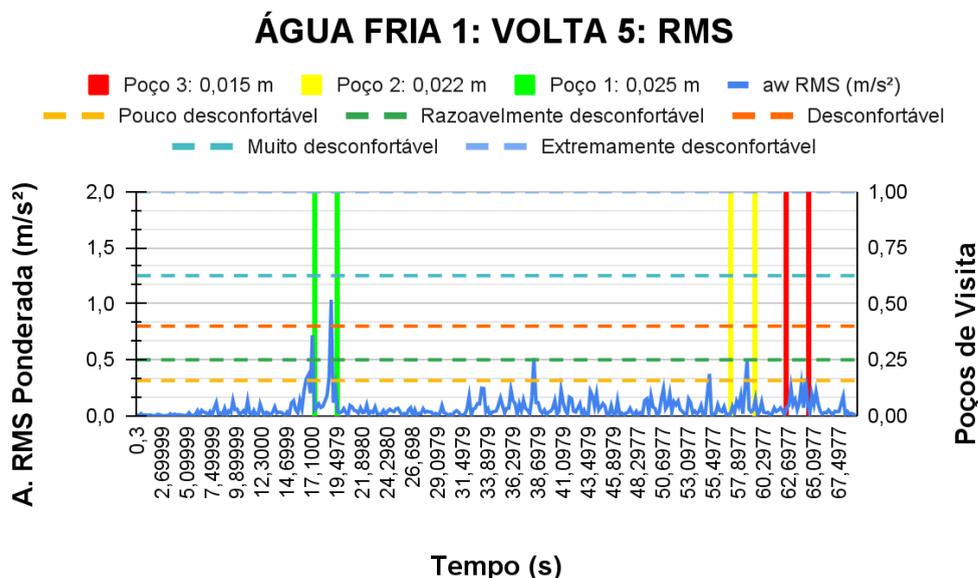


Percebe-se que o poço 1 apresentou um nível razoavelmente desconfortável. Já os poços 2 e 3 ficaram em nível confortável.

- Volta 5:

Com os valores RMS calculados para volta 5 de Água Fria 1, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 42.

Gráfico 42: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 1, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



Fonte: Autoral.

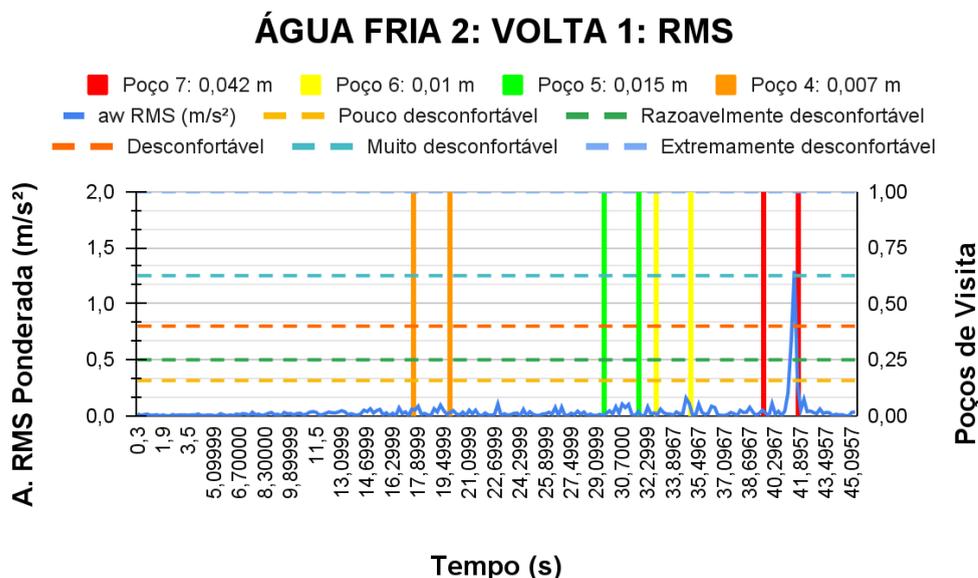
Percebe-se que o poço 1 chegou a um nível desconfortável. Já os poços 2 e 3 chegaram em um nível pouco desconfortável.

### 5.3.2 Conforto na rota Água Fria 2

- Volta 1:

Com os valores RMS calculados para volta 1 de Água Fria 2, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 43.

Gráfico 43: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.

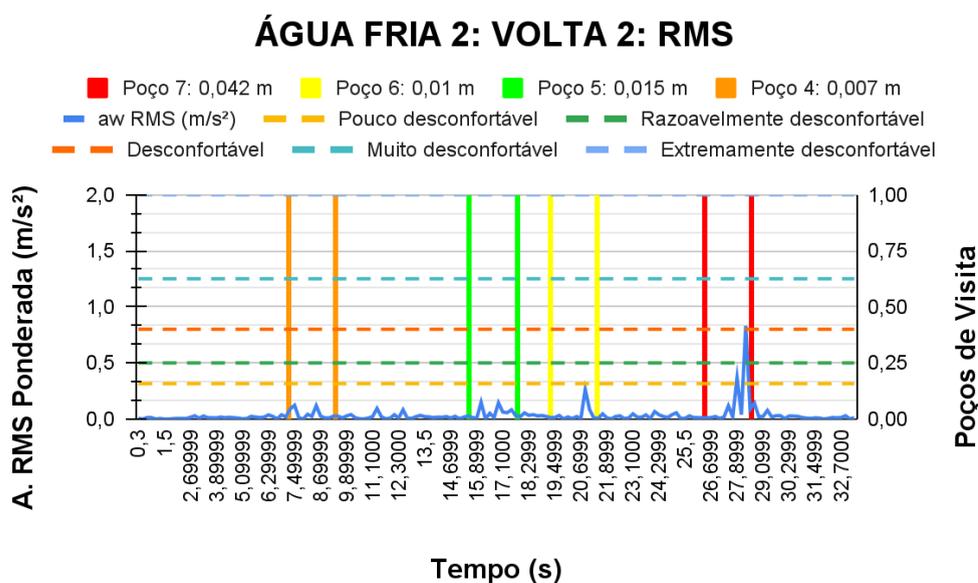


Percebe-se que o poço 7 apresentou um nível muito desconfortável. Já os poços 4, 5 e 6 ficaram em um nível confortável.

- Volta 2:

Com os valores RMS calculados para volta 2 de Água Fria 2, os limites de referência de conforto e os intervalos adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 44.

Gráfico 44: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.

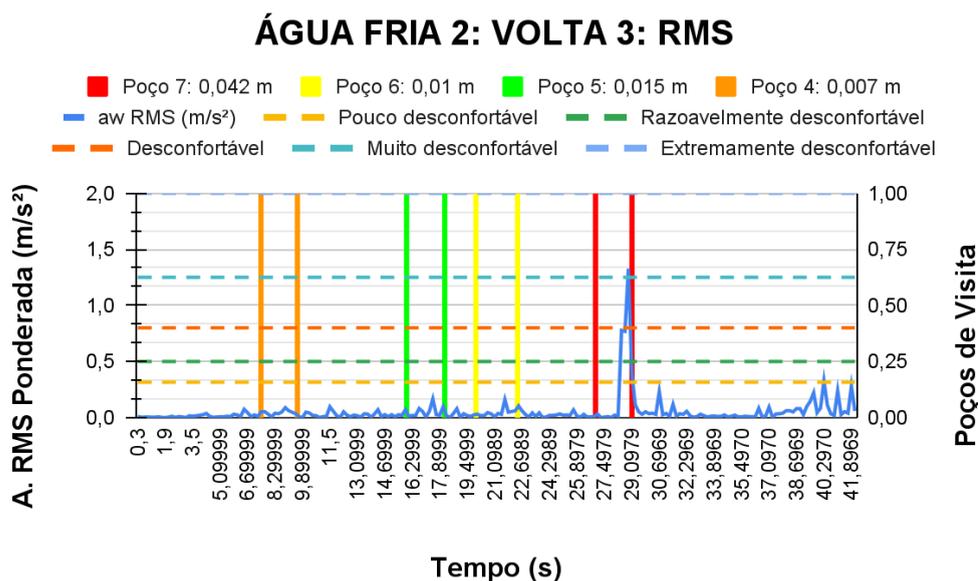


Percebe-se que o poço 7 atingiu um nível desconfortável. Já os poços 4, 5 e 6 ficaram em um nível confortável.

- Volta 3:

Com os valores RMS calculados para volta 3 de Água Fria 2, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 45.

Gráfico 45: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.

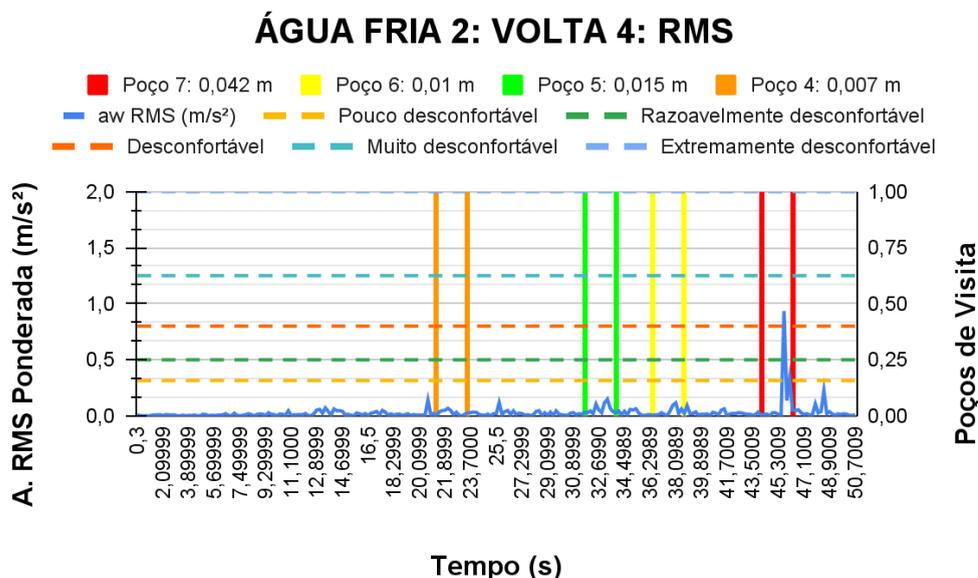


Percebe-se que o poço 7 apresentou um nível muito desconfortável. Já os poços 4, 5 e 6 ficaram em um nível confortável.

