

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**SANDER FRAGA FARINHA DA SILVA**

**ESTUDO DE PERFIS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DE VEÍCULOS LEVES  
EM CURVAS: AVALIAÇÃO DE PADRÕES E DA ADERÊNCIA A MODELOS  
EXISTENTES**

Porto Alegre  
Maio de 2021

**SANDER FRAGA FARINHA DA SILVA**

**ESTUDO DE PERFIS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DE VEÍCULOS LEVES  
EM CURVAS: AVALIAÇÃO DE PADRÕES E DA ADERÊNCIA A MODELOS  
EXISTENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Comissão de Graduação do Curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal do Rio Grande do  
Sul como parte dos requisitos para obtenção do  
Título de Engenheiro Civil.

**Orientador: Daniel Sergio Presta García**

Porto Alegre  
Maio de 2021

**SANDER FRAGA FARINHA DA SILVA**

**ESTUDO DE PERFIS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DE VEÍCULOS LEVES  
EM CURVAS: AVALIAÇÃO DE PADRÕES E DA ADERÊNCIA A MODELOS  
EXISTENTES**

Este Trabalho de Conclusão foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 24 de maio de 2021

**Prof. Daniel Sergio Presta García (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof.<sup>a</sup> Christine Tessele Nodari (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof.<sup>a</sup> Zélia Silveira d'Azevedo (ULBRA)**  
M.<sup>a</sup> pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Eng. Luís Fernando Finamor (DAER)**  
Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho às duas mulheres cujo  
esforço e dedicação permitiram que eu  
chegasse a este momento: minha mãe,  
Leandra, e minha madrinha, Síría.

## AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha madrinha Síría e aos meus pais Leandra e Osmar, pelo apoio e incentivo durante todo o período de graduação e pelo investimento em minha educação desde o ensino básico até hoje.

À engenheira Zélia Silveira d’Azevedo, por todas as oportunidades que me proporcionou, por fornecer os dados utilizados como base para esta pesquisa e pelo apoio durante todo o seu desenvolvimento.

Ao professor Daniel Sergio Presta García, pelas portas que abriu, pelas sempre enriquecedoras conversas durante todo o período em que fui bolsista no LASTRAN, responsáveis por reacender em mim o interesse pela Engenharia de Transportes, e pela paciência e orientação durante o longo período que culminou no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos que conheci e que trago comigo desde os primeiros semestres da graduação, Eduarda, Leandro, Tatiélle e Thaisa, pelo companheirismo, acolhimento e motivação durante todo este período.

Aos colegas e amigos que fiz na EME Jr., pelas oportunidades e pelo aprendizado que nunca imaginei que poderia ter durante a graduação, e que foram de grande importância na minha formação.

Por fim, à esta Universidade, por todas as oportunidades proporcionadas ao longo da graduação. O ambiente plural e a efervescência de ideias que existem nos corredores da UFRGS foram fundamentais para que eu me tornasse o cidadão e profissional que sou hoje.

## RESUMO

A redução de velocidade entre segmentos contíguos de uma rodovia tem forte influência na frequência de acidentes, e a avaliação da consistência geométrica a partir da análise do perfil de velocidades dos veículos é uma importante ferramenta para identificar locais propensos a situações de risco. Este trabalho estuda dados observados em três curvas em uma rodovia estadual do Rio Grande do Sul, analisando os padrões de comportamento dos condutores de veículos leves no que tange às taxas de desaceleração e aceleração praticadas. Sete modelos propostos na literatura, sendo cinco para previsão das taxas de desaceleração e dois para as taxas de aceleração, são avaliados com o objetivo de determinar os que melhor se aderem aos dados observados em campo. A análise dos perfis de variação de velocidade nas curvas permitiu identificar padrões similares de comportamento para ambos os sentidos da curva, porém com diferenças importantes no que diz respeito às taxas praticadas. Os modelos de desaceleração propostos por Pérez-Zuriaga, em 2010, e de aceleração proposto por Bella, em 2014, apresentaram os menores erros quando comparados aos dados observados em campo.

## ABSTRACT

Speed reduction between contiguous segments of a highway has a strong influence on the accident rate, and the evaluation of geometric consistency from the analysis of the speed profile of vehicles is an important tool to identify locations prone to risk situations. This work studies data observed in three curves on a state highway of Rio Grande do Sul, analyzing the behavior patterns of light vehicle drivers regarding the deceleration and acceleration rates practiced. Seven models proposed in the literature, five for predicting deceleration rates and two for acceleration rates, are evaluated with the objective of determining the ones that best adhere to the data observed in the field. The analysis of the speed variation profiles in the curves made possible to identify similar behavior patterns in both directions of the curve, but with important differences regarding the rates practiced. The deceleration models proposed by Pérez-Zuriaga in 2010 and the acceleration model proposed by Bella in 2014 presented the lowest errors when compared to the data observed in the field.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfis altimétricos das curvas analisadas .....	18
Figura 2: Posicionamento dos tubos pneumáticos.....	19
Figura 3: Diagramas de caixa da dispersão das taxas de variação de velocidade observadas em campo entre os pontos de coleta nas curvas .....	23
Figura 4: 15° e 85° percentis das taxas de variação de velocidade para a curva 180N .....	24
Figura 5: Variação da velocidade operacional observada nas estações nas curvas analisadas	24
Figura 6: Perfil de variação de velocidade das curvas analisadas .....	26
Figura 7: Taxas de variação por grupos de velocidade inicial .....	27
Figura 8: Comparação entre as taxas calculadas pela $\Delta_{85}V$ e pela $\Delta V_{85}$ para a curva 180N ...	28
Figura 9: Comparação entre as taxas de desaceleração e aceleração previstas e observadas para cada grupo de modelos .....	29

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Modelos de previsão de taxas de aceleração e desaceleração .....	16
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características geométricas das curvas analisadas .....	18
Tabela 2: Resumos dos dados de veículos de passeio coletados e processados.....	22
Tabela 3: Modelos selecionados para avaliação.....	21
Tabela 4: Comparação dos EPMA's e REQMs de cada modelo.....	28

## LISTA DE ABREVIATURAS

EPMA	Erro percentual relativo médio
DAER	Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem do Estado do Rio Grande do Sul
MC	Ponto central da curva
PC	Ponto inicial da curva
PT	Ponto final da curva
R	Raio da curva
$R^2$	Coefficiente de determinação
REQM	Raiz do erro quadrático médio
V85	Velocidade operacional

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS E LIMITAÇÕES .....</b>	<b>14</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>17</b>
4.1. Cenário e características da rodovia.....	17
4.2. Origem dos dados.....	18
4.3. Processamento e análise preliminar dos dados .....	19
4.4. Avaliação da aderência dos modelos existentes aos dados observados .....	20
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>22</b>
5.1. Análise dos perfis de variação de velocidade .....	23
5.2. Relação entre $\Delta_{85}V$ e $\Delta V_{85}$ .....	27
5.3. Avaliação da aderência dos dados aos modelos existentes .....	28
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>30</b>
<b>APÊNDICE A – Cálculo das taxas de variação de velocidade dos veículos observados .</b>	<b>32</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A redução de velocidade entre segmentos contíguos de uma rodovia tem forte influência na frequência de acidentes (Fitzpatrick *et al.*, 2000), fato este que torna importante não apenas determinar a variação de velocidade entre dois pontos, mas também como e quando ela ocorre. Para evitar situações de risco, é importante que as características geométricas das rodovias não proporcionem aos condutores condições propícias a reduções bruscas de velocidade, o que pode ser verificado a partir da análise da consistência geométrica do traçado.

O conceito de consistência geométrica pode ser definido como a conformação dos elementos geométricos de uma rodovia às expectativas dos condutores (Ng e Sayed, 2004). Para d’Azevedo (2020), “um traçado é considerado não consistente se apresenta mudanças inesperadas que podem surpreender o condutor, levando a executar manobras que poderão ocasionar acidentes”. A análise do perfil de velocidade é considerada uma das melhores ferramentas de avaliação da consistência geométrica, permitindo identificar problemas como diferenças entre a velocidade operacional e a de projeto e variações repentinas de velocidade (García, 2008).

Para traçar adequadamente os perfis de velocidade em transições entre tangentes e curvas são necessários modelos que descrevam as taxas usuais de aceleração e desaceleração praticadas nestes locais (Altamira *et al.*, 2014). As primeiras pesquisas sobre o tema consideravam as taxas de variação de velocidade constantes, entre 0,80 e 0,85 m/s<sup>2</sup> (Lamm *et al.*, 1988), e ao longo do tempo foram desenvolvidos uma série de modelos considerando a geometria da via para prever, além a velocidade operacional, as suas taxas de variação. As variáveis utilizadas diferem de modelo para modelo, o que pode ser explicado pela diversidade de comportamento entre motoristas de um local para o outro, e pelo fato de que nenhum modelo é universalmente aceito (Castro *et al.*, 2008; Misaghi e Hassan, 2005).

A análise da literatura permite identificar que os modelos existentes podem ser divididos em dois grupos: o primeiro, com os criados com base na diferença entre a velocidade operacional ( $V_{85}$ ) medida entre dois pontos ( $\Delta V_{85}$ ) e o segundo, com os criados com base nas variações de velocidade individuais de cada veículo entre dois pontos ( $\Delta_{85}V$ ) (Bella, 2007). Hirsh (1987) e Montella *et al.* (2014) concordam que os modelos do primeiro grupo ( $\Delta V_{85}$ ) subestimam as velocidades efetivamente praticadas pelos condutores. Modelos do segundo grupo quase em sua totalidade utilizam como parâmetro o 85º percentil das acelerações individuais experienciadas pelos veículos, todavia Xu *et al.* (2019) recomendam a utilização do 90º percentil para desacelerações e do 92º percentil para acelerações, uma vez que as inclinações das curvas de distribuição acumulada destes fenômenos apresentam variação acentuada perto destes valores.

Os modelos do segundo grupo, criados a partir do acompanhamento contínuo de veículos ao longo das curvas, comumente se baseiam em poucos motoristas trafegando ao longo de diversas curvas com características diferentes, porém a pequena amostra de condutores torna questionável a acurácia ao representar o 85º percentil da aceleração (Misaghi e Hassan, 2005). A familiaridade do condutor com o trecho, bem como seu estado mental no momento (atenção à direção, pressão, etc), têm grande influência sobre seu comportamento, alterando a intensidade das taxas de aceleração (Bertola *et al.*, 2012). O presente estudo propõe uma abordagem inversa à mais comum na literatura, analisando o comportamento de muitos motoristas ao longo de

poucas curvas, objetivando identificar os modelos de previsão das taxas de desaceleração e aceleração que melhor representam a realidade das estradas brasileiras.

## **2. OBJETIVOS E LIMITAÇÕES**

O objetivo principal deste trabalho é a análise dos perfis de variação de velocidade dos veículos de passeio em curvas de rodovias de pista simples a partir de dados de velocidade medidos em campo em três curvas horizontais de uma rodovia estadual de pista simples no Rio Grande do Sul. Os perfis serão traçados a partir da análise das variações de velocidade individuais ( $\Delta_{85}V$ ) de cada um dos veículos que trafegaram nas curvas selecionadas.

O objetivo secundário é a avaliação da aderência dos modelos de previsão de taxas de desaceleração e aceleração de veículos de passeio em curvas existentes na literatura, comparando os resultados destes modelos quando aplicados para as condições geométricas das curvas em questão com os dados observados em campo.

Este trabalho apresenta duas limitações principais: a primeira é que, tendo em vista que os dados de velocidade foram coletados em sete pontos ao longo da curva e das tangentes de aproximação e afastamento, não é possível o cálculo das taxas instantâneas de variação da velocidade dos veículos, logo este trabalho utilizará taxas médias calculadas entre os pontos de medição; a segunda é que as velocidades começam a ser medidos cerca de 200 m antes do início da curva, distância menor do que alguns autores consideram como sendo a distância de desaceleração (distância entre o início da curva e a posição em que o condutor a identifica e começa a desacelerar para percorrê-la com segurança).

## **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

A literatura apresenta uma série de modelos que pretendem estimar as taxas de aceleração e desaceleração dos automóveis ao longo de curva, a quase totalidade deles utilizando o raio da curva como a única ou principal variável explanatória (Echaveguren e Basualto, 2003; Fitzpatrick *et al.*, 2000; Hashim *et al.*, 2016; Pérez-Zuriaga *et al.*, 2013, 2010). Menos comuns, mas relevantes para alguns modelos, são o coeficiente de variação de curvatura (CCR, ou *curvature change rate*, definida como a variação da direção angular absoluta por unidade de distância), e a velocidade do veículo na tangente de aproximação (Bella, 2014; Montella *et al.*, 2014; Pérez-Zuriaga *et al.*, 2010).