- Volta 4:

Com os valores RMS calculados para volta 4 de Água Fria 2, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 46.

Gráfico 46: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



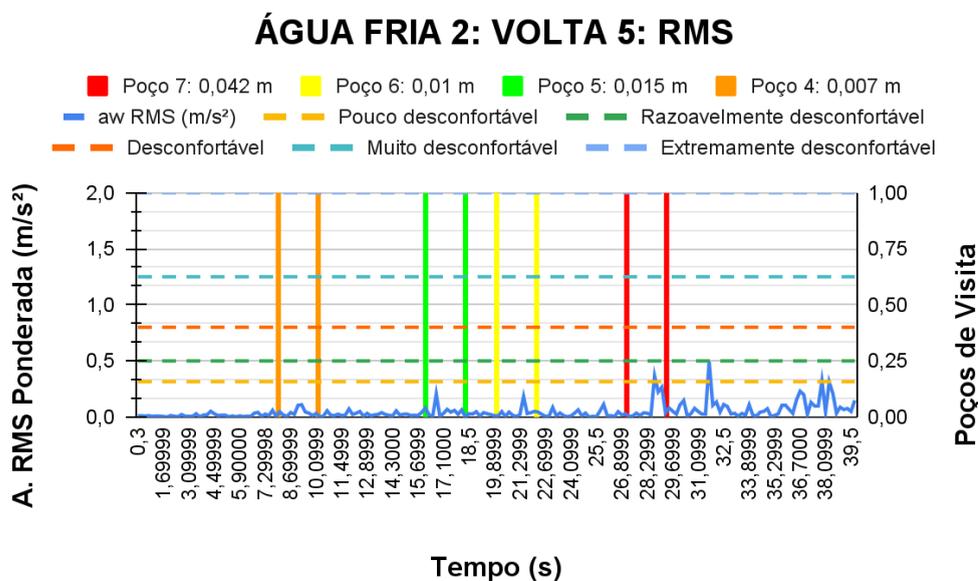
Fonte: Autoral.

Percebe-se que o poço 7 apresentou um nível desconfortável. Já os poços 4, 5 e 6 ficaram em um nível confortável.

- Volta 5:

Com os valores RMS calculados para volta 5 de Água Fria 2, os limites de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 47.

Gráfico 47: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Água Fria 2, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



Fonte: Autoral.

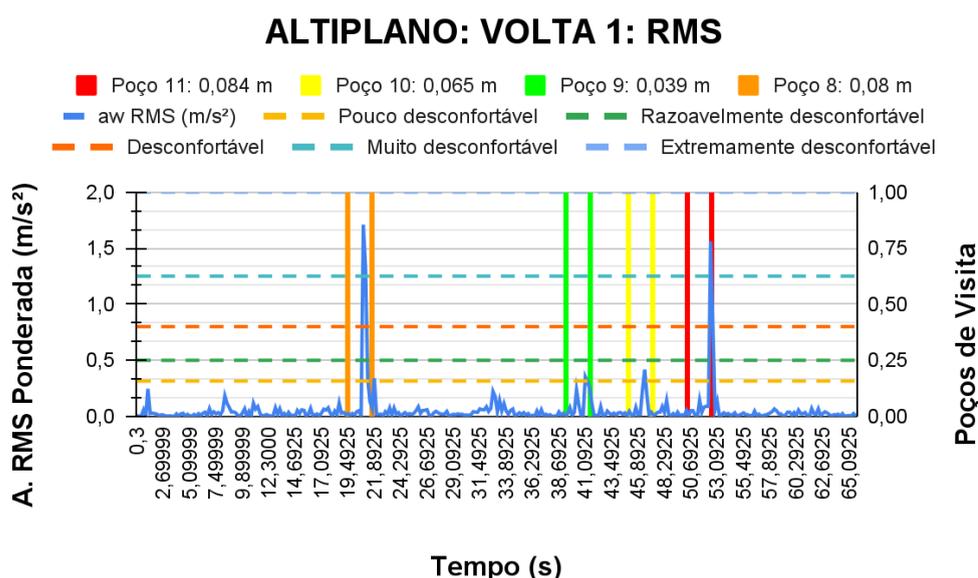
Percebe-se que o poço 7 apresentou um nível pouco desconfortável. Já os poços 4, 5 e 6 ficaram em um nível confortável.

### 5.3.3 Conforto na rota Altiplano

- Volta 1:

Com os valores RMS calculados para volta 1 de Altiplano, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 48.

Gráfico 48: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



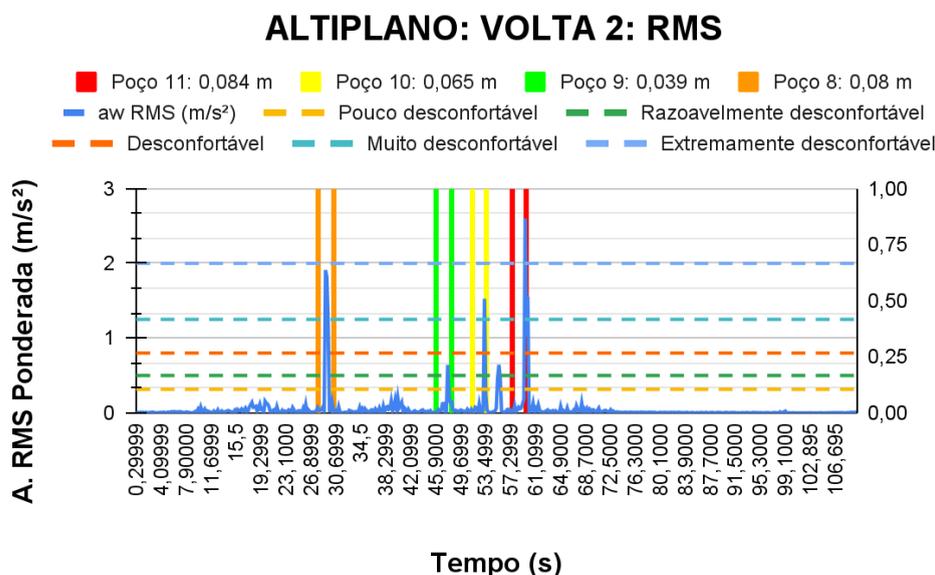
Fonte: Autoral.

Percebe-se que os poços 8 e 11 apresentaram um nível muito desconfortável. Já os poços 9 e 10 chegaram em um nível pouco desconfortável.

- Volta 2:

Com os valores RMS calculados para volta 2 de Altiplano, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 49.

Gráfico 49: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



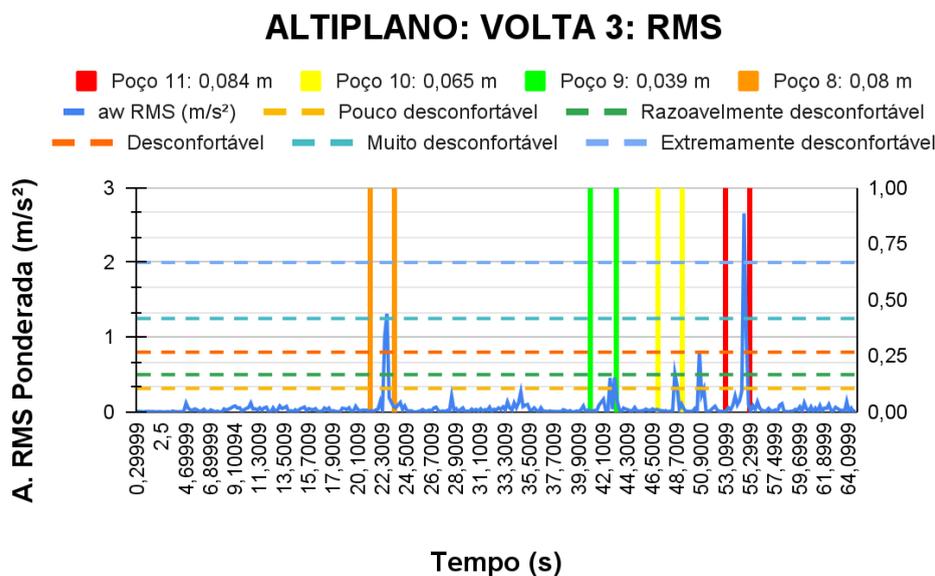
Fonte: Autoral.

Percebe-se que o poço 11 apresentou um nível extremamente desconfortável. O poço 9 chegou em razoavelmente desconfortável e os poços 8 e 10 em muito desconfortável.

- Volta 3:

Com os valores RMS calculados para volta 3 de Altiplano, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 50.

Gráfico 50: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



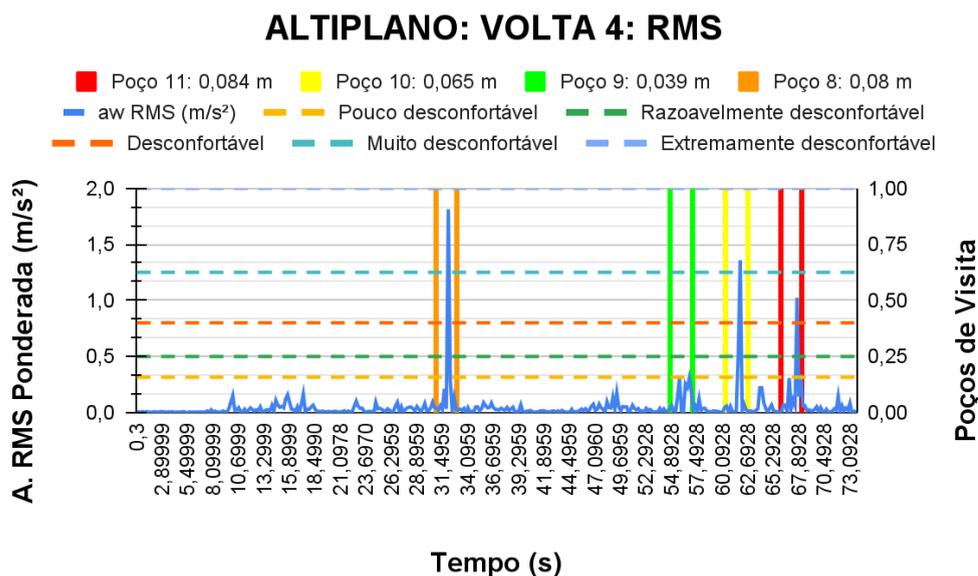
Fonte: Autoral.

Percebe-se que o poço 8 atingiu um nível muito desconfortável e o 11 um nível extremamente desconfortável. Já o poço 9 apresentou um nível pouco desconfortável e poço 10 chegou em um nível razoavelmente desconfortável.

- Volta 4:

Com os valores RMS calculados para volta 4 de Altiplano, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 51.

Gráfico 51: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.

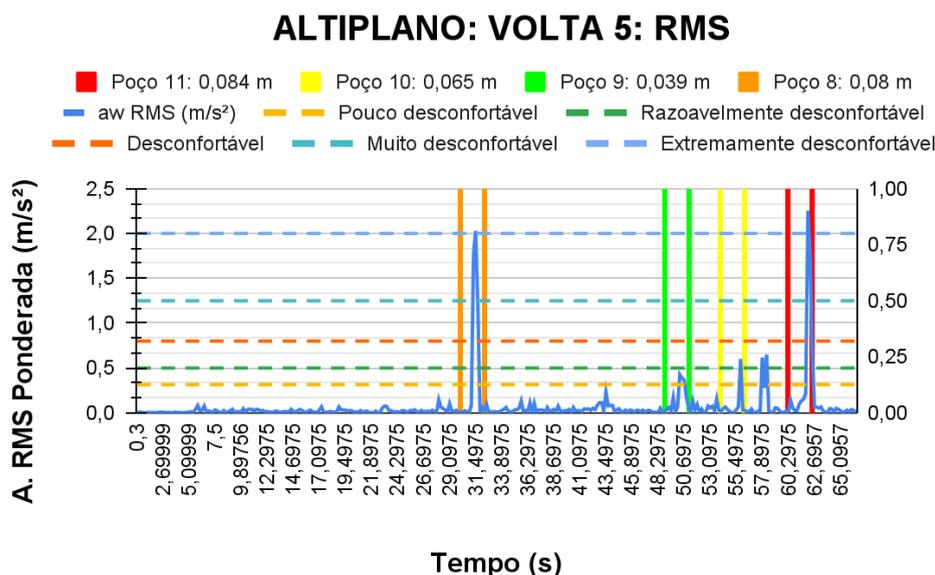


Percebe-se que os poços 8 e 10 apresentam um nível muito desconfortável e o poço 11 um nível desconfortável. Já o poço 9 ficou em um nível confortável.

- Volta 5:

Com os valores RMS calculados para volta 5 de Altiplano, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 52.

Gráfico 52: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Altiplano, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



Fonte: Autoral.

Percebe-se que os poços 8 e 11 atingiram um nível extremamente desconfortável. Já o poço 10 alcançou um nível razoavelmente desconfortável e o 9 um nível pouco desconfortável.

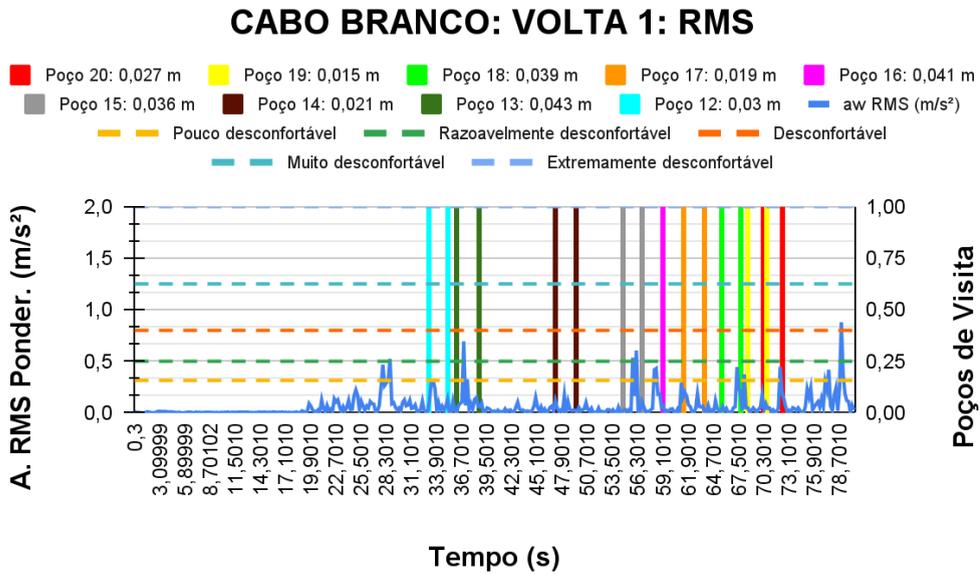
### 5.3.4 Conforto na rota Cabo Branco

- Volta 1:

Com os valores RMS calculados para volta 1 de Cabo Branco, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 53.

Observando-se esse gráfico 53 abaixo, pode-se perceber que os poços 13 e 15 apresentaram a pior classificação de conforto alcançando um nível razoavelmente desconfortável. Os poços 16, 18 e 20 alcançaram um nível pouco desconfortável. Enquanto que, os poços 12, 14, 17 e 19 ficaram em um nível confortável.

Gráfico 53: Aceleração RMS ponderada (m/s<sup>2</sup>) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 1, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.

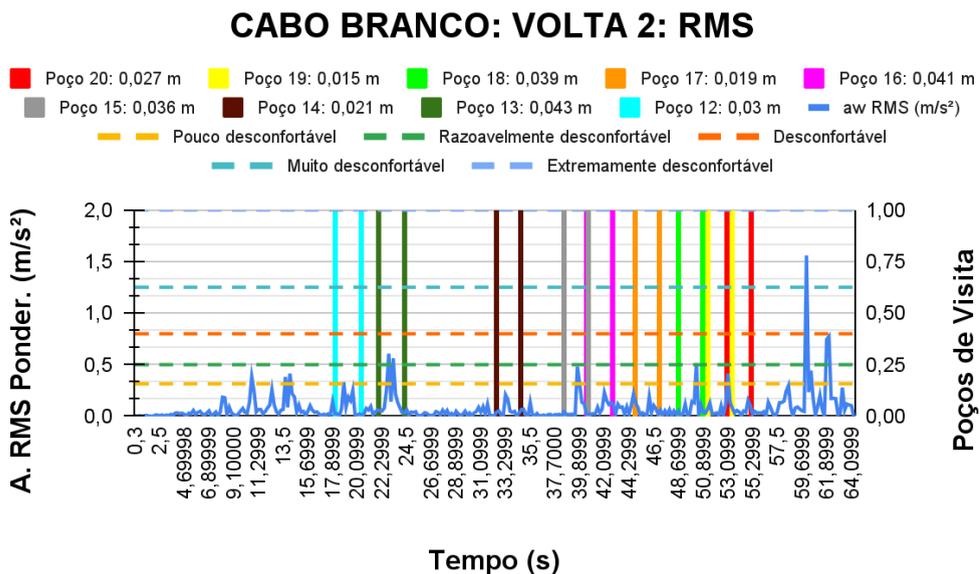


Fonte: Autoral.

- Volta 2:

Com os valores RMS calculados para volta 2 de Cabo Branco, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 54.

Gráfico 54: Aceleração RMS ponderada (m/s<sup>2</sup>) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 2, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



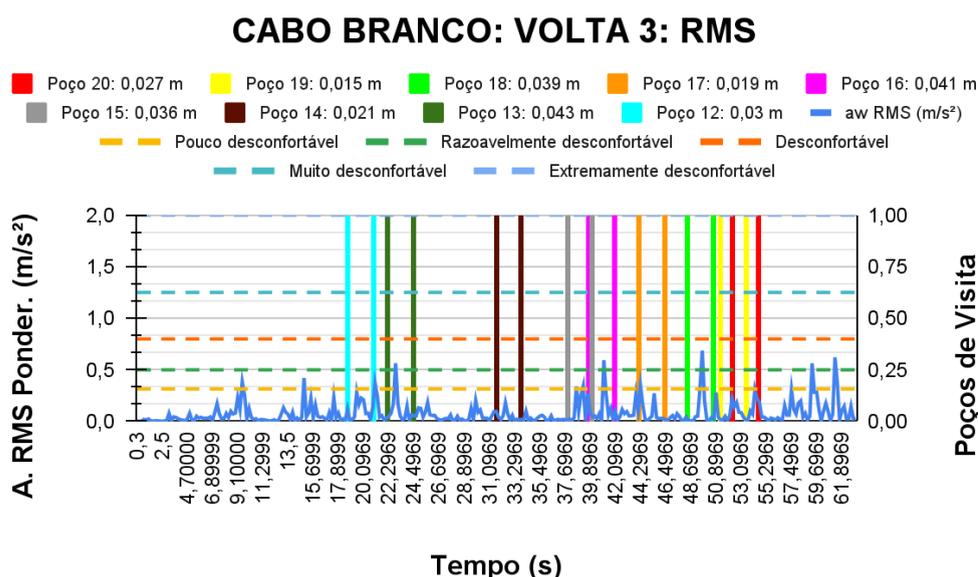
Fonte: Autoral.

Percebe-se que os poços 13 e 18 apresentaram a pior classificação de conforto alcançando um nível razoavelmente desconfortável. Os poços 12, 15 e 19 alcançaram um nível pouco desconfortável. Enquanto que, os poços 14, 16, 17 e 20 ficaram em um nível confortável.

- Volta 3:

Com os valores RMS calculados para volta 3 de Cabo Branco, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 55.

Gráfico 55: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 3, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



Fonte: Autoral.