Em um dos mais influentes estudos a discutir o tema, Lamm *et al.* (1988) concluiu que a diferença entre as taxas de aceleração e desaceleração era desprezível, sendo ambas aproximadas a  $0,85 \text{ m/s}^2$ , o que era compatível com a literatura técnica vigente na época. Os autores observaram ainda que a desaceleração começa a ocorrer cerca de 225 m antes do início da curva.

Tendo em vista que a aceleração e a desaceleração dos veículos são fenômenos distintos (enquanto o primeiro é promovido pelo motor do veículo, dependendo principalmente da potência deste, o segundo é gerado pelo atrito, seja do veículo com o ar, dos pneus com o pavimento ou, principalmente, das rodas com os freios), é adequado que estes sejam avaliados separadamente. Fitzpatrick *et al.* (2000) realizaram uma série de medições de velocidade ao longo de 21 curvas horizontais. Calculando a variação da velocidade a partir da V85 de cada ponto de medição, o experimento mostrou que as taxas de variação nas tangentes anteriores e posteriores às curvas eram muito diferentes de  $0,85 \text{ m/s}^2$ , que a variação dentro da curva não é

nula, e que o local onde os motoristas começam a desacelerar ou acelerar varia de curva para curva. O trabalho desenvolveu modelos diferentes para aceleração e desaceleração, ambos em função do raio da curva. Aqueles estimados para aceleração a partir de regressões lineares, entretanto, apresentaram coeficientes de determinação insatisfatórios, sendo sugerido pelos autores um modelo com faixas fixas de taxa de aceleração em função do raio da curva.

Echaveguren e Basualto (2003) coletaram dados de velocidade ao longo de 32 curvas circulares em rodovias chilenas, concluindo que os modelos de Lamm *et al.* (1988) e Fitzpatrick *et al.* (2000) não eram satisfatórios para a realidade daquele país. O estudo apontou que, para curvas de raio maior que 250 m, a desaceleração dos veículos leves ocorre desde a tangente anterior até aproximadamente o centro da curva, e para curvas de raio menor que este valor, a desaceleração ocorre completamente na tangente, e o veículo tende a manter uma velocidade constante ao longo do desenvolvimento circular.

Hu e Donnell (2010) propõe uma análise que leva em consideração os elementos altimétricos e o comportamento do veículo nas curvas anteriores para determinar as taxas de aceleração e desaceleração. Com base em dados de 16 motoristas em 32 curvas horizontais, os autores concluíram que motoristas desaceleram a maiores taxas caso tenham saído da curva anterior em altas velocidades, e que o raio e o desenvolvimento das curvas têm influência significativa nas taxas de aceleração e desaceleração.

Pérez-Zuriaga *et al.* (2010) desenvolveram modelos para previsão da desaceleração na aproximação de curvas em função do raio e do CCR da curva específica (não levando em consideração as características do restante do trecho). Em trabalho posterior, os autores reanalisaram os mesmos dados com outras técnicas e geraram um novo modelo, além de concluírem que a distância de desaceleração dos veículos está entre 100 e 50 m (Pérez-Zuriaga *et al.*, 2013).

Altamira *et al.* (2014) registraram o comportamento de nove motoristas em 386 curvas na Argentina, com inclinações entre -5 % e +5 %. O estudo analisou as acelerações médias no desenvolver das curvas e concluiu que as taxas de desaceleração aplicadas na aproximação de curvas dependem do raio e da inclinação do greide, enquanto as taxas de aceleração após o fim da curva são principalmente influenciadas pela distância disponível para acelerar, sofrendo pouco ou nenhum efeito pela inclinação do greide. A distância de desaceleração apresentou fortes relações com o raio e a velocidade inicial do veículo. Tal distância variou entre 50 e 230 m para velocidades iniciais de 50 a 110 km/h.

Em experimento com 39 motoristas em uma rodovia italiana, Montella *et al.* (2014) concluíram que tanto as características planimétricas do trecho precedente como o perfil altimétrico da curva têm um efeito importante na velocidade operacional, e conseqüentemente nas taxas de variação de velocidade. No estudo, foram desenvolvidos modelos para aceleração e desaceleração considerando tanto a variação da velocidade operacional ( $\Delta V_{85}$ ) quanto a variações de velocidade individuais dos veículos ( $\Delta_{85}V$ ), que levam em conta além do raio, a deflexão da curva, a inclinação e o CCR do trecho.

O Quadro 1 apresenta os modelos de previsão de taxas de aceleração e desaceleração considerados durante a elaboração deste trabalho.

**Quadro 1: Modelos de previsão de taxas de aceleração e desaceleração**

Autor	Modelo ( $a/d$ em $m/s^2$ )	Aplicação (R em m)	Amostra	Observações
Lamm <i>et al.</i> (1988)	$d = 0,85$	N/A	N/A	Desaceleração/ aceleração na tangente de aproximação.
	$a = 0,85$	N/A		
Fitzpatrick, Elefteriadou, <i>et al.</i> (2000)	$d = 0,6749 - \frac{295,14}{R}$	$175 \leq R < 436$ $d_{85} = 1, R < 175$ $d_{85} = 0, R \geq 436$	N/A	Máxima desaceleração ou aceleração na tangente ou curva. Estimado a partir do $\Delta V_{85}$ .
	$a = 0,54, \text{ para } 175 \leq R < 250$ $a = 0,43, \text{ para } 250 \leq R < 436$ $a = 0,21, \text{ para } 436 \leq R < 875$ $a = 0,00, \text{ para } 175 \leq R < 436$	$R > 175$		
Echaveguren e Basualto (2003) apud Echaveguren <i>et al.</i> (2020)	$d = \frac{131,418}{R}$	$250 \leq R < 436$ $d_{85} = 0,55, R < 250$ $d_{85} = 0,24, R > 436$	32 curvas	Desaceleração/ aceleração na tangente de aproximação. Estimado a partir do $\Delta V_{85}$ .
	$a = \frac{52,524}{R}$	$a_{85} = 0,21, R < 250$ $a_{85} = 0,06, R > 436$		
Pérez-Zuriaga <i>et al.</i> (2010)	$d_{85} = 0,24 + 0,0015 * CCR$	$80 \leq R < 930$	81 curvas; 26 - 110 veículos por curva	Desaceleração na tangente de aproximação.
	$d_{85} = 0,264 + \frac{67,80}{R}$			
Pérez-Zuriaga <i>et al.</i> (2013)	$d_{85} = 0,447 + \frac{90,472}{R}$	$52 \leq R < 519$	37 curvas; 24 - 102 veículos por curva	Desaceleração na tangente de aproximação.
Bella (2014)	$d_{85} = -1,316 + \frac{148,28}{R} + 0,015 * V_{85\max\_ta}$	$150 \leq R < 800$	26 curvas; 30 - 40 veículos por curva	Desaceleração/ aceleração máximas na aproximação/ afastamento.
	$a_{85} = -0,567 + \frac{74,47}{R} + 0,007 * V_{85\max\_td}$			
Montella <i>et al.</i> (2014)	$d = 0,277 + \frac{0,098}{R} - 0,0017 * CCR_2 + 0,037 * Gu$	$250 \leq R < 2775$	45 curvas; 39 veículos por curva	Estimado a partir do $\Delta V_{85}$ .
	$a = 0,159 + \frac{0,035}{R} + 0,025 * Gd - 0,027 * Gu$			
	$d_{85} = 0,546 + \frac{0,134}{R} - 0,0015 * def - 0,015 * CCR_2 + 0,009 * Gd + 0,156 * TN$			Estimado a partir do $\Delta_{85}V$ .
	$a_{85} = 0,350 + 0,048 * Gd - 0,022 * Gu$			
Hashim <i>et al.</i> (2016)	$d = -0,211 + \frac{6,32}{\sqrt{R}}$	$59 \leq R < 823$	32 curvas; 30 veículos por curva	Desaceleração na tangente de aproximação. Estimado a partir do $\Delta V_{85}$ .
	$a = -0,374 + \frac{12,52}{\sqrt{R}}$			

$d$ ,  $a$  = desaceleração/aceleração [ $m/s^2$ ];  $d_{85}$ ,  $a_{85}$  = 85º percentil da desaceleração/aceleração [ $m/s^2$ ];  $R$  = raio da curva [m];  $CCR$  = taxa de variação da curvatura da curva [grados/km];  $CCR_2$  taxa de variação da curvatura dos 2 km precedentes à curva [grados/km];  $V_{85\max\_ta}$  = velocidade operacional máxima na tangente de aproximação [km/h];  $V_{85\max\_td}$  = velocidade operacional máxima na tangente de afastamento [km/h];  $def$  = deflexão da curva [grados];  $Gd$  = declive equivalente [%];  $Gu$  = aclave equivalente [%]; e  $TN$  = variável túnel (0 se o segmento não esta em um túnel, 1 se está).

Fonte: Autoria própria

Para além do desenvolvimento de modelos fundamentados em dados coletados em campo, o aprimoramento dos simuladores de direção tem permitido a pesquisa deste tema em ambientes virtuais. Simulando variadas situações de familiaridade, desatenção e pressão, Bertola *et al.* (2012) observou que o comportamento dos condutores no que tange a velocidades e acelerações é perceptivelmente influenciado pelo contexto individual. Bella (2014), utilizando um simulador devidamente validado para o estudo de velocidades, analisou dados de 72 condutores em dois cenários e determinou que o método de cálculo da taxa de aceleração e desaceleração pela diferença entre a V85 de dois pontos fornece resultados menores do que o método pela análise das acelerações individuais, o que subestima as taxas efetivamente praticadas pelos condutores. O trabalho apresenta modelos para o 85º percentil da aceleração e da desaceleração, desenvolvidos com base no raio da curva e da máxima velocidade operacional (V85) na tangente de aproximação da curva, mas sinaliza que, por terem sido desenvolvidos com dados virtuais e não reais, estes devem ser utilizados com cautela.

#### **4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para avaliar os perfis de variação de velocidade dos veículos de passeio em curvas de rodovias de pista simples e a aderência dos modelos de previsão de taxas de desaceleração e aceleração em curvas existentes na literatura, foram utilizados os dados de veículos que trafegaram em três curvas horizontais, coletados em um trabalho anterior.