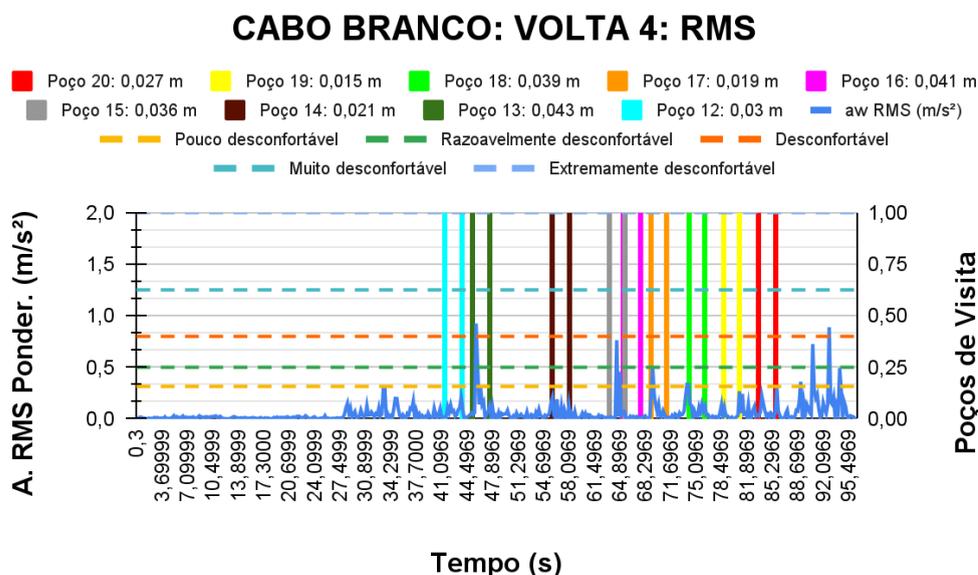
Percebe-se que os poços 13, 16 e 18 apresentaram a pior classificação de conforto alcançando um nível razoavelmente desconfortável. Os poços 15 e 17 alcançaram um nível pouco desconfortável. Enquanto que, os poços 12, 14, 19 e 20 ficaram em um nível confortável.

- Volta 4:

Com os valores RMS calculados para volta 4 de Cabo Branco, os limites de referência de conforto e os intervalos temporais adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 56.

Observando-se esse gráfico 56 abaixo, percebe-se que o poço 13 apresentou a pior classificação de conforto alcançando um nível desconfortável. Os poços 15 e 17 alcançaram um nível razoavelmente desconfortável. Já os poços 12, 14, 16, 18, 19 e 20 ficaram em um nível confortável.

Gráfico 56: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 4, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.

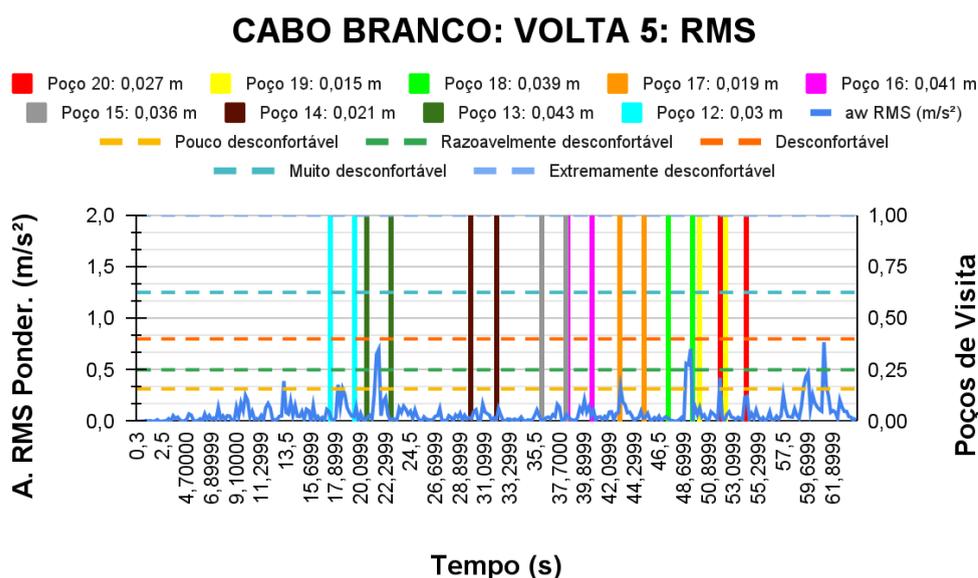


Fonte: Autoral.

- Volta 5:

Com os valores RMS calculados para volta 5 de Cabo Branco, os limites de referência de conforto e os intervalos adotados para cada poço de visita, montou-se o gráfico 57.

Gráfico 57: Aceleração RMS ponderada ( $m/s^2$ ) X Tempo (s), da rota Cabo Branco, na volta 5, com marcações das proximidades dos poços de visita e nos limites dos níveis de conforto.



Fonte: Autoral.

Percebe-se que os poços 13 e 18 apresentaram a pior classificação de conforto alcançando um nível razoavelmente desconfortável. Os poços 12, 17 e 19 alcançaram um

nível pouco desconfortável. Enquanto que, os poços 14, 15, 16 e 20 ficaram em um nível confortável.

### 5.3.5 Conforto no geral

Portanto, com as informações coletadas na fase medição do desnível em três pontos dos poços e na fase de medição da aceleração vertical e com o tratamento descrito nos tópicos 4.1.3 e 4.1.2, respectivamente para cada fase, finalmente, tem-se os dados finais registrados neste tópico.

A tabela 28 contém os seguintes dados coletados na volta 1 em todas as rotas: a identificação de cada poço e rota em que ele está locado; o módulo do desnível em cada ponto de medição, assim como, a média desses módulos e o maior valor dentre eles; o maior valor RMS de aceleração vertical ponderada relativo ao intervalo temporal de cada poço; e, o grau de conforto relativo a esse valor RMS máximo. Sendo, os valores destacados em amarelo, os poços 19 e 20 cujos intervalos temporais possuem intersecções. Porém, pode-se observar que os valores máximos de aceleração não foram coincidentes nesses poços.

Tabela 28: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 1 em todas as rotas.

(continua)

PV		Módulo do Desnível					Efeito do Desnível dos Poços de Visita: Volta 1	
Nº	Rota	Ponto 1 (m)	Ponto 2 (m)	Ponto 3 (m)	Maior Desnível (m)	Média do Desnível (m)	Maior Aceleração RMS Ponderada Corrigida (m/s <sup>2</sup> )	Grau de Conforto
1	Água Fria 1	0,018	0,025	0,021	0,025	0,021	0,550	Razoavelmente desconfortável
2*	Água Fria 1	0,022	0,013	0,014	0,022	0,016	0,226	Confortável
3	Água Fria 1	0,015	0,012	0,007	0,015	0,011	0,127	Confortável
4	Água Fria 2	0,005	0,007	0	0,007	0,004	0,095	Confortável
5	Água Fria 2	0,01	0,015	0,006	0,015	0,010	0,104	Confortável
6	Água Fria 2	0,009	0,01	0,002	0,01	0,007	0,158	Confortável
7	Água Fria 2	0,036	0,042	0,042	0,042	0,040	1,292	Muito desconfortável
8	Altiplano	0,072	0,078	0,08	0,08	0,077	1,709	Muito desconfortável
9	Altiplano	0,03	0,034	0,039	0,039	0,034	0,354	Pouco desconfortável
10	Altiplano	0,065	0,065	0,058	0,065	0,063	0,418	Pouco desconfortável
11	Altiplano	0,075	0,084	0,082	0,084	0,080	1,560	Muito desconfortável
12	Cabo Branco	0,025	0,03	0,018	0,03	0,024	0,313	Confortável
13**	Cabo Branco	0,043	-	0,024	0,043	0,034	0,693	Razoavelmente desconfortável

Tabela 28: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 1 em todas as rotas.

(conclusão)

PV		Módulo do Desnível					Efeito do Desnível dos Poços de Visita: Volta 1	
Nº	Rota	Ponto 1 (m)	Ponto 2 (m)	Ponto 3 (m)	Maior Desnível (m)	Média do Desnível (m)	Maior Aceleração RMS Ponderada Corrigida (m/s <sup>2</sup> )	Grau de Conforto
14	Cabo Branco	0,015	0,021	0,009	0,021	0,015	0,174	Confortável
15	Cabo Branco	0,028	0,036	0,031	0,036	0,032	0,605	Razoavelmente desconfortável
16	Cabo Branco	0,031	0,041	0,038	0,041	0,037	0,430	Pouco desconfortável
17	Cabo Branco	0,013	0,019	0,017	0,019	0,016	0,199	Confortável
18	Cabo Branco	0,021	0,039	0,035	0,039	0,032	0,445	Pouco desconfortável
19**	Cabo Branco	0,015	-	0,012	0,015	0,014	0,182	Confortável
20	Cabo Branco	0,015	0,025	0,027	0,027	0,022	0,445	Pouco desconfortável
*	10 cm antes e 10 cm depois							
**	20 cm antes e 20 cm depois							

Fonte: Autoral.

A tabela 29 contém os mesmos dados que a tabela 28 para a volta 2 de todas as rotas. Os intervalos temporais dos poços 15 e 16, e, 19 e 20 possuem intersecções. Porém, pode-se observar que os valores máximos de aceleração não foram coincidentes nesses poços.

Tabela 29: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 2 em todas as rotas.

(continua)

PV		Módulo do Desnível					Efeito do Desnível dos Poços de Visita: Volta 2	
Nº	Rota	Ponto 1 (m)	Ponto 2 (m)	Ponto 3 (m)	Maior Desnível (m)	Média do Desnível (m)	Maior Aceleração RMS Ponderada Corrigida (m/s <sup>2</sup> )	Grau de Conforto
1	Água Fria 1	0,018	0,025	0,021	0,025	0,021	0,273	Confortável
2*	Água Fria 1	0,022	0,013	0,014	0,022	0,016	0,337	Pouco desconfortável
3	Água Fria 1	0,015	0,012	0,007	0,015	0,011	0,240	Confortável
4	Água Fria 2	0,005	0,007	0	0,007	0,004	0,123	Confortável
5	Água Fria 2	0,01	0,015	0,006	0,015	0,010	0,149	Confortável
6	Água Fria 2	0,009	0,01	0,002	0,01	0,007	0,263	Confortável
7	Água Fria 2	0,036	0,042	0,042	0,042	0,040	0,831	Desconfortável

Tabela 29: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 2 em todas as rotas.