##### **4.1. Cenário e características da rodovia**

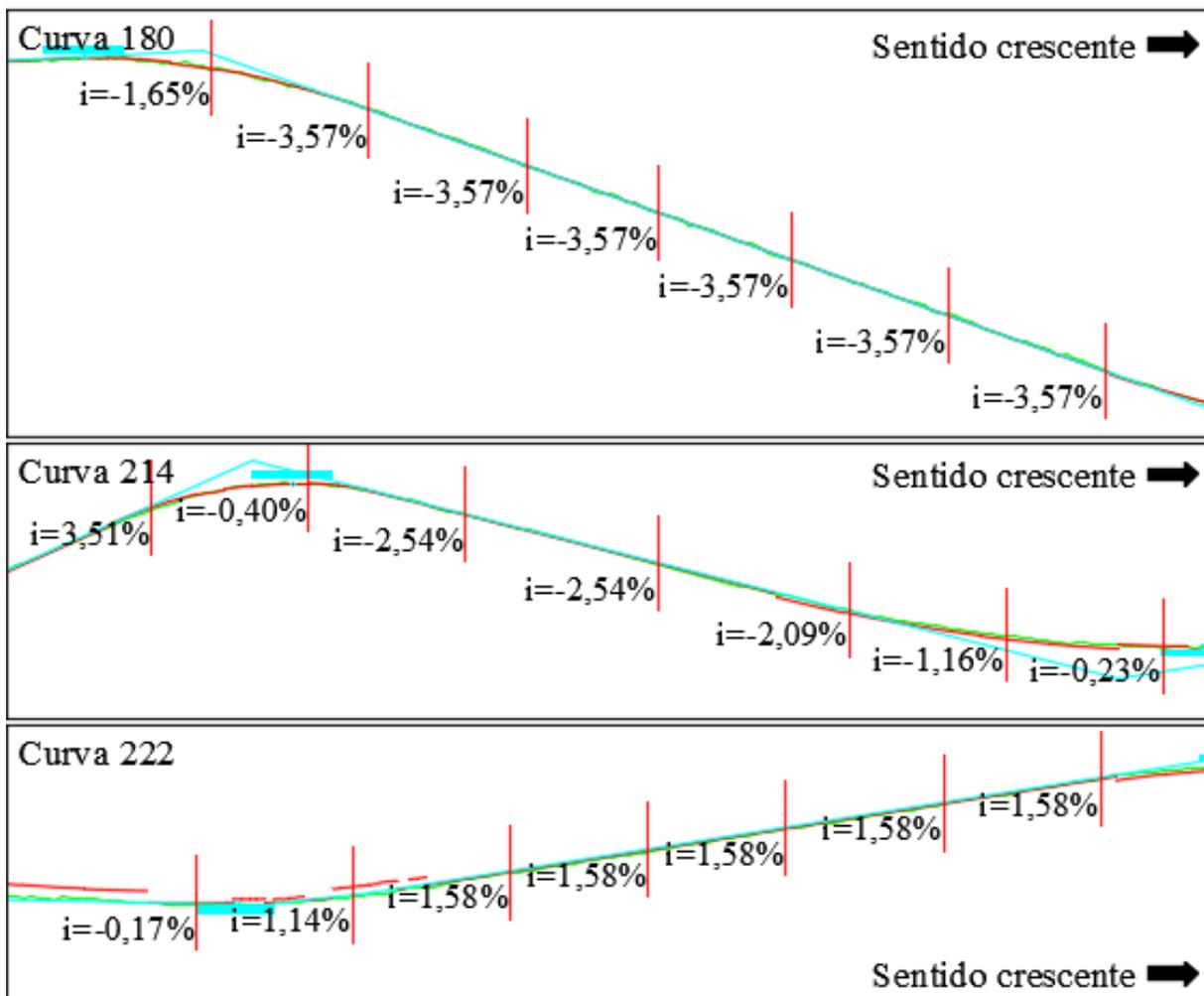
As curvas analisadas fazem parte de uma rodovia rural de pista simples, a ERS-122, entre os municípios de Antônio Prado e Vacaria, no estado do Rio Grande do Sul, classificada como Classe III (DAER, 1991), inserida em região ondulada, com velocidade regulamentada igual a 60 km/h. A rodovia possui volume diário médio de tráfego de 3.188 veículos, sendo 49% veículos de passeio, 36% de carga e 15% coletivos. O trecho em que as curvas se localizam apresentava boas condições de manutenção durante o período de coleta, principalmente no que tange ao pavimento e à sinalização. A pista de rolamento mede 7,0 m, divididos em duas faixas de 3,5 m, e o acostamento varia entre 1,0 e 2,0 m.

Os elementos característicos da geometria, tais como raios de curvas horizontais, deflexões, intertangentes (elementos planimétricos), rampas e curvas de concordância vertical (altimétricos), foram obtidos com a utilização de levantamento aerofotogramétrico por meio do uso de drones e de vídeo registro. Os da geometria obtidos foram processados e geometrizados no *software* SAEPRO.

A seleção das curvas a serem analisadas neste trabalho teve como critérios a verificação da independência das curvas (intertangente mínima de 200 m), e da inexistência de interferências como interseções e acessos. A declividade longitudinal das curvas selecionadas varia de 3,57% a 1,58%, e a de número 214 apresenta uma curva vertical convexa pronunciada na tangente anterior, enquanto as demais têm declividade majoritariamente constante. A Tabela 1 resume as características planimétricas das curvas analisadas, e seus perfis altimétricos são exibidos na Figura 1.

**Tabela 1:** Características geométricas das curvas analisadas

Curva	Raio (m)	CCR (curva individual, graus/km)	Sentido	CCR (2 km anteriores, graus/km)	Lado	Tangente de aprox. (m)	Tangente de afast. (m)
180	280	156,54	Cres. (180N)	55,13	Externo	456,4	266,3
			Decr. (180S)	94,28	Interno	266,3	456,4
214	160* (lc = 60)	281,05	Cres. (214N)	69,22	Interno	1023,5	620,7
			Decr. (214S)	82,9	Externo	620,7	1023,5
222	1003	64,37	Cres. (222N)	48,92	Interno	378,2	649,8
			Decr. (222S)	60,74	Externo	649,8	378,2

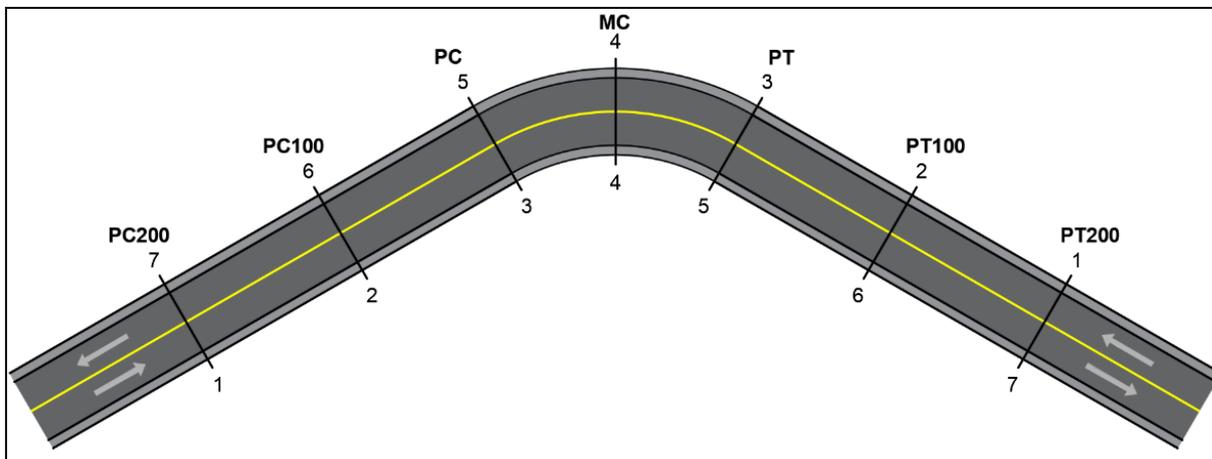


**Figura 1:** Perfis altimétricos das curvas analisadas (a posição dos sensores está em vermelho)

#### 4.2. Origem dos dados

Os dados analisados neste trabalho foram coletados por d'Azevedo (2020), cuja dissertação de mestrado analisou os perfis de velocidade de veículos de carga, e gerou como subproduto um banco de dados que reúne também as informações veículos de passeio e coletivos. No levantamento realizado, foram instalados sensores do tipo tubo pneumático, marca e modelo MetroCount MC5600, posicionados nas tangentes anteriores e posteriores e ao longo das curvas. Os sensores registram diversas informações dos veículos, como o momento da passagem, a velocidade, a distância entre eixos e a sua classificação.

Os pontos escolhidos para coletar os dados foram sete: 1) 200 m antes do início da curva; 2) 100 m antes do início da curva; 3) início da curva; 4) meio da curva; 5) fim da curva; 6) 100 m após o fim da curva; e 7) 200 m após o fim da curva. A Figura 2 representa a disposição dos sensores pneumáticos ao longo das curvas.



**Figura 2:** Posicionamento dos tubos pneumáticos

Os sensores instalados coletaram dados simultaneamente nos dois sentidos do tráfego, com um código direcional sendo adicionado a cada registro: a letra N, para o sentido crescente da quilometragem, que segue em direção norte, e a letra S, para o sentido decrescente, que segue em direção sul (por exemplo, 180N para curva 180 no sentido crescente). Após o período de levantamento em cada curva, os dados registrados foram baixados para um computador portátil e os equipamentos reinstalados nas mesmas posições na próxima curva. É importante notar que, como cada sensor registrava os dados nas duas direções, o mesmo equipamento que registrava as informações do início da curva em um dos sentidos também registrava as informações do fim da curva no outro sentido. A exceção é o ponto 4), no meio da curva, onde foram instalados dois sensores, um em cada faixa de rolamento. Os levantamentos ocorreram com o pavimento seco, das 7:00 às 19:00 durante dois dias consecutivos, exceto na curva 222, onde o levantamento ocorreu em apenas um dia.

#### 4.3. Processamento e análise preliminar dos dados

A análise preliminar dos dados coletados em campo foi realizada por meio do *software* MetroCount Traffic Executive, fornecido pela fabricante dos tubos pneumáticos, e que permite criar uma série de relatórios a partir dos dados brutos. Por intermédio da aplicação, os dados dos veículos registrados por cada sensor foram filtrados, mantendo apenas os registros de veículos de passeio e eliminando os demais, bem como todos aqueles cujo equipamento considerava não confiáveis ou com erro. Os dados foram então exportados no formato de planilha eletrônica para o Microsoft Excel, onde os demais procedimentos para o cálculo das taxas de variação de velocidade foram realizados.

Uma vez que foram coletados dados de tráfego bidirecionais, cada curva pode ser analisada a partir de duas abordagens: i) cada um dos sentidos de tráfego é considerado isoladamente, como se fossem curvas diferentes, e o tamanho da amostra é dobrado para seis curvas; e ii) os dados de ambas os sentidos são combinados e a curva considerada como uma só. A primeira é preferível caso haja diferenças significativas de um sentido para o outro, seja na geometria ou na composição do tráfego, já a segunda é adequada caso as diferenças entre os sentidos sejam

insignificantes a ponto de não interferir no comportamento dos condutores. Após análise preliminar dos dados coletados, e tendo em vista que o perfil altimétrico e o CCR dos 2 km anteriores à curva são considerados influentes e utilizados com variáveis de alguns modelos de previsão, a primeira abordagem foi escolhida para este trabalho.

Após a segregação dos dados das três curvas por sentido, foram removidos todos os veículos que não estavam em condição de fluxo livre. O critério adotado para a determinação do estado de fluxo livre foi o *headway* mínimo de 10 segundos, maior que o usualmente encontrado na literatura (entre 4 e 5 segundos), mas que facilita a aplicação de um algoritmo que identifique os registros de cada veículo ao longo das sete estações de medição. Uma análise preliminar dos dados permitiu identificar que a remoção dos veículos no intervalo entre 4 e 10 segundos de *headway* não acarretaria grande diminuição da amostra. O algoritmo de identificação de cada veículo ao longo de cada uma das estações foi implementado pelo autor como uma rotina em VBA no Microsoft Excel.

Embora os dados coletados permitam a identificação de cada veículo nos locais de medição, o número limitado de pontos não permite o cálculo da taxa instantânea de variação da velocidade. Em vez disso, este trabalho utilizará taxas médias de variação, determinadas entre dois pontos. Como convenção, a taxa de variação da velocidade com sinal negativo será chamada de desaceleração, e a taxa de variação de velocidade com sinal positivo será chamada de aceleração. Tal convenção torna-se importante uma vez que diversos trabalhos anteriores tratam estes fenômenos separadamente, ambos com sinal positivo, mas este os analisa conjuntamente.

Os condutores se comportam de maneira bastante variável no que tange à desaceleração e aceleração, o que é demonstrado pela alta dispersão das taxas observadas em campo. Em consequência disso, o método escolhido para a análise do perfil de variação de velocidade neste trabalho é o 85º percentil da desaceleração ou aceleração. A análise conjunta de ambos os fenômenos permite levar em consideração que, mesmo em locais onde se espera que sempre haja desaceleração, como antes de uma curva, pode-se eventualmente verificar a ocorrência de aceleração, e vice-versa. Isto também significa que, para se determinar o 85º percentil da aceleração e da desaceleração, são necessárias duas interpretações dos dados das taxas de variação da velocidade: para a aceleração, de sinal positivo, é utilizado o 85º percentil das taxas de variação da velocidade, e para a desaceleração, é utilizado o 15º percentil das taxas de variação da velocidade medida.

#### **4.4. Avaliação da aderência dos modelos existentes aos dados observados**

Os modelos pré-existent na literatura selecionados para a avaliação de aderência aos dados observados em campo foram todos os estimados com base nas variações individuais de velocidade ( $\Delta_{85V}$ ). A Tabela 2 apresenta os modelos selecionados, bem como suas variáveis explanatórias e os seus coeficientes  $R^2$ .

Parte fundamental da aplicação de qualquer modelo é a correta determinação das variáveis que são utilizadas como parâmetro, bem como do correto significado do resultado expresso por ele. Os modelos selecionados para avaliação neste trabalho podem ser divididos em dois grupos: os criados por Bella (2014) e por Pérez-Zuriaga *et al.* (2010, 2013), que expressam os fenômenos desaceleração ou aceleração como a máxima variação de velocidade medida entre a tangente e a curva; e os criados por Montella *et al.* (2014), que consideram os dados de todo o comprimento analisado, não especificando os locais de início e fim destes fenômenos.