(conclusão)

PV		Módulo do Desnível					Efeito do Desnível dos Poços de Visita: Volta 2	
Nº	Rota	Ponto 1 (m)	Ponto 2 (m)	Ponto 3 (m)	Maior Desnível (m)	Média do Desnível (m)	Maior Aceleração RMS Ponderada Corrigida (m/s <sup>2</sup> )	Grau de Conforto
8	Altiplano	0,072	0,078	0,08	0,08	0,077	1,910	Muito desconfortável
9	Altiplano	0,03	0,034	0,039	0,039	0,034	0,642	Razoavelmente desconfortável
10	Altiplano	0,065	0,065	0,058	0,065	0,063	1,527	Muito desconfortável
11	Altiplano	0,075	0,084	0,082	0,084	0,080	2,601	Extremamente desconfortável
12	Cabo Branco	0,025	0,03	0,018	0,03	0,024	0,330	Pouco desconfortável
13**	Cabo Branco	0,043	-	0,024	0,043	0,034	0,607	Razoavelmente desconfortável
14	Cabo Branco	0,015	0,021	0,009	0,021	0,015	0,208	Confortável
15	Cabo Branco	0,028	0,036	0,031	0,036	0,032	0,481	Pouco desconfortável
16	Cabo Branco	0,031	0,041	0,038	0,041	0,037	0,231	Confortável
17	Cabo Branco	0,013	0,019	0,017	0,019	0,016	0,187	Confortável
18	Cabo Branco	0,021	0,039	0,035	0,039	0,032	0,513	Razoavelmente desconfortável
19**	Cabo Branco	0,015	-	0,012	0,015	0,014	0,414	Pouco desconfortável
20	Cabo Branco	0,015	0,025	0,027	0,027	0,022	0,154	Confortável
*	10 cm antes e 10 cm depois							
**	20 cm antes e 20 cm depois							

Fonte: Autoral.

A tabela 30 contém os mesmos dados que a tabela 28 para a volta 3 de todas as rotas.

Sendo que, a volta 3 de Água Fria 1 é desconsiderada em todos os cálculos, assim como nas outras etapas de análise.

Os intervalos temporais dos poços de numeração 15 e 16, e, 19 e 20 possuem intersecções. Porém, pode-se observar que os valores máximos de aceleração não foram coincidentes nesses poços.

Tabela 30: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 3 em todas as rotas.

PV		Módulo do Desnível					Efeito do Desnível dos Poços de Visita: Volta 3	
Nº	Rota	Ponto 1 (m)	Ponto 2 (m)	Ponto 3 (m)	Maior Desnível (m)	Média do Desnível (m)	Maior Aceleração RMS Ponderada Corrigida (m/s <sup>2</sup> )	Grau de Conforto
1	Água Fria 1	0,018	0,025	0,021	0,025	0,021	-	-
2*	Água Fria 1	0,022	0,013	0,014	0,022	0,016	-	-
3	Água Fria 1	0,015	0,012	0,007	0,015	0,011	-	-
4	Água Fria 2	0,005	0,007	0	0,007	0,004	0,088	Confortável
5	Água Fria 2	0,01	0,015	0,006	0,015	0,010	0,167	Confortável
6	Água Fria 2	0,009	0,01	0,002	0,01	0,007	0,161	Confortável
7	Água Fria 2	0,036	0,042	0,042	0,042	0,040	1,327	Muito desconfortável
8	Altiplano	0,072	0,078	0,08	0,08	0,077	1,314	Muito desconfortável
9	Altiplano	0,03	0,034	0,039	0,039	0,034	0,461	Pouco desconfortável
10	Altiplano	0,065	0,065	0,058	0,065	0,063	0,513	Razoavelmente desconfortável
11	Altiplano	0,075	0,084	0,082	0,084	0,080	2,656	Extremamente desconfortável
12	Cabo Branco	0,025	0,03	0,018	0,03	0,024	0,283	Confortável
13**	Cabo Branco	0,043	-	0,024	0,043	0,034	0,564	Razoavelmente desconfortável
14	Cabo Branco	0,015	0,021	0,009	0,021	0,015	0,181	Confortável
15	Cabo Branco	0,028	0,036	0,031	0,036	0,032	0,344	Pouco desconfortável
16	Cabo Branco	0,031	0,041	0,038	0,041	0,037	0,594	Razoavelmente desconfortável
17	Cabo Branco	0,013	0,019	0,017	0,019	0,016	0,347	Pouco desconfortável
18	Cabo Branco	0,021	0,039	0,035	0,039	0,032	0,687	Razoavelmente desconfortável
19**	Cabo Branco	0,015	-	0,012	0,015	0,014	0,223	Confortável
20	Cabo Branco	0,015	0,025	0,027	0,027	0,022	0,309	Confortável
*	10 cm antes e 10 cm depois							
**	20 cm antes e 20 cm depois							

Fonte: Autoral.

A tabela 31 contém os mesmos dados que a tabela 28 para a volta 4 de todas as rotas. Os intervalos temporais dos poços 15 e 16 possuem intersecções. Porém, pode-se observar que os valores máximos de aceleração não foram coincidentes nesses poços.

Tabela 31: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 4 em todas as rotas.

PV		Módulo do Desnível					Efeito do Desnível dos Poços de Visita: Volta 4	
Nº	Rota	Ponto 1 (m)	Ponto 2 (m)	Ponto 3 (m)	Maior Desnível (m)	Média do Desnível (m)	Maior Aceleração RMS Ponderada Corrigida (m/s <sup>2</sup> )	Grau de Conforto
1	Água Fria 1	0,018	0,025	0,021	0,025	0,021	0,797	Razoavelmente desconfortável
2*	Água Fria 1	0,022	0,013	0,014	0,022	0,016	0,247	Confortável
3	Água Fria 1	0,015	0,012	0,007	0,015	0,011	0,205	Confortável
4	Água Fria 2	0,005	0,007	0	0,007	0,004	0,068	Confortável
5	Água Fria 2	0,01	0,015	0,006	0,015	0,010	0,148	Confortável
6	Água Fria 2	0,009	0,01	0,002	0,01	0,007	0,116	Confortável
7	Água Fria 2	0,036	0,042	0,042	0,042	0,040	0,934	Desconfortável
8	Altiplano	0,072	0,078	0,08	0,08	0,077	1,812	Muito desconfortável
9	Altiplano	0,03	0,034	0,039	0,039	0,034	0,307	Confortável
10	Altiplano	0,065	0,065	0,058	0,065	0,063	1,359	Muito desconfortável
11	Altiplano	0,075	0,084	0,082	0,084	0,080	1,024	Desconfortável
12	Cabo Branco	0,025	0,03	0,018	0,03	0,024	0,132	Confortável
13**	Cabo Branco	0,043	-	0,024	0,043	0,034	0,924	Desconfortável
14	Cabo Branco	0,015	0,021	0,009	0,021	0,015	0,205	Confortável
15	Cabo Branco	0,028	0,036	0,031	0,036	0,032	0,763	Razoavelmente desconfortável
16	Cabo Branco	0,031	0,041	0,038	0,041	0,037	0,071	Confortável
17	Cabo Branco	0,013	0,019	0,017	0,019	0,016	0,509	Razoavelmente desconfortável
18	Cabo Branco	0,021	0,039	0,035	0,039	0,032	0,142	Confortável
19**	Cabo Branco	0,015	-	0,012	0,015	0,014	0,268	Confortável
20	Cabo Branco	0,015	0,025	0,027	0,027	0,022	0,311	Confortável
*	10 cm antes e 10 cm depois							
**	20 cm antes e 20 cm depois							

Fonte: Autoral.

A tabela 32 contém os mesmos dados que a tabela 28 para a volta 5. Os intervalos dos poços 19 e 20 possuem intersecções, mas a aceleração não foi coincidente nesses poços.

Tabela 32: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, na volta 5 em todas as rotas.

PV		Módulo do Desnível					Efeito do Desnível dos Poços de Visita: Volta 5	
Nº	Rota	Ponto 1 (m)	Ponto 2 (m)	Ponto 3 (m)	Maior Desnível (m)	Média do Desnível (m)	Maior Aceleração RMS Ponderada Corrigida (m/s <sup>2</sup> )	Grau de Conforto
1	Água Fria 1	0,018	0,025	0,021	0,025	0,021	1,034	Desconfortável
2*	Água Fria 1	0,022	0,013	0,014	0,022	0,016	0,490	Pouco desconfortável
3	Água Fria 1	0,015	0,012	0,007	0,015	0,011	0,334	Pouco desconfortável
4	Água Fria 2	0,005	0,007	0	0,007	0,004	0,109	Confortável
5	Água Fria 2	0,01	0,015	0,006	0,015	0,010	0,205	Confortável
6	Água Fria 2	0,009	0,01	0,002	0,01	0,007	0,183	Confortável
7	Água Fria 2	0,036	0,042	0,042	0,042	0,040	0,366	Pouco desconfortável
8	Altiplano	0,072	0,078	0,08	0,08	0,077	2,030	Extremamente desconfortável
9	Altiplano	0,03	0,034	0,039	0,039	0,034	0,426	Pouco desconfortável
10	Altiplano	0,065	0,065	0,058	0,065	0,063	0,601	Razoavelmente desconfortável
11	Altiplano	0,075	0,084	0,082	0,084	0,080	2,254	Extremamente desconfortável
12	Cabo Branco	0,025	0,03	0,018	0,03	0,024	0,355	Pouco desconfortável
13**	Cabo Branco	0,043	-	0,024	0,043	0,034	0,698	Razoavelmente desconfortável
14	Cabo Branco	0,015	0,021	0,009	0,021	0,015	0,168	Confortável
15	Cabo Branco	0,028	0,036	0,031	0,036	0,032	0,165	Confortável
16	Cabo Branco	0,031	0,041	0,038	0,041	0,037	0,209	Confortável
17	Cabo Branco	0,013	0,019	0,017	0,019	0,016	0,328	Pouco desconfortável
18	Cabo Branco	0,021	0,039	0,035	0,039	0,032	0,703	Razoavelmente desconfortável
19**	Cabo Branco	0,015	-	0,012	0,015	0,014	0,424	Pouco desconfortável
20	Cabo Branco	0,015	0,025	0,027	0,027	0,022	0,244	Confortável
*	10 cm antes e 10 cm depois							
**	20 cm antes e 20 cm depois							

Fonte: Autoral.

A tabela 33 contém os mesmos dados que a tabela 28, só que considerando a média dos valores RMS máximos em cada volta e o grau de conforto resultante dessa média.

Tabela 33: Módulo do desnível dos poços de visita e efeitos no conforto, com a média das voltas e em todas as rotas.