**Tabela 2:** Modelos selecionados para avaliação

Modelo	Variáveis	R <sup>2</sup>
<b>Modelos de previsão da desaceleração</b>		
Pérez-Zuriaga et al. (2010)	Raio	0,70
Pérez-Zuriaga et al. (2010)	CCR <sub>curva</sub>	0,71
Pérez-Zuriaga et al. (2013)	Raio	0,68
Bella (2014)	Raio, V <sub>85 máx</sub>	0,59
Montella et al. (2014)	Raio, CCR <sub>2 km</sub> , aclave equiv.	0,40
<b>Modelos de previsão da aceleração</b>		
Bella (2014)	Raio, V <sub>85 máx</sub>	0,54
Montella et al. (2014)	Raio, aclave equiv., Declive equiv.	0,56

Para a comparação dos resultados de cada modelo, as taxas de variação de velocidade dos veículos foram calculadas separadamente para cada grupo. Para o primeiro, foram utilizadas as equações propostas por Bella (2014):

$$d_i = \frac{v^2_{min\_ta(i)} - v^2_{max\_c(i)}}{2 * D_{d(i)}} \quad (1)$$

$$a_i = \frac{v^2_{min\_c(i)} - v^2_{max\_td(i)}}{2 * D_{a(i)}} \quad (2)$$

onde  $d_i, a_i$  = valor da taxa de aceleração ou desaceleração do veículo  $i$  [m/s<sup>2</sup>];  
 $v^2_{max\_ta(i)}$  = velocidade máxima do veículo  $i$  na tangente de aproximação [m/s];  
 $v^2_{max\_td(i)}$  = velocidade máxima do motorista  $i$  na tangente de afastamento [m/s];  
 $v^2_{min\_c(i)}$  = velocidade mínima do motorista  $i$  dentro da curva [m/s];  
 $D_{d(i)}, D_{a(i)}$  = distância entre os pontos onde começam e terminam a desaceleração e a aceleração, respectivamente [m].

Para o segundo grupo, foi utilizada a equação proposta por Montella *et al.* (2014):

$$a_i, d_i = \frac{v^2_{(i,j+1)} - v^2_{(i,j)}}{2 * D} \quad (3)$$

onde  $d_i, a_i$  = valor da taxa de aceleração ou desaceleração do veículo  $i$  [m/s<sup>2</sup>];  
 $v_{(i,j)}$  = velocidade do veículo  $i$  no ponto  $j$  onde a desaceleração ou aceleração começa [m/s];  
 $v_{(i,j+1)}$  = velocidade do veículo  $i$  no ponto  $j + 1$  onde a desaceleração ou aceleração termina [m/s];  
 $D$  = distância entre os pontos  $j$  e  $j + 1$  [m].

O critério para determinação dos locais de início e fim da desaceleração e da aceleração utilizado na equação proposta por Montella *et al.* (2014) é o seguinte: a desaceleração começa a ser medida no ponto onde a taxa de variação de velocidade passa a ser menor do que -0,2 m/s<sup>2</sup>, e termina onde ela o deixa de ser, já a aceleração começa a ser medida onde a taxa variação passa ser maior do que 0,2 m/s<sup>2</sup> e termina onde ela o deixa de ser.

A avaliação da aderência dos dados medidos em campo aos modelos de previsão de taxas de desaceleração e aceleração propostos pela literatura é realizada pela comparação dos EPMA's (erro percentual médio absoluto, em inglês *MAPE*) e as REQMs (raiz do erro quadrático médio,

em inglês *RMSE*) de cada modelo. O EPMA e o REQM são definidos, respectivamente, pelas equações 4 e 5. A Tabela 4 apresenta os erros calculados para cada modelo de previsão.

$$EPMA = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|a_{85, d_{85\text{observado},i}} - a_{85, d_{85\text{previsto},i}}|}{a_{85, d_{85\text{observado},i}}}}{\text{Número de observações}} \quad (4)$$

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_{85, d_{85\text{observado},i}} - a_{85, d_{85\text{previsto},i}})^2}{\text{Número de observações}}} \quad (5)$$

É importante notar que as taxas utilizadas para traçar os perfis de variação de velocidade das curvas não são as mesmas utilizadas para a avaliação dos modelos de previsão. Os modelos são desenvolvidos para prever uma taxa de desaceleração ou aceleração constante antes e depois da curva, a ser utilizada na elaboração do perfil de velocidade da curva e na avaliação da sua consistência geométrica. Os perfis de variação de velocidade elaborados neste trabalho, por outro lado, utilizam os dados observados em campo entre todas as estações de medição, e são úteis na identificação de padrões que levem a uma melhor compreensão do comportamento dos condutores ao longo das curvas, aspecto importante na fase de projeto de novas rodovias e na avaliação da segurança viária de trechos existentes.

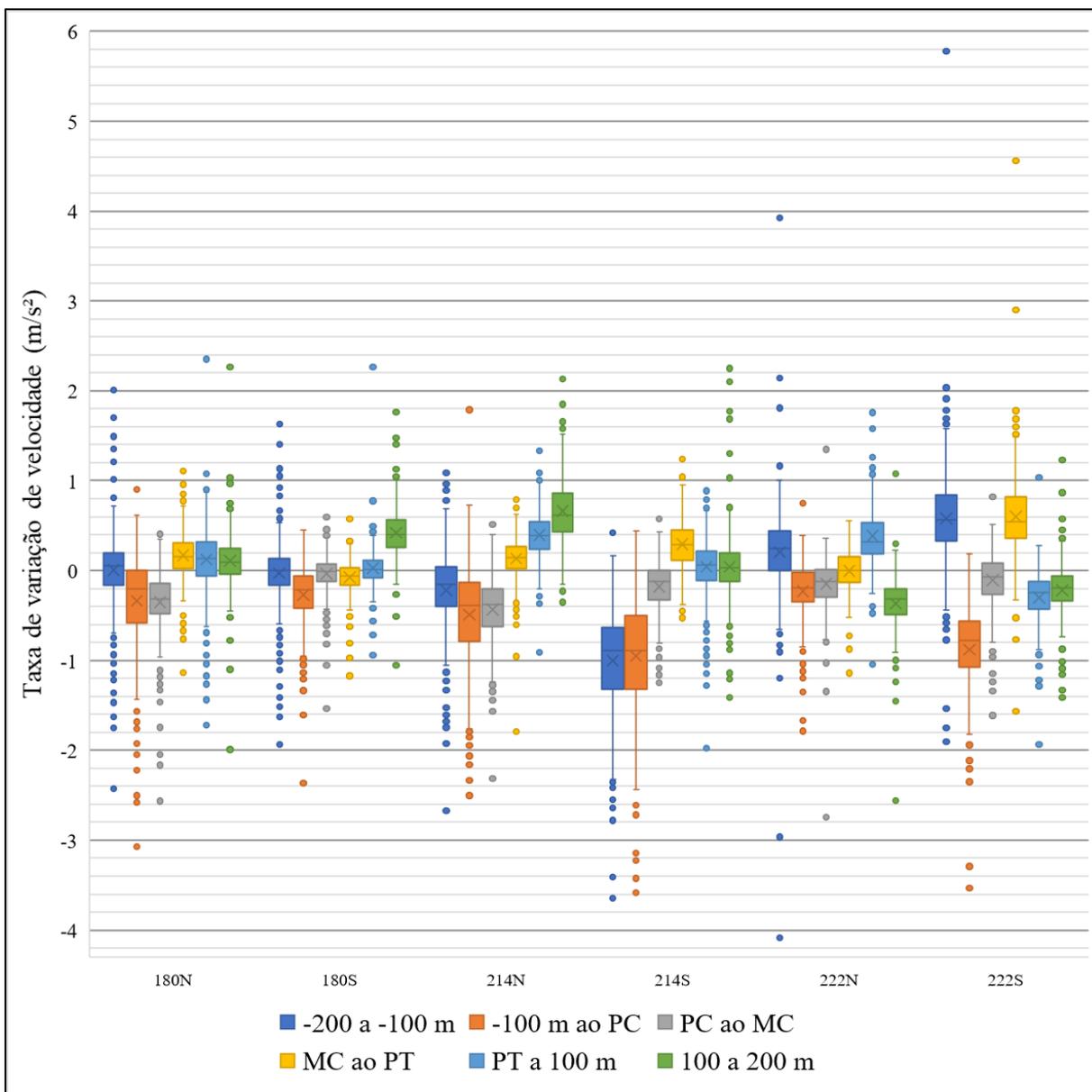
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentadas as análises realizadas sobre os perfis de variação de velocidade dos veículos observados em campo, bem como o estudo da aderência dos dados observados aos modelos pré-existentes na literatura. Os resultados dos cálculos das taxas de variação de velocidade são apresentados no Apêndice A.

A quantidade de veículos identificada pela rotina em VBA em todos os sensores para cada curva analisada é exibida na Tabela 3. A Figura 3 apresenta as distribuições das taxas de variação de velocidade entre as estações de medição calculadas com base nos veículos identificados para ambos os sentidos das três curvas.

**Tabela 3:** Resumos dos dados de veículos de passeio coletados e processados

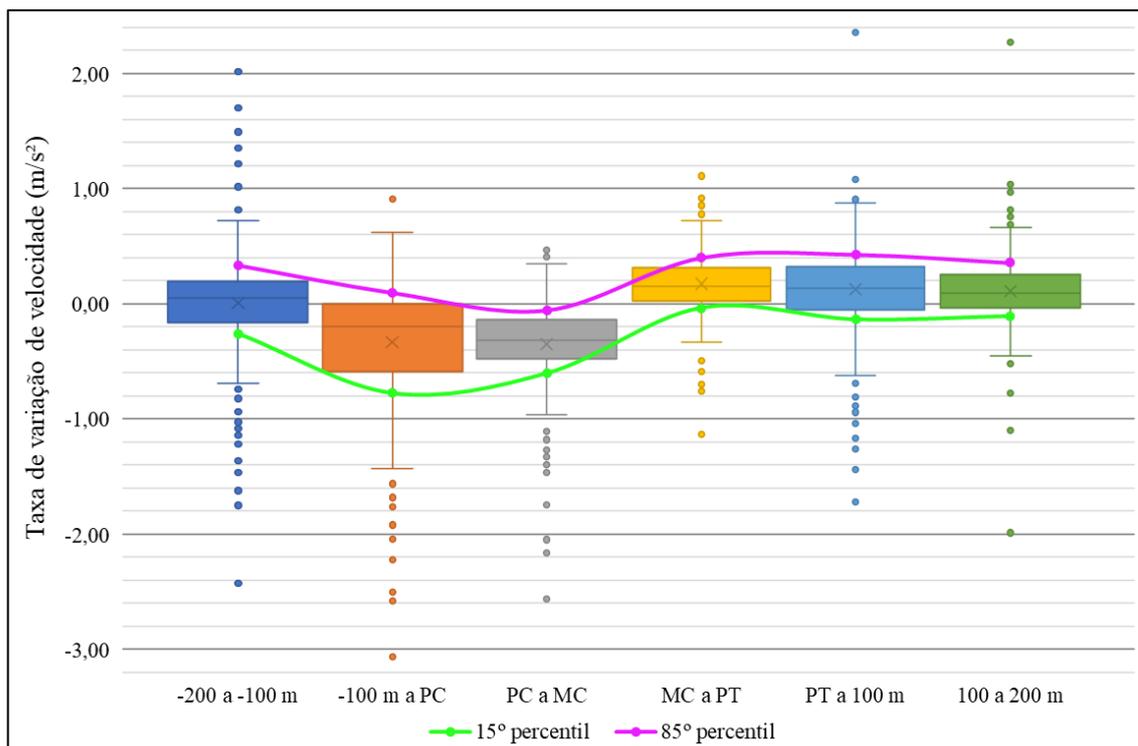
Curva	Média de veículos em fluxo livre registrados por estação	Veículos acompanhados pelo algoritmo por todas as estações
<b>180N</b>	765,00	532
<b>180S</b>	747,14	497
<b>214N</b>	791,28	445
<b>214S</b>	767,57	483
<b>222N</b>	313,71	252
<b>222S</b>	369,00	279



**Figura 3:** Diagramas de caixa da dispersão das taxas de variação de velocidade observadas em campo entre os pontos de coleta nas curvas