PV		Módulo do Desnível					Efeito dos Desnível dos Poços de Visita: Média das Voltas	
Nº	Rota	Ponto 1 (m)	Ponto 2 (m)	Ponto 3 (m)	Maior Desnível (m)	Média do Desnível (m)	Média dos maiores valores de Aceleração RMS Ponderada Corrigida (m/s <sup>2</sup> )	Grau de Conforto
1	Água Fria 1	0,018	0,025	0,021	0,025	0,021	0,663	Razoavelmente desconfortável
2*	Água Fria 1	0,022	0,013	0,014	0,022	0,016	0,325	Pouco desconfortável
3	Água Fria 1	0,015	0,012	0,007	0,015	0,011	0,227	Confortável
4	Água Fria 2	0,005	0,007	0	0,007	0,004	0,097	Confortável
5	Água Fria 2	0,01	0,015	0,006	0,015	0,010	0,155	Confortável
6	Água Fria 2	0,009	0,01	0,002	0,01	0,007	0,176	Confortável
7	Água Fria 2	0,036	0,042	0,042	0,042	0,040	0,950	Desconfortável
8	Altiplano	0,072	0,078	0,08	0,08	0,077	1,755	Muito desconfortável
9	Altiplano	0,03	0,034	0,039	0,039	0,034	0,438	Pouco desconfortável
10	Altiplano	0,065	0,065	0,058	0,065	0,063	0,883	Desconfortável
11	Altiplano	0,075	0,084	0,082	0,084	0,080	2,019	Extremamente desconfortável
12	Cabo Branco	0,025	0,03	0,018	0,03	0,024	0,283	Confortável
13**	Cabo Branco	0,043	-	0,024	0,043	0,034	0,697	Razoavelmente desconfortável
14	Cabo Branco	0,015	0,021	0,009	0,021	0,015	0,187	Confortável
15	Cabo Branco	0,028	0,036	0,031	0,036	0,032	0,472	Pouco desconfortável
16	Cabo Branco	0,031	0,041	0,038	0,041	0,037	0,307	Confortável
17	Cabo Branco	0,013	0,019	0,017	0,019	0,016	0,314	Confortável
18	Cabo Branco	0,021	0,039	0,035	0,039	0,032	0,498	Pouco desconfortável
19**	Cabo Branco	0,015	-	0,012	0,015	0,014	0,302	Confortável
20	Cabo Branco	0,015	0,025	0,027	0,027	0,022	0,293	Confortável
*	10 cm antes e 10 cm depois							
**	20 cm antes e 20 cm depois							

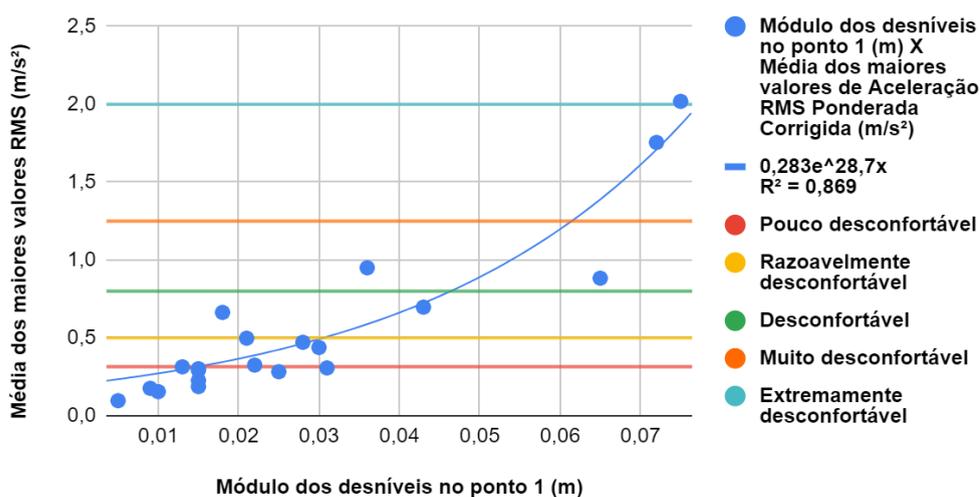
Fonte: Autoral.

Por fim, foram montados os próximos cinco gráficos finais com o objetivo de relacionar as três variáveis principais em estudo: o desnível do poço de visita, a aceleração vertical no veículo e o grau de conforto do usuário.

Primeiramente, montou-se o gráfico 58, alocando no eixo das ordenadas a média dos valores RMS máximos em todas as voltas para todos os poços e no das abscissas valor do desnível no ponto 1 em módulo de todos os poços, com as marcações dos limites adotados para os níveis de conforto expostas.

Gráfico 58: Efeito do desnível no ponto 1 na aceleração vertical e no conforto dos usuários em todos os poços de visita, considerando a média das voltas.

### Efeito dos Desníveis dos Poços de Visita: Média das Voltas Módulo dos desníveis no Ponto 1



Fonte: Autoral.

A partir desse gráfico 58, determinou-se a equação que melhor representa a relação entre o valor RMS e o desnível nesse ponto, com o auxílio dos recursos do Google Planilhas, a equação exponencial 06:

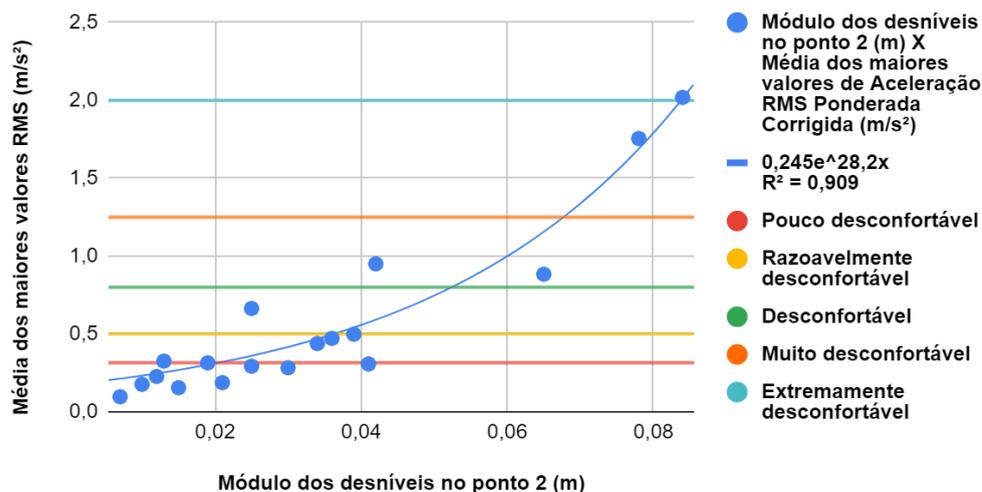
$$y = 0,283 \cdot e^{28,7 \cdot x} \quad (06)$$

Sendo, y o valor RMS em m/s<sup>2</sup> e x o desnível no ponto 1 em metros. E o valor de R<sup>2</sup> = 0,869.

Montou-se, também, o gráfico 59, com a mesma formatação do gráfico 58, só que considerando o módulo do desnível no ponto 2.

Gráfico 59: Efeito do desnível no ponto 2 na aceleração vertical e no conforto dos usuários em todos os poços de visita, considerando a média das voltas.

### Efeito dos Desníveis dos Poços de Visita: Média das Voltas Módulo dos desníveis no Ponto 2



Fonte: Autoral.

A partir desse gráfico 59, determinou-se a equação 07:

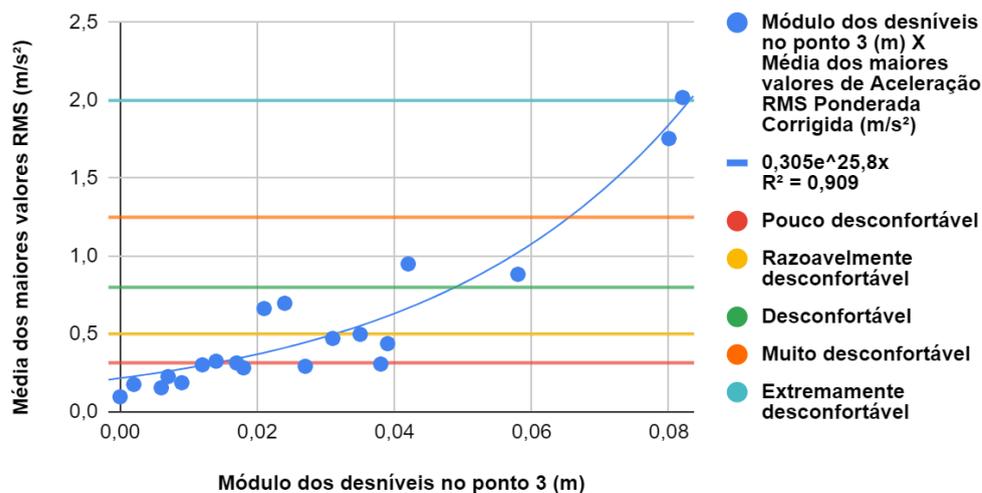
$$y = 0,245 \cdot e^{28,2 \cdot x} \quad (07)$$

Sendo,  $y$  o valor RMS em  $m/s^2$  e  $x$  o desnível no ponto 2 em metros. E  $R^2 = 0,909$ .

Montou-se, também, o gráfico 60, com a mesma formatação do gráfico 58, só que considerando o módulo do desnível no ponto 3.

Gráfico 60: Efeito do desnível no ponto 3 na aceleração vertical e no conforto dos usuários em todos os poços de visita, considerando a média das voltas.

### Efeito dos Desníveis dos Poços de Visita: Média das Voltas Módulo dos desníveis no Ponto 3



Fonte: Autoral.

A partir desse gráfico 60, determinou-se a equação 08:

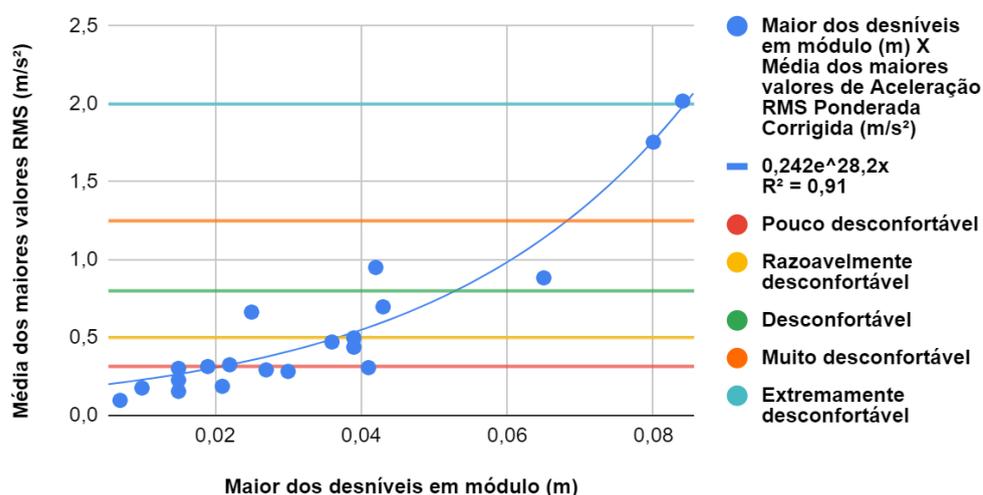
$$y = 0,305 \cdot e^{25,8 \cdot x} \quad (08)$$

Sendo, y o valor RMS em  $m/s^2$  e x o desnível no ponto 3 em metros. E o valor de  $R^2 = 0,909$ .