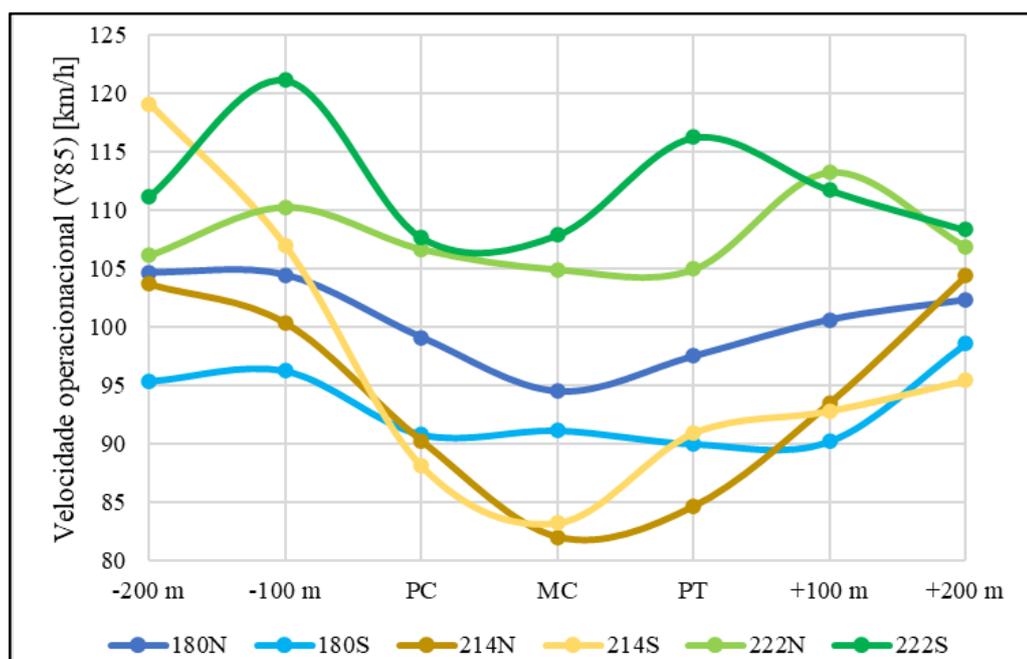
### 5.1. Análise dos perfis de variação de velocidade

Como descrito anteriormente, a determinação do 85° percentil da desaceleração e da aceleração se deu pelo cálculo dos 15° e 85° percentis das taxas de variação da velocidade. Tal interpretação é necessária visto que ambos os dados foram analisados conjuntamente. Desta maneira, para traçar o perfil de variação de velocidade, foram considerados os valores do 15° percentil (desaceleração) na tangente de aproximação e na primeira metade da curva, locais onde predomina o comportamento de desaceleração, e os valores do 85° percentil (aceleração) na segunda metade da curva e na tangente de afastamento, onde predomina o comportamento de aceleração. A localização do ponto de transição de comportamento adotada, no meio da curva, é justificada pela análise do gráfico de ambos os percentis, exibido na Figura 4, onde há uma perceptível mudança de comportamento antes e depois deste ponto.



**Figura 4:** 15° e 85° percentis das taxas de variação de velocidade para a curva 180N

O gráfico das velocidades operacionais observadas nas estações de medição, apresentado na Figura 5, sugere que curvas com raios menores, mesmo que compostas com curva de transição (como é o caso da curva 214, com raio de 160 m e transição de 60 m), exigem dos motoristas grande redução na velocidade, enquanto curvas de raio maior (como a curva 222, de raio 1003 m) apresentam maiores velocidades e menores variações, e estas tendem a ocorrer mais próximas da curva.



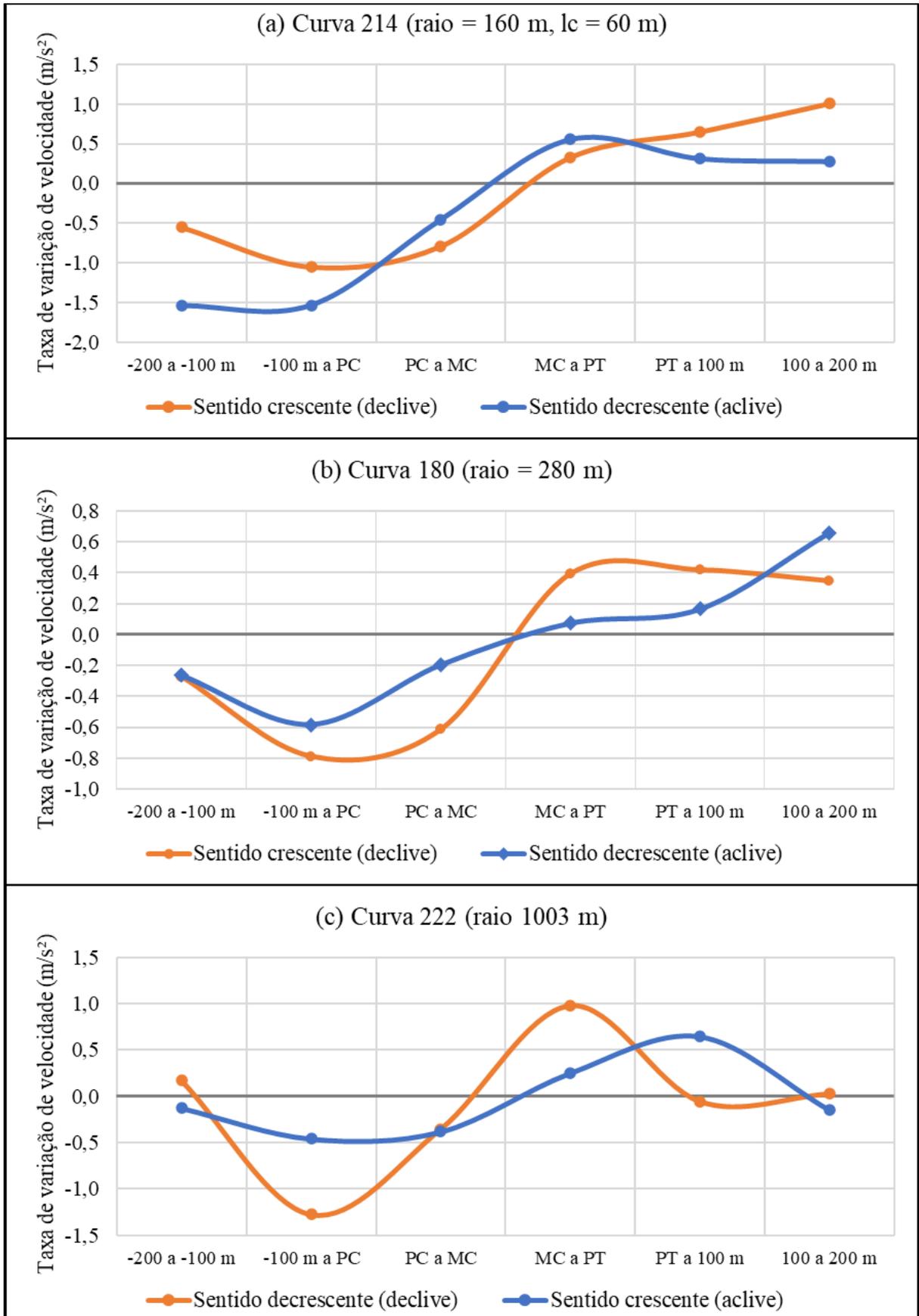
**Figura 5:** Variação da velocidade operacional observada nas estações nas curvas analisadas

Observando os perfis de variação de velocidade obtidos, apresentados na Figura 6, percebe-se que há importantes diferenças entre o comportamento dos condutores em cada sentido de tráfego de uma mesma curva. Essa constatação sugere que fatores como o greide e o comprimento das tangentes de aproximação e afastamento pode ter influência nas taxas de desaceleração e aceleração, e conseqüentemente que a utilização apenas do raio ou do CCR da curva como variável explicativa em modelos de previsão pode ser um fator que limite a aderência destes a dados coletados em campo.

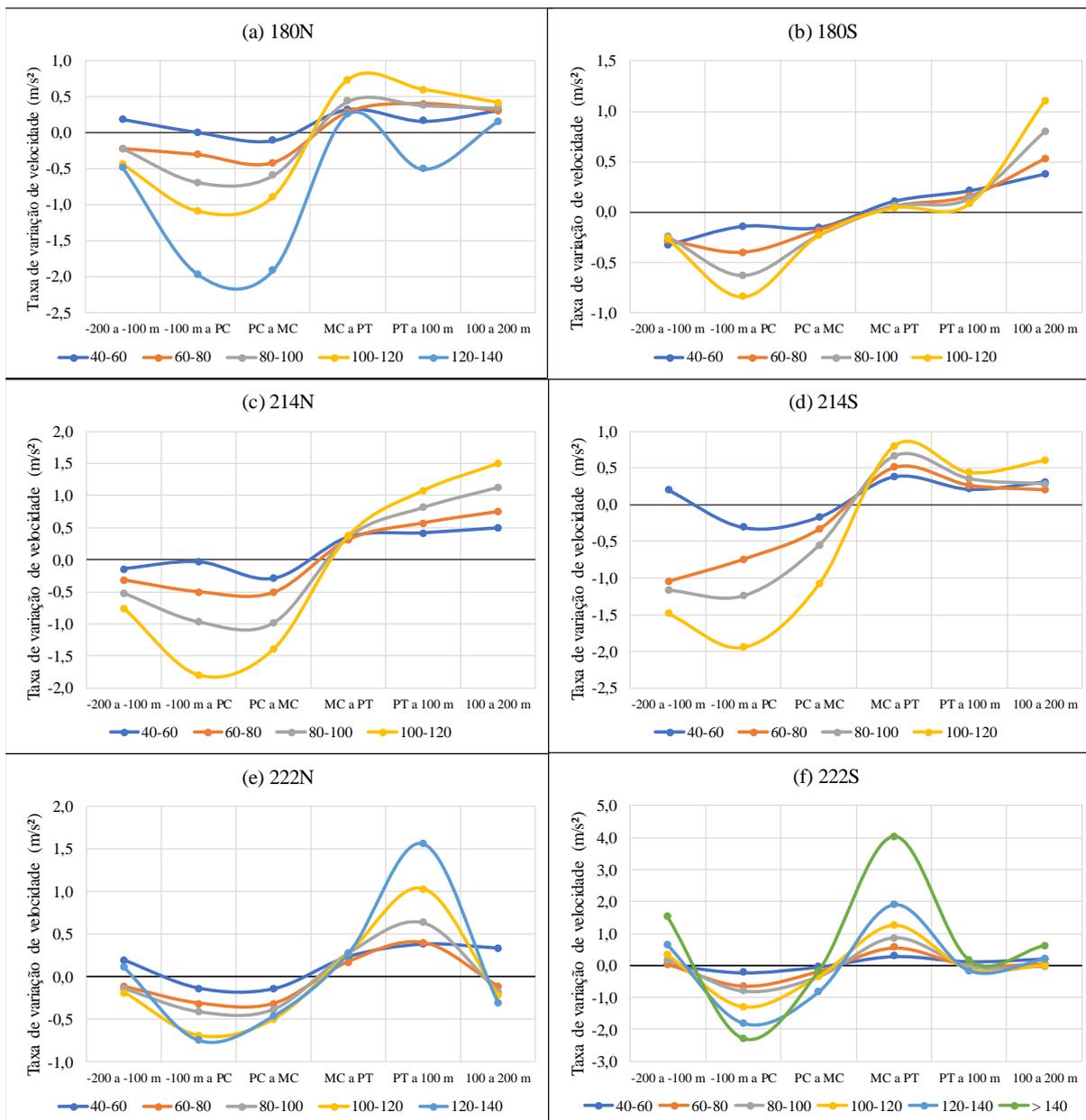
A diferença mais perceptível entre os perfis dos dois sentidos se dá da curva 222, que tem raio amplo e declividade praticamente constante ao longo de todo o trecho analisado. Esta curva apresenta taxas de desaceleração antes da curva mais de duas vezes maiores no sentido decrescente, em declive, do que no crescente, em aclave, mesmo que a rampa seja pequena, de 1,58%. Esta característica sugere que elementos geométricos menos demandantes, como curvas de raios amplos ou longas tangentes, aumentam a variabilidade de comportamento dos condutores, enquanto elementos mais críticos, como curvas de pequeno raio, compelem os condutores a adotar um padrão semelhante de comportamento.

A análise conjunta dos perfis de variação de velocidade e das características planialtimétricas das curvas, entretanto, não permite que se identifique uma relação imediata entre alguma destas características e as taxas de desaceleração e aceleração observadas. Para isto, é recomendado que se realize uma análise estatística multivariada dos dados coletados.

Analisando os perfis de variação de velocidade segregados por faixa de velocidade inicial (velocidade do veículo a 200 m do início da curva) apresentados na Figura 7, percebe-se que condutores com alta velocidade inicial tendem a praticar taxas de desaceleração e aceleração maiores, tanto nas curvas de maior quanto nas de menor raio. As taxas de desaceleração maiores são esperadas, uma vez que é necessária uma maior redução da velocidade para percorrer a curva com segurança, e as taxas de aceleração igualmente (ou até mais) altas sugerem que estes condutores apresentam comportamento similar ao longo de todo o trecho, o que pode gerar situações potencialmente perigosas. Os condutores com baixas velocidades iniciais, por outro lado, tendem a praticar taxas próximas de zero, o que também é esperado, visto que estas proporcionam condições seguras no decorrer da curva.



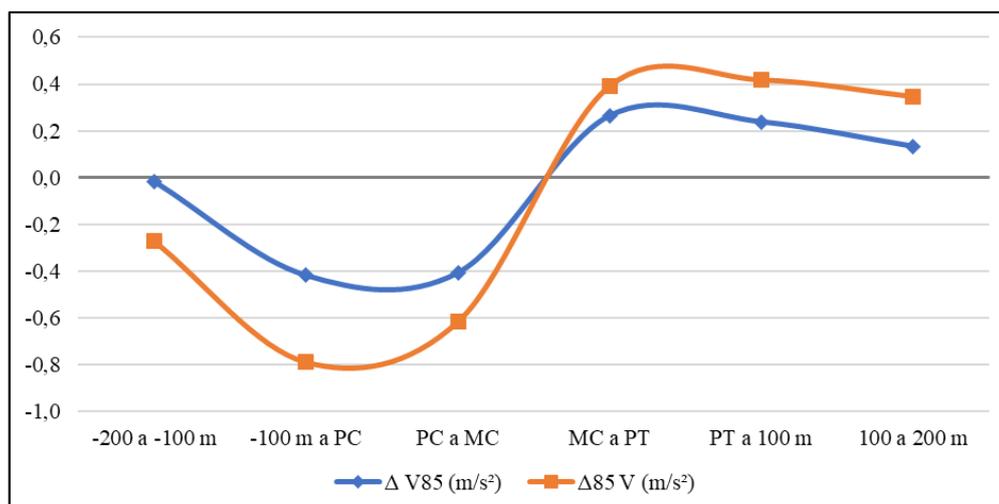
**Figura 6:** Perfil de variação de velocidade das curvas analisadas



**Figura 7:** Taxas de variação de velocidade por grupos de velocidade inicial

## 5.2. Relação entre $\Delta_{85V}$ e $\Delta V_{85}$

Diversos autores descrevem a relação entre a variação da velocidade operacional entre dois pontos ( $\Delta V_{85}$ ) e o 85º percentil das variações de velocidade entre dois pontos ( $\Delta_{85V}$ ). Em geral, a literatura relata que a  $\Delta V_{85}$  fornece resultados mais conservadores do que  $\Delta_{85V}$ , subestimando as taxas efetivamente praticadas pelos motoristas, o que a torna inadequada para traçar o perfil de velocidades de um segmento. A Figura 8 apresenta a comparação entre as taxas de variação de velocidade calculadas pela  $\Delta V_{85}$  e pela  $\Delta_{85V}$  para umas das curvas analisadas, onde se observa claramente esta relação.



**Figura 8:** Comparação entre as taxas calculadas pela  $\Delta_{85}V$  e pela  $\Delta V_{85}$  para a curva 180N

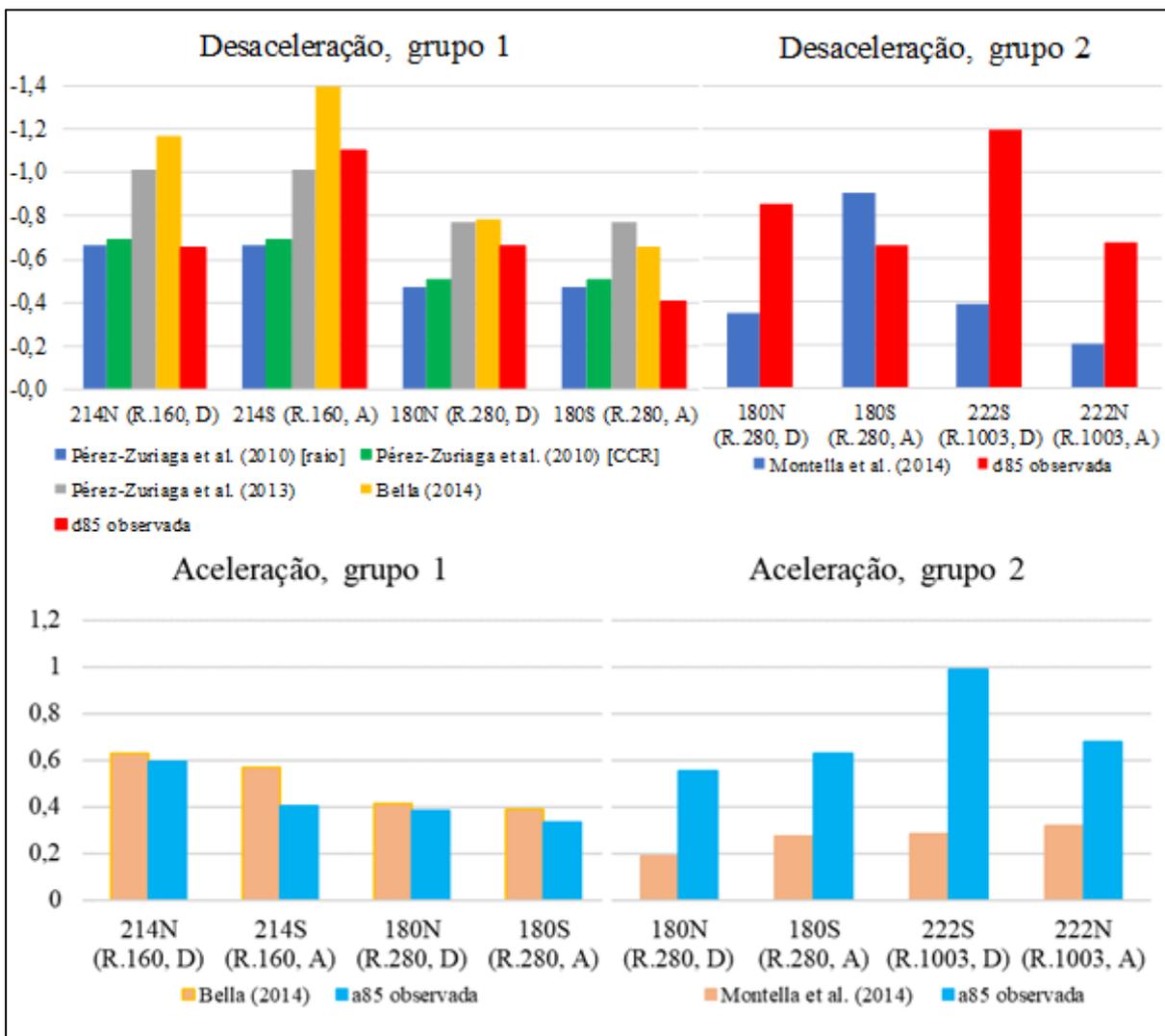
### 5.3. Avaliação da aderência dos dados aos modelos existentes

Os indicadores erro percentual médio absoluto (EPMA) e raiz do erro quadrático médio (REQM) calculados para as curvas analisadas. Entretanto, devido ao baixo número de curvas, e ao fato de que nem todos os modelos se adequam a todas as curvas (cada modelo se aplicou a apenas duas curvas, ou quatro conjuntos direcionais), estes dados devem ser avaliados com cuidado.

**Tabela 4:** Comparação dos EPMA e REQMs de cada modelo

Modelo	Amostra	EPMA	REQM
<b>Modelos de previsão da desaceleração</b>			
Pérez-Zuriaga et al. (2010) [raio]	4	21,71%	24,08%
Pérez-Zuriaga et al. (2010) [CCR]	4	22,87%	22,68%
Pérez-Zuriaga et al. (2013)	4	42,74%	26,67%
Bella (2014)	4	46,96%	32,92%
Montella et al. (2014)	4	58,08%	54,23%
<b>Modelos de previsão da aceleração</b>			
Bella (2014)	4	17,85%	8,99%
Montella et al. (2014)	4	61,58%	46,92%

A análise dos indicadores calculados permite inferir que, para a previsão das taxas de desaceleração, os modelos criado por Pérez-Zuriaga *et al.* (2010), tanto em função do CCR da curva individual como do raio da curva apresentaram os menores erros. Os resultados de ambos foram semelhantes, o que é esperado, visto que foram estimados a partir do mesmo conjunto de dados, mas o baseado no CCR forneceu previsões ligeiramente melhores, o que pode indicar que o grau de curvatura tem sim influência sobre as taxas de desaceleração. A Figura 9 apresenta a comparação entre os resultados de cada modelo e as taxas de desaceleração e aceleração observadas em campo calculadas de acordo com os critérios de cada grupo de modelos.



**Figura 9:** Comparação entre as taxas de desaceleração e aceleração previstas e observadas para cada grupo de modelos (em  $m/s^2$ ; R = raio, em m; A = aclave, e D = declive)

Dos dois modelos analisados para previsão das taxas de aceleração, o que melhor se adere aos dados medidos em campo é o estimado por Bella (2014). Os modelos propostos por este autor foram desenvolvidos com base em dados coletados em um simulador de direção, e a boa aderência aos dados observados em campo analisados neste trabalho sugere que esta ferramenta pode gerar importantes subsídios para o estudo das taxas usuais de aceleração de veículos de passeio.

Fica visível a partir da análise dos gráficos da Figura 9 que as taxas de desaceleração e aceleração observadas calculadas pelos critérios dos grupos 1 e 2 são consideravelmente diferentes, com as do segundo usualmente maiores. Isso é devido à diferença no critério para determinar onde começa e termina de ocorrer o fenômeno de desaceleração e aceleração. O critério do segundo grupo, de utilizar o valor limite de  $0,2 m/s^2$  para detectar estes locais pode não ser adequado para uma análise utilizando um número relativamente baixo de estações de medição de velocidade como a realizada neste trabalho. O autor, entretanto, considera válida a inclusão deste grupo, composto unicamente pelos modelos propostos por Montella *et al.* (2014), por estes serem os únicos, até onde o autor tem conhecimento, a levar em consideração as

características altimétricas da curva, as quais, tendo em vista a análise realizada na seção 5.1 deste trabalho, parecem influir nas taxas de variação de velocidade praticadas pelos condutores.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por finalidade contribuir para o entendimento do comportamento dos condutores brasileiros no que tange às taxas usuais de aceleração e desaceleração praticadas, a partir da análise de perfis de variação de velocidade, bem como avaliar os modelos de previsão dessas taxas existentes na literatura que melhor se aderem aos dados observados em campo.

A análise dos perfis de variação de velocidade permite entender com maior clareza o comportamento dos condutores ao longo de curvas. Condutores com maiores velocidades iniciais tendem a praticar taxas mais elevadas de aceleração e desaceleração, o que pode indicar comportamentos de risco, e curvas de menores raios tendem a compelir os condutores a adotar padrões semelhantes de comportamento. Embora tenham comportamento similar, os perfis de variação de velocidade para cada sentido das curvas têm diferenças importantes, e a análise conjunta destes perfis e dos dados planialtimétricos dos segmentos sob análise não permite que se identifique uma relação imediata entre alguma destas características e as taxas de desaceleração e aceleração observadas.

A avaliação dos modelos pré-existentes na literatura determinou que as equações criadas por Pérez-Zuriaga *et al.*, em 2010, para previsão das taxas de desaceleração são as que melhor se aderem aos dados observados em campo, e que o modelo criado Bella em 2014 pode representar com satisfatória acurácia o comportamento de aceleração dos motoristas brasileiros. É importante ressaltar, entretanto, que o pequeno número de curvas sob análise e, por consequência, de variações de geometria para comparação dos modelos, faz com que estes dados devam ser analisados com cuidado.