Montou-se, também, o gráfico 61, com a mesma formatação do gráfico 58, só que considerando o maior entre os módulos dos desníveis entre os três pontos.

Gráfico 61: Efeito do maior desnível na aceleração vertical e no conforto dos usuários em todos os poços de visita, considerando a média das voltas.

### Efeito dos Desníveis dos Poços de Visita: Média das Voltas Maior dos desníveis em módulo



Fonte: Autoral.

A partir desse gráfico 61, determinou-se a equação 09:

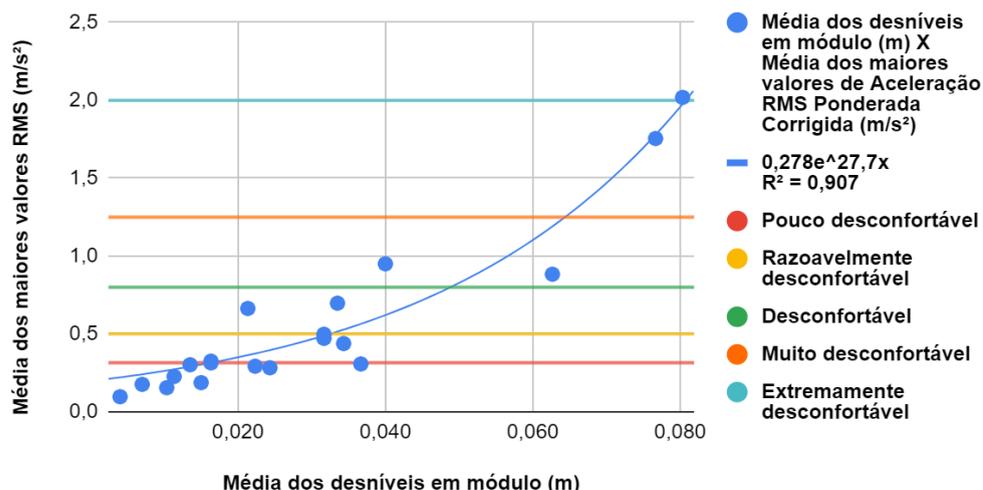
$$y = 0,242 \cdot e^{28,2 \cdot x} \quad (09)$$

Sendo, y o valor RMS em  $m/s^2$  e x o desnível máximo em metros. E o valor de  $R^2 = 0,91$ .

Montou-se, também, o gráfico 62, com a mesma formatação do gráfico 58, só que considerando a média dos módulos dos desníveis nos três pontos.

Gráfico 62: Efeito da média do desnível na aceleração vertical e no conforto dos usuários em todos os poços de visita, considerando a média das voltas.

### Efeito dos Desníveis dos Poços de Visita: Média das Voltas Média dos desníveis em módulo



Fonte: Autoral.

A partir desse gráfico 62, determinou-se a equação 10:

$$y = 0,278 \cdot e^{27,7 \cdot x} \quad (10)$$

Sendo, y o valor RMS em m/s<sup>2</sup> e x a média dos desníveis em metros. E o valor de R<sup>2</sup> = 0,907.

Portanto, pode-se concluir que o desnível dos poços de visita, o valor RMS da aceleração ponderada, e, conseqüentemente, o grau de conforto podem ser relacionados com um grau de precisão relativamente alto de até R<sup>2</sup> = 0,91, atingido pela equação exponencial 09 desenvolvida a partir do maior entre os módulos dos desníveis entre os três pontos.

Essa equação pode ser formatada para calcular o desnível em função do valor RMS, resultando na equação 11, sendo x e y os mesmos que para a equação 09.

$$x = \frac{\ln\left(\frac{y}{0,242}\right)}{28,2} \quad (11)$$

Com os limites entre os níveis de conforto e a equação 11, tem-se a seguinte tabela 34:

Tabela 34: Relação entre os níveis de conforto do usuário, os valores RMS da aceleração vertical ponderada limites de cada nível e o maior entre os módulos dos desníveis calculados a partir desses limites.

(continua)

Conforto do Usuário das Vias	Valores RMS da Aceleração Vertical Ponderada dos Limites (m/s <sup>2</sup> )	Maior entre os Módulos dos Desníveis (m)
Pouco desconfortável	0,315	0,009
Razoavelmente desconfortável	0,5	0,026
Desconfortável	0,8	0,042

Tabela 34: Relação entre os níveis de conforto do usuário, os valores RMS da aceleração vertical ponderada limites de cada nível e o maior entre os módulos dos desníveis calculados a partir desses limites.

(conclusão)

Conforto do Usuário das Vias	Valores RMS da Aceleração Vertical Ponderada dos Limites (m/s <sup>2</sup> )	Maior entre os Módulos dos Desníveis (m)
Muito desconfortável	1,25	0,058
Extremamente desconfortável	2	0,075

Fonte: Autoral, com base na ISO 2631-1-1997.

Segundo o exposto na tabela 34, a partir de 9 mm de módulo do desnível máximo do poço de visita, já pode ser verificado um nível pouco desconfortável. E, a partir de, aproximadamente, 4,2 cm um nível já desconfortável propriamente dito; atingindo o nível de extremamente desconfortável com em torno de 7,5 cm de módulo máximo de desnível.

#### 5.4 LIMITAÇÕES ENCONTRADAS NO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Muitas limitações foram enfrentadas ao longo da aplicação dos experimentos, como:

- Não correspondência entre o valor da aceleração da gravidade adotado no tratamento dos dados e o verificado em campo;
- Tráfego de veículos pelas vias:
  - Como o autor não possuía os recursos para interditar as vias para a realização dos experimentos, os veículos transitando por elas representaram grandes fontes de dificuldade para a condução dos procedimentos:
    - Necessidade da medição do desnível, em horários próximos do amanhecer, para evitar os carros:
      - Mesmo com o volume de veículos reduzido, ainda foi constatada, em muitas ocasiões, a necessidade de realizar as leituras na trena com pressa e, portanto, com uma maior chance de erro.
    - Devido às restrições de horário do condutor do veículo, as medições de aceleração tiveram que ser realizadas no período da tarde e da noite:
      - Inviabilidade de manter uma velocidade constante ao longo das rotas e de atingir com precisão a velocidade de 40 km/h ao transitar pelos poços;
      - Restrição das manobras necessárias para os poços serem atingidos pela roda de teste.
- Dificuldade de leitura da trena, devido à proximidade com o pavimento;
- Grande imprecisão nas marcações realizadas no cronômetro devido aos movimentos do veículo e ao pequeno campo de visão do passageiro;
- Necessidade de avaliar o efeito do módulo dos desníveis e da aceleração ponderada, sem considerar os efeitos do sentido das grandezas;
- Ruído nas medições de aceleração gerado pelos outros defeitos presentes na via e pelos movimentos do veículo;
- Muitos dos poços em estudo não se encontravam nos trilhos de roda, por onde as rodas dos veículos normalmente transitam, portanto a relevância desse estudo para o conforto geral dos usuários das vias não fica definido com os resultados obtidos neste projeto.

## 6. CONCLUSÃO E DISCUSSÕES

De acordo com a pesquisa bibliográfica realizada, o impacto do desnível em poços de visita sobre o conforto pode ser verificado e estudado por meio da medição da aceleração vertical. Além de outras propriedades das vias que podem ser avaliadas por meio desse método, com a irregularidade do pavimento. A partir da pesquisa também, pode ser desenvolvido um procedimento experimental para a avaliação desse impacto em campo.

Conforme os gráficos, tabelas e equações determinados ao longo deste trabalho, por meio desse procedimento, pode-se concluir que o desnível nos poços de visita em relação ao pavimento circundante pode ser considerado como um fator de grande impacto no conforto dos usuários das vias que transitam sobre os poços, alcançando um  $R^2$  máximo de 0,91 com relação à equação exponencial que relaciona o maior módulo dos desníveis medidos nos poços de visita e o valor RMS da aceleração vertical ponderada no interior do veículo. Sendo, esse último, um fator que pode ser utilizado para determinação do grau de conforto, de acordo com a ISO 2631-1-1997.

Portanto, deduz-se que esse tipo de defeito é importante para a determinação dos níveis de conforto geral nas vias e que o seu empregado na determinação de limites entre esses níveis pode ser estudado como uma ferramenta útil e de baixo custo para a gestão das vias urbanas. Porém, devido ao fato de que grande parte dos poços de visita em estudo neste trabalho não se localiza sobre os trilhos de roda, ou seja, nos locais por onde as rodas dos veículos geralmente transitam, pode-se questionar a sua influência real para o nível de conforto geral dos usuários.

Apesar das grandes limitações listadas relativas ao método de medição do desnível de poços de visita em três pontos, ao método de medição da aceleração vertical com uso de aplicativo em smartphone fixado no interior do veículo e às próprias dificuldades constatadas em campo e durante a análise dos dados, o procedimento aplicado neste trabalho pode ser explorado, com correções, no desenvolvimento de outros projetos. Inclusive, conforme também abordado na bibliografia reunida, o método da medição de aceleração com smartphone pode representar uma alternativa útil para avaliação do pavimento e como um mecanismo de suporte de menor custo para os gestores das vias urbanas.

Algumas correções e adaptações que poderiam ser feitas em trabalhos futuros:

- Interditar trechos das vias para condução dos experimentos;
- Quanto ao método de medição do desnível:
  - Aplicar um método reconhecido e mais adequado, como o uso do perfilômetro ou do merlin, com o método do nível e mira;
  - Usar trenas à laser para medir o desnível.
- Quanto ao método de medição da aceleração:
  - Medir o valor da aceleração da gravidade local para ser utilizado como referência;
  - Usar acelerômetro com filtro digital ou aplicar filtro mais sofisticado;
  - Usar acelerômetro que registre coordenadas geográficas;
  - Medir marcações de tempo com observador externo ao veículo.
- Estudar a possibilidade de ampliar o escopo do estudo:
  - Avaliar o impacto de outros tipos de defeitos na aceleração e no conforto;
  - Analisar a aceleração e rotação em outros eixos de referência;
  - Combinar as medições objetivas com avaliações subjetivas dos usuários;
  - Desenvolver método que considere as variações na velocidade do veículo;
  - Investigar como aplicar o método da medição da aceleração como um mecanismo de suporte a tomada de decisão dos gestores das vias;
  - Explorar a aplicação do método em vias não urbanas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, Rodrigo Farias. **Criação e análise de um protótipo de equipamento para medição de vibração ocupacional**. 2013. 54 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/17829>. Acesso em: 12 abr. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16085**: Poços de visita e inspeção pré-moldados em concreto armado para sistemas enterrados - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 17 p. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9649**: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento. Rio de Janeiro, 7 p. 1986.

AZAMBUJA, A. R. **Pavimentos Asfálticos**: Análise de patologias na repavimentação de trechos devido a obras de rede de esgoto sanitário. Orientador: Suyen Matsumura Nakahara. 2009. 85 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24085/000741732.pdf?sequence=1&isAlloved=y>. Acesso em: 19 set. 2023.

BISCONSINI, Danilo Rinaldi. **Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones**. 2016. Dissertação (Mestrado em Infra-Estrutura de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. doi:10.11606/D.18.2016.tde-18072016-104745. Acesso em: 2024-03-15.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. - 2. ed. - Rio de Janeiro, 2006. 310p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Gerência de Pavimentos**. - Rio de Janeiro, 2011. 189p.

BRITO, Halane Maria Braga Fernandes; OLIVEIRA, Julyanna Bezerra de. Procedimento de medida da vibração de corpo inteiro via programação MATLAB de acordo com a ISO 2631. **Revista Interscientia**, [s. l.], v. 5, ed. 1, p. 136-146, 11 dez. 2017. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/view/476>. Acesso em: 28 mar. 2024.

CELAYA-PADILLA, J.M.; GALVÁN-TEJADA, C.E.; LÓPEZ-MONTEAGUDO, F.E.; ALONSO-GONZÁLEZ, O.; MORENO-BÁEZ, A.; MARTÍNEZ-TORTEYA, A.; GALVÁN-TEJADA, J.I.; ARCEO-OLAGUE, J.G.; LUNA-GARCÍA, H.; GAMBOA-ROSALES, H. **Speed Bump Detection Using Accelerometric Features: A Genetic Algorithm Approach**. *Sensors*, [s. l.], v. 18, ed. 2, p. 443, 3 fev. 2018. DOI <https://doi.org/10.3390/s18020443>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/2/443>. Acesso em: 10 out. 2023.

CHANG, J-R.; YANG, S-R.; LIN, K-H. **Performance of new resin cement in rapid manhole vertical adjustment**. *Materials Research Innovations*, [s. l.], v. 18, ed. sup2, p. S2-857-S2-862, 30 maio 2014. DOI <https://doi.org/10.1179/1432891714Z.000000000563>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/1432891714Z.000000000563>. Acesso em: 19 set. 2023.

DESCUBRA como analisar e escolher o terreno ideal. [S. l.]: Entenda Antes - Projetos Para Construções, 2023. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/566327721904103390/>. Acesso em: 30 abr. 2024.

DIOGO, Francisco José d'Almeida. POÇO DE VISITA (PV). [S. l.]: Brava Equipamentos, 2023. Disponível em: [https://bravaequipamentos.com.br/wp-content/uploads/2023/04/Poco-de-visitas\\_Brava-equipamentos.pdf](https://bravaequipamentos.com.br/wp-content/uploads/2023/04/Poco-de-visitas_Brava-equipamentos.pdf). Acesso em: 30 abr. 2024.

FIGUEIREDO, Marilu Alcântara de Melo; SILVA, Luiz Felipe; BARNABÉ, Tiago Leão. Transporte coletivo:: vibração de corpo-inteiro e conforto de passageiros, motoristas e cobradores. **Journal of Transport Literature**, [s. l.], v. 10, ed. 1, p. 35-39, mar. 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v10n1a7>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jtl/a/53RYjDLzZt3TDhnkQx4pZmr/?lang=pt>. Acesso em: 28 mar. 2024.

GOUVEIA, Rosimar. **Aceleração da Gravidade**. Toda Matéria, [s.d.], 2024. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/aceleracao-da-gravidade/>. Acesso em: 5 mar. 2024.

HU, Wenjun; ZHAO, Quanman; LIU, Yao; LI, Zhigang; KONG, Xianghui. **Damage Evaluation of the Paving around Manholes under Vehicle Dynamic Load**. *Advances in Materials Science and Engineering*, [s. l.], v. 2020, 27 ago. 2020. DOI <https://doi.org/10.1155/2020/6510439>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2020/6510439/>. Acesso em: 19 set. 2023.

MARTINELLI, Alessio; MEOCCI, Monica; DOLFI, Marco; BRANZI, Valentina; MOROSI, Simone; ARGENTI, Fabrizio; BERZI, Lorenzo; CONSUMI, Tommaso. **Road Surface Anomaly Assessment Using Low-Cost Accelerometers: A Machine Learning Approach**. *Sensors*, Basel, Suíça, v. 22, ed. 10, p. 3788, 16 maio 2022. DOI <https://doi.org/10.3390/s22103788>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/10/3788>. Acesso em: 10 out. 2023.

MULITERNO, Bena Knebel; JUNIOR, Fernando Muliterno; PRAVIA, Zacarias Marn Chamberlain. **Avaliação da irregularidade longitudinal do pavimento sobre pontes usando acelerações medidas por smartphones**. ANPET: Revista Transportes, [s. l.], v. 27, ed. 2, p. 182-193, 31 ago. 2019. DOI <https://doi.org/10.14295/transportes>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/336262306\\_Avaliacao\\_da\\_irregularidade\\_longitudinal\\_do\\_pavimento\\_sobre\\_pontes\\_usando\\_aceleracoes\\_medidas\\_por\\_smartphones](https://www.researchgate.net/publication/336262306_Avaliacao_da_irregularidade_longitudinal_do_pavimento_sobre_pontes_usando_aceleracoes_medidas_por_smartphones). Acesso em: 24 out. 2023.

PAZ, Adriano Rolim da. **Microdrenagem**: poço-de-visita e caixa de ligação. 21 set. 2023. Slides. Disponível em: <https://sigaa.ufpb.br/sigaa/>. Acesso em: 23 abr. 2024.

SANTOS, Alberto Costa de Oliveira. **Gestão de Redes Subterrâneas de Infraestrutura Urbana na Cidade de Curitiba/PR: Diagnóstico e Sugestões de Melhorias**. Orientador: Adauto José Miranda de Lima. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2015. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/8117/1/CT\\_EC\\_2015\\_2\\_01.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/8117/1/CT_EC_2015_2_01.pdf). Acesso em: 24 abr. 2024.

SILVA, Antônio Carlos Alexandre da; SILVA, Maria da Paz Medeiros da; LIMA, Jucimeri Ismael de; MARQUES, Anilde Felix; FARIAS, Vera Solange de Oliveira. Medição do Tempo de Reação de uma Pessoa: Facilitando a Compreensão do Conteúdo da Disciplina de Física Geral e Experimental. In: **III CONEDU - CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO**, 2016, Natal, RN. Disponível em: [https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2016/TRABALHO\\_EV056\\_MD4\\_SA18\\_ID719\\_18082016211512.pdf](https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2016/TRABALHO_EV056_MD4_SA18_ID719_18082016211512.pdf). Acesso em: 13 abr. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/ap>. Acesso em: 24 abr. 2024.

SMITH, W. S. Moving Average Filters. In: SMITH, W. S. **The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing**. 2. ed. [S. l.]: California Technical Publishing, 1999. cap. 15, p. 277-284. ISBN 0966017668. Disponível em: <https://www.dspguide.com/ch15.htm>. Acesso em: 12 abr. 2024.

WANG, Jianjun; FAN, Jialin; XIE, Minghui; CAI, Lu. **Can Variations of Vehicle Driving Status Provide Accurate Predictors of Discomfort? A Study on the Actual Driving Test**. *IEEE: Access*, [s. l.], v. 9, p. 47024-47032, 22 mar. 2021. DOI <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3067959>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9382991>. Acesso em: 10 out. 2023.

ZHANG, He-sheng; LI, Lei; LIU, Xuan. **Development and Test of Manhole Cover Monitoring Device Using LoRa and Accelerometer**. *IEEE: Transactions on Instrumentation and Measurement*, [s. l.], v. 69, ed. 5, p. 2570-2580, 20 jan. 2020. DOI <https://doi.org/10.1109/TIM.2020.2967854>. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/document/8963652>. Acesso em: 10 out. 2023.

ZHANG, Hong; ZHAO, Quanman; PENG, Can. **Response Characteristics Analysis and Fatigue Life Assessment of Asphalt Pavement around the Manhole**. *Shock and Vibration*, [s. l.], v. 2020, p. 1-19, 21 dez. 2020. DOI <https://doi.org/10.1155/2020/8818543>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/sv/2020/8818543/>. Acesso em: 17 out. 2023.

ZHAO, Quanman; LI, Zhigang; HU, Wenjun; MENG, Xianguang; ZHANG, Hui. **Driving Comfort Evaluation for Manhole Covers and Pavement around Manholes**. *Advances in Materials Science and Engineering*, [s. l.], v. 2019, 3 out. 2019. DOI <https://doi.org/10.1155/2019/1293619>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2019/1293619/>. Acesso em: 19 set. 2023.

ZHOU, Baoding; ZHAO, Wenjian; GUO, Wenhao; LI, Linchao; ZHANG, Dejin; MAO, Qingzhou; LI, Qingquan. ***Smartphone-based Road Manhole Cover Detection and Classification.*** *Automation in Construction*, [s. l.], v. 140, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104344>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926580522002175?via=ihub>. Acesso em: 26 set. 2023.