Os perfis de variação de velocidade aqui analisados podem ser utilizados como referência quando da criação de modelos de previsão estimados com base em dados coletados em rodovias brasileiras, uma vez que o alto número de condutores registrado permite o cálculo com satisfatória precisão dos indicadores operacionais da via. Surge como sugestão para trabalhos futuros a possibilidade da utilização de simuladores de direção em pesquisas relacionadas aos perfis de aceleração e desaceleração, uma vez que estudos com este tipo de equipamento vêm sendo realizados com bons resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamira, A. L., Garcia, Y., Echaveguren, T., e Marcet, J. E. (2014) Acceleration and deceleration patterns on horizontal curves and their tangents on two-lane rural roads. *93rd Transportation Research Board Meeting* (p. 15). Washington, D.C.
- Bella, F. (2007) Parameters for Evaluation of Speed Differential. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2023(1), 37–43. doi:10.3141/2023-05
- Bella, F. (2014) Driver Performance Approaching and Departing Curves: Driving Simulator Study. *Traffic Injury Prevention*, 15(3), 310–318. doi:10.1080/15389588.2013.813022
- Bertola, M. A., Balk, S. A., e Shurbutt, J. (2012) *Evaluating Driver Performance on Rural Two-Lane Horizontal Curved Roadways Using a Driving Simulator (Report No. FHWA-HRT-12-073)*. McLean, VA.
- Castro, M., Sánchez, J. A., Vaquero, C. M., Iglesias, L., e Rodríguez-Solano, R. (2008) Automated GIS-based system for speed estimation and highway safety evaluation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 22(5), 325–331. doi:10.1061/(ASCE)0887-3801(2008)22:5(325)
- d’Azevedo, Z. S. (2020) *Elaboração de modelo da previsão da velocidade operacional de rodovias em pistas simples considerando os veículos de carga*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DAER. (1991) *Normas de Projetos Rodoviários*. (Vol. 1). Porto Alegre.

- Echaveguren, T., e Basualto, J. (2003) El análisis de aceleraciones en la consistencia de elementos simples de alineamientos horizontales. *XI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte* (p. 391–402). Santiago.
- Echaveguren, T., Henríquez, C., e Jiménez-Ramos, G. (2020) Longitudinal Acceleration Models for Horizontal Reverse Curves of Two-Lane Rural Roads. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 15(1), 103–125. doi:10.7250/bjrbe.2020-15.463
- Fitzpatrick, K., Elefteriadou, L., Harwood, D. W., Collins, J. M., McFadden, J., Anderson, I. B., Krammes, R. A., Irizarry, N., Parma, K. D., Bauer, K. M., e Passetti, K. (2000) *Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways (Report No. FHWA-RD-99-171)*. Washington, D.C.
- Fitzpatrick, K., Wooldridge, M. D., Tsimhoni, O., Collins, J. M., Green, P., Bauer, K. M., Parma, K. D., Koppa, R., Harwood, D. W., Anderson, I. B., Krammes, R. A., e Poggioli, B. (2000) *Alternative design consistency rating methods for two-lane rural highways (Report No. FHWA-RD-99-172)*. Washington, D.C.
- García, D. S. P. (2008) *Método para análise da consistência geométrica de rodovias brasileiras de pista simples*. Univesidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Hashim, I. H., Abdel-Wahed, T. A., e Moustafa, Y. (2016) Toward an operating speed profile model for rural two-lane roads in Egypt. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 3(1), 82–88. doi:10.1016/j.jtte.2015.09.005
- Hirsh, M. (1987) Probabilistic Approach to Consistency in Geometric Design. *Journal of Transportation Engineering*, 113(3), 268–276. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(1987)113:3(268)
- Hu, W., e Donnell, E. T. (2010) Models of acceleration and deceleration rates on a complex two-lane rural highway: Results from a nighttime driving experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 13(6), 397–408. doi:10.1016/j.trf.2010.06.005
- Lamm, R., Choueiri, E. M., e Hayward, J. C. (1988) Tangent as an independent design element. *Transportation Research Record*, (1195), 123–131.
- Misaghi, P., e Hassan, Y. (2005) Modeling Operating Speed and Speed Differential on Two-Lane Rural Roads. *Journal of Transportation Engineering*, 131(6), 408–418. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:6(408)
- Montella, A., Pariota, L., Galante, F., Imbriani, L. L., e Mauriello, F. (2014) Prediction of Drivers' Speed Behavior on Rural Motorways Based on an Instrumented Vehicle Study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2434(1), 52–62. doi:10.3141/2434-07
- Ng, J. C. W., e Sayed, T. (2004) Effect of geometric design consistency on road safety. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31(2), 218–227. doi:10.1139/103-090
- Pérez-Zuriaga, A. M., Camacho-Torregrosa, F. J., e García, A. G. (2013) Tangent-to-Curve Transition on Two-Lane Rural Roads Based on Continuous Speed Profiles. *Journal of Transportation Engineering*, 139(11), 1048–1057. doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000583
- Pérez-Zuriaga, A. M., García, A. G., Camacho-Torregrosa, F. J., e D'Attoma, P. (2010) Modeling Operating Speed and Deceleration on Two-Lane Rural Roads with Global Positioning System Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2171(1), 11–20. doi:10.3141/2171-02
- Xu, J., Yang, K., Zhou, J., Wang, X., e Shao, Y.-M. (2019) Longitudinal acceleration of vehicles on complex mountain roads. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 172(5), 249–263. doi:10.1680/jtran.16.00032

**APÊNDICE A – Cálculo das taxas de variação de velocidade dos veículos observados**

Curva	Velocidades operacionais (V85) [km/h]							Taxas de variação de velocidade observadas [m/s²]						
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	Ac. 1-2	Ac. 2-3	Ac. 3-4	Ac. 4-5	Ac. 5-6	Ac. 6-7	
180N	91,929	91,927	87,174	82,552	84,729	86,433	87,983	0,004	-0,337	-0,351	0,170	0,124	0,107	
Média	41,210	53,100	47,010	47,190	45,520	33,600	31,230	-2,431	-3,071	-2,565	-1,135	-1,722	-1,991	
Min	144,390	147,150	131,270	124,210	126,560	130,010	132,780	2,013	0,904	0,464	1,106	2,353	2,266	
σ	12,906	13,328	12,451	11,820	12,758	13,868	14,082	0,411	0,504	0,321	0,247	0,345	0,285	
15 percentil	-	-	-	-	-	-	-	-0,272	-0,788	-0,616	-0,048	-0,149	-0,121	
85 percentil	104,705	104,483	99,163	94,565	97,564	100,668	102,364	0,324	0,084	-0,068	0,389	0,417	0,345	
<b>Veículo</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>V4</b>	<b>V5</b>	<b>V6</b>	<b>V7</b>	<b>Ac. 1-2</b>	<b>Ac. 2-3</b>	<b>Ac. 3-4</b>	<b>Ac. 4-5</b>	<b>Ac. 5-6</b>	<b>Ac. 6-7</b>	
1	100,770	98,740	93,840	87,790	96,290	101,480	101,300	-0,156	-0,364	-0,482	0,686	0,396	-0,014	
2	94,950	88,740	78,150	72,720	77,310	79,730	82,600	-0,440	-0,682	-0,359	0,302	0,147	0,180	
3	81,570	80,670	75,530	68,960	72,140	79,720	82,590	-0,056	-0,310	-0,416	0,197	0,444	0,180	
4	89,490	89,390	92,600	86,450	87,050	90,080	91,620	-0,007	0,225	-0,483	0,046	0,207	0,108	
5	94,080	99,500	99,960	98,980	100,930	104,460	109,800	0,405	0,035	-0,085	0,171	0,280	0,441	
6	110,640	111,050	108,180	98,460	108,180	106,510	112,760	0,035	-0,243	-0,881	0,881	-0,138	0,529	
7	98,740	98,170	96,050	87,390	89,330	90,750	91,220	-0,043	-0,159	-0,696	0,150	0,099	0,033	
8	94,480	98,170	97,320	90,150	96,440	97,420	99,890	0,274	-0,064	-0,589	0,515	0,073	0,188	
9	108,610	105,940	102,040	92,880	101,330	107,510	114,680	-0,221	-0,313	-0,783	0,719	0,498	0,615	
10	100,170	98,150	86,380	81,580	85,750	90,640	98,060	-0,155	-0,838	-0,353	0,306	0,333	0,540	
11	100,610	105,040	90,380	79,730	83,750	89,030	92,910	0,351	-1,105	-0,794	0,288	0,352	0,272	
12	85,210	88,270	91,560	85,060	88,480	90,910	89,660	0,205	0,228	-0,503	0,260	0,168	-0,087	
13	101,670	107,030	97,730	90,600	94,410	98,150	101,600	0,432	-0,735	-0,589	0,309	0,278	0,266	
14	80,540	83,140	85,820	83,180	87,100	90,570	91,890	0,164	0,175	-0,196	0,293	0,238	0,093	
15	91,060	90,730	87,880	84,020	88,670	87,220	93,180	-0,023	-0,196	-0,291	0,352	-0,098	0,415	
16	86,360	85,640	86,500	79,090	78,930	85,460	88,830	-0,048	0,057	-0,538	-0,011	0,414	0,227	
17	101,530	102,740	106,260	98,220	101,050	105,840	109,530	0,095	0,284	-0,721	0,247	0,382	0,307	
18	116,310	125,090	120,980	116,150	123,020	119,080	125,610	0,818	-0,390	-0,502	0,720	-0,368	0,616	
19	106,690	100,530	101,970	96,140	104,930	103,820	109,490	-0,492	0,112	-0,506	0,775	-0,089	0,467	
20	123,450	120,270	109,720	103,000	112,690	115,620	122,040	-0,299	-0,936	-0,627	0,916	0,258	0,589	
21	92,830	92,670	88,520	85,100	84,300	83,390	89,730	-0,011	-0,290	-0,260	-0,059	-0,059	0,423	
22	103,450	106,310	100,890	97,440	99,360	98,580	104,440	0,231	-0,433	-0,300	0,166	-0,060	0,459	
∴														
532	104,680	103,810	105,630	98,000	103,560	107,420	112,050	-0,070	0,147	-0,681	0,491	0,314	0,392	

Curva	Velocidades operacionais (V85) [km/h]							Taxas de variação de velocidade observadas [m/s <sup>2</sup> ]						
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	Ac. 1-2	Ac. 2-3	Ac. 3-4	Ac. 4-5	Ac. 5-6	Ac. 6-7	
180S	82,159	81,460	77,172	76,681	75,660	76,152	82,704	-0,031	-0,270	-0,033	-0,075	0,025	0,423	
Média	39,270	29,020	26,840	39,050	39,570	40,390	30,210	-1,933	-2,364	-1,536	-1,172	-0,943	-1,056	
Min	128,690	128,250	122,170	124,110	126,850	130,150	146,640	1,626	0,454	0,594	0,571	2,318	1,761	
σ	13,153	14,396	13,714	13,855	13,564	13,151	15,101	0,333	0,315	0,200	0,170	0,225	0,275	
15 percentil	-	-	-	-	-	-	-	-0,265	-0,584	-0,197	-0,225	-0,141	0,196	
85 percentil	95,414	96,276	90,858	91,204	90,052	90,296	98,602	0,203	0,010	0,144	0,073	0,165	0,660	
<b>Veículo</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>V4</b>	<b>V5</b>	<b>V6</b>	<b>V7</b>	<b>Ac. 1-2</b>	<b>Ac. 2-3</b>	<b>Ac. 3-4</b>	<b>Ac. 4-5</b>	<b>Ac. 5-6</b>	<b>Ac. 6-7</b>	
1	90,930	103,220	98,510	98,520	94,340	91,620	96,800	0,921	-0,367	0,001	-0,370	-0,195	0,377	
2	96,310	98,800	90,520	91,090	86,890	87,520	95,590	0,187	-0,605	0,048	-0,343	0,042	0,570	
3	99,350	88,290	77,190	73,870	73,260	71,550	74,060	-0,801	-0,709	-0,230	-0,041	-0,096	0,141	
4	83,340	86,870	84,340	83,660	83,580	80,650	88,230	0,232	-0,167	-0,052	-0,006	-0,186	0,494	
5	72,080	72,120	70,300	68,470	67,120	65,980	70,180	0,002	-0,100	-0,117	-0,084	-0,059	0,221	
6	82,360	81,290	78,400	77,840	76,840	76,290	80,670	-0,068	-0,178	-0,040	-0,071	-0,032	0,265	
7	113,160	106,130	95,640	95,340	92,830	93,540	105,270	-0,595	-0,817	-0,026	-0,217	0,051	0,900	
8	92,830	96,710	93,160	93,520	92,280	89,930	96,720	0,284	-0,260	0,031	-0,106	-0,165	0,489	
9	73,640	69,080	67,700	67,800	67,050	69,130	69,720	-0,251	-0,073	0,006	-0,046	0,109	0,032	
10	71,380	74,320	68,950	69,850	69,680	67,890	73,920	0,165	-0,297	0,057	-0,011	-0,095	0,330	
11	98,860	99,740	93,970	96,150	94,160	93,800	103,810	0,067	-0,431	0,190	-0,174	-0,026	0,763	
12	75,140	78,550	77,230	77,080	77,480	75,760	83,870	0,202	-0,079	-0,011	0,028	-0,102	0,499	
13	83,140	82,590	79,390	78,190	75,870	77,090	83,320	-0,035	-0,200	-0,087	-0,164	0,072	0,386	
14	89,800	92,080	83,080	82,720	82,070	83,240	88,080	0,160	-0,608	-0,027	-0,049	0,075	0,320	
15	87,450	90,880	84,640	84,720	83,200	78,410	81,160	0,236	-0,423	0,006	-0,117	-0,299	0,169	
16	106,380	109,330	106,320	105,230	101,830	100,470	111,340	0,246	-0,250	-0,106	-0,323	-0,106	0,888	
17	92,550	96,480	90,890	92,730	90,790	89,830	96,100	0,287	-0,404	0,155	-0,164	-0,067	0,450	
18	85,080	85,850	83,440	81,930	82,000	79,370	87,290	0,051	-0,157	-0,115	0,005	-0,164	0,509	
19	81,020	81,270	81,470	83,800	83,040	84,340	93,090	0,016	0,013	0,177	-0,058	0,084	0,599	
20	64,890	71,730	70,350	68,060	69,360	68,580	71,700	0,361	-0,076	-0,146	0,082	-0,042	0,169	
21	77,890	81,220	76,810	76,250	76,180	73,470	81,160	0,204	-0,269	-0,039	-0,005	-0,156	0,459	
22	84,330	83,130	80,300	79,310	81,160	80,700	87,790	-0,078	-0,178	-0,073	0,136	-0,029	0,461	
∴														
497	77,540	79,220	72,660	72,060	73,830	74,980	80,580	0,102	-0,384	-0,040	0,119	0,066	0,336	

Curva	Velocidades operacionais (V85) [km/h]										Taxas de variação de velocidade observadas [m/s <sup>2</sup> ]						
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	Ac. 1-2	Ac. 2-3	Ac. 3-4	Ac. 4-5	Ac. 5-6	Ac. 6-7				
214N	87,167	84,211	76,902	70,530	72,619	79,097	88,936	-0,218	-0,492	-0,432	0,133	0,394	0,661				
Média	22,690	39,100	36,350	36,310	37,940	41,650	43,870	-2,674	-2,503	-2,311	-1,794	-0,908	-0,353				
Min	157,340	142,230	121,290	105,560	109,650	120,920	139,880	1,087	1,788	0,512	0,792	1,374	2,132				
σ	18,150	16,480	13,210	11,312	11,543	13,075	15,233	0,429	0,553	0,356	0,228	0,267	0,353				
15 percentil	-	-	-	-	-	-	-	-0,552	-1,054	-0,795	-0,050	0,166	0,340				
85 percentil	103,740	100,400	90,284	82,036	84,668	93,548	104,442	0,125	0,015	-0,087	0,324	0,645	1,003				
<b>Veículo</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>V4</b>	<b>V5</b>	<b>V6</b>	<b>V7</b>	<b>Ac. 1-2</b>	<b>Ac. 2-3</b>	<b>Ac. 3-4</b>	<b>Ac. 4-5</b>	<b>Ac. 5-6</b>	<b>Ac. 6-7</b>				
1	73,800	71,570	69,790	62,670	62,670	67,160	74,670	-0,125	-0,097	-0,413	0,000	0,225	0,411				
2	80,010	70,500	68,160	63,240	62,340	69,740	78,780	-0,552	-0,125	-0,283	-0,050	0,377	0,518				
3	74,160	72,350	71,160	69,900	69,820	77,420	82,770	-0,102	-0,066	-0,078	-0,005	0,432	0,331				
4	69,060	69,530	70,790	67,210	68,620	71,030	81,560	0,025	0,068	-0,217	0,084	0,130	0,620				
5	83,250	79,680	79,400	75,040	75,140	83,230	89,210	-0,224	-0,017	-0,295	0,007	0,494	0,398				
6	84,810	80,420	76,310	71,780	70,010	72,290	81,330	-0,280	-0,249	-0,294	-0,110	0,125	0,536				
7	75,340	72,040	74,380	71,070	71,070	74,660	82,680	-0,188	0,132	-0,211	0,000	0,202	0,487				
8	96,740	90,650	71,080	67,510	71,730	80,240	94,290	-0,440	-1,221	-0,217	0,258	0,499	0,946				
9	86,180	83,890	80,110	74,040	75,850	81,620	87,150	-0,150	-0,239	-0,410	0,119	0,351	0,360				
10	76,200	71,950	64,280	57,750	60,550	65,030	75,720	-0,243	-0,403	-0,349	0,145	0,217	0,580				
11	84,110	79,030	72,350	67,000	70,810	73,780	81,790	-0,320	-0,390	-0,327	0,230	0,166	0,481				
12	80,760	76,430	73,880	71,630	72,780	77,540	84,330	-0,263	-0,148	-0,144	0,073	0,276	0,424				
13	98,960	91,650	80,820	73,520	77,580	85,160	97,470	-0,538	-0,721	-0,494	0,269	0,476	0,867				
14	112,040	102,690	87,910	79,670	83,000	86,120	92,770	-0,775	-1,087	-0,605	0,237	0,204	0,459				
15	99,730	89,450	73,930	68,440	71,880	79,500	90,500	-0,750	-0,978	-0,343	0,212	0,445	0,721				
16	93,400	95,700	73,150	70,180	72,440	72,560	79,410	0,168	-1,469	-0,187	0,141	0,007	0,402				
17	129,000	110,900	86,560	87,540	87,070	96,130	111,300	-1,675	-1,854	0,075	-0,036	0,640	1,214				
18	113,320	106,590	93,040	88,720	88,980	100,230	106,900	-0,571	-1,044	-0,344	0,020	0,821	0,533				
19	82,000	76,980	69,360	62,820	62,980	68,490	76,250	-0,308	-0,430	-0,379	0,009	0,279	0,433				
20	88,120	86,750	82,440	70,170	71,490	80,700	87,170	-0,092	-0,281	-0,821	0,082	0,541	0,419				
21	83,010	91,530	90,380	82,990	84,060	85,620	92,060	0,574	-0,081	-0,562	0,078	0,102	0,441				
22	48,420	53,250	53,860	53,380	54,000	57,680	65,470	0,189	0,025	-0,023	0,029	0,159	0,370				
∴																	
445	95,830	88,980	82,680	74,750	77,420	81,050	90,940	-0,488	-0,417	-0,547	0,178	0,222	0,656				

Curva	Velocidades operacionais (V85) [km/h]							Taxas de variação de velocidade observadas [m/s <sup>2</sup> ]						
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	Ac. 1-2	Ac. 2-3	Ac. 3-4	Ac. 4-5	Ac. 5-6	Ac. 6-7	
214S	103,451	90,061	75,684	71,994	77,859	78,333	78,768	-1,002	-0,954	-0,180	0,292	0,041	0,043	
Média	51,730	45,060	32,750	33,810	39,140	35,560	31,440	-3,648	-3,582	-1,250	-0,526	-1,975	-1,412	
Min	163,690	151,440	127,130	120,050	133,670	130,500	133,630	0,424	0,444	0,576	1,241	0,905	2,251	
σ	16,008	15,804	12,667	11,630	13,425	14,553	15,990	0,536	0,609	0,275	0,256	0,309	0,351	
15 percentil	-	-	-	-	-	-	-	-1,538	-1,533	-0,459	0,031	-0,211	-0,225	
85 percentil	119,125	106,974	88,130	83,274	90,962	92,841	95,462	-0,494	-0,367	0,073	0,552	0,311	0,275	
<b>Veículo</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>V4</b>	<b>V5</b>	<b>V6</b>	<b>V7</b>	<b>Ac. 1-2</b>	<b>Ac. 2-3</b>	<b>Ac. 3-4</b>	<b>Ac. 4-5</b>	<b>Ac. 5-6</b>	<b>Ac. 6-7</b>	
1	128,630	119,020	103,330	94,020	102,410	102,650	109,560	-0,918	-1,346	-0,581	0,521	0,019	0,566	
2	90,820	84,680	50,180	57,460	67,070	70,830	63,710	-0,416	-1,795	0,248	0,378	0,200	-0,370	
3	86,880	71,450	62,730	66,360	77,110	74,360	72,540	-0,943	-0,451	0,148	0,488	-0,161	-0,103	
4	97,020	72,520	67,630	73,590	78,850	73,850	63,650	-1,603	-0,264	0,266	0,254	-0,295	-0,541	
5	116,000	107,970	91,750	87,270	94,520	93,800	89,630	-0,694	-1,250	-0,254	0,417	-0,052	-0,295	
6	115,780	102,760	86,020	84,710	92,530	92,440	85,740	-1,098	-1,219	-0,071	0,438	-0,006	-0,461	
7	104,920	87,150	67,230	67,290	69,640	69,740	70,420	-1,317	-1,186	0,003	0,102	0,005	0,037	
8	130,690	115,670	92,140	80,670	87,140	83,090	83,050	-1,428	-1,886	-0,627	0,343	-0,266	-0,003	
9	108,360	90,370	80,370	74,780	85,490	85,730	80,790	-1,379	-0,659	-0,274	0,543	0,016	-0,317	
10	98,660	85,430	75,800	68,620	75,090	80,000	79,750	-0,940	-0,599	-0,328	0,294	0,294	-0,015	
11	82,650	69,900	67,270	55,370	66,470	64,300	62,660	-0,750	-0,139	-0,462	0,428	-0,109	-0,080	
12	90,990	80,670	72,330	72,680	75,730	77,450	102,950	-0,683	-0,492	0,016	0,143	0,102	1,775	
13	90,220	83,400	73,590	74,860	81,530	74,320	75,640	-0,457	-0,594	0,060	0,330	-0,434	0,076	
14	115,450	107,160	93,580	85,210	89,010	86,510	85,200	-0,712	-1,052	-0,473	0,209	-0,169	-0,087	
15	124,750	99,640	71,600	71,740	82,850	80,090	80,100	-2,174	-1,852	0,006	0,543	-0,174	0,001	
16	117,830	101,150	87,310	88,650	92,690	98,320	103,610	-1,409	-1,006	0,075	0,232	0,415	0,412	
17	98,760	90,910	77,650	73,970	79,820	70,640	71,300	-0,574	-0,862	-0,176	0,285	-0,533	0,036	
18	103,300	88,570	81,340	83,710	89,100	87,050	84,080	-1,090	-0,474	0,124	0,295	-0,139	-0,196	
19	98,220	71,980	64,060	68,560	74,600	63,150	65,650	-1,723	-0,416	0,189	0,273	-0,609	0,124	
20	102,040	85,860	81,740	85,850	86,220	66,790	69,190	-1,173	-0,266	0,218	0,020	-1,147	0,126	
21	106,870	93,800	79,950	82,530	88,000	82,390	82,520	-1,012	-0,928	0,133	0,295	-0,369	0,008	
22	138,440	117,980	91,160	83,050	94,250	99,860	97,880	-2,024	-2,164	-0,447	0,628	0,420	-0,151	
∴														
483	105,170	91,190	83,720	76,870	84,030	84,830	85,490	-1,059	-0,504	-0,348	0,364	0,052	0,043	

Curva	Velocidades operacionais (V85) [km/h]							Taxas de variação de velocidade observadas [m/s <sup>2</sup> ]						
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	Ac. 1-2	Ac. 2-3	Ac. 3-4	Ac. 4-5	Ac. 5-6	Ac. 6-7	
222N	90,012	92,556	89,171	87,242	87,244	92,474	87,393	0,204	-0,231	-0,149	-0,002	0,383	-0,367	
Média	48,380	44,990	38,370	38,590	41,920	35,580	42,980	-4,086	-1,785	-2,746	-1,141	-1,047	-2,559	
Min	138,530	157,280	148,820	150,820	144,060	153,680	143,050	3,926	0,747	1,349	0,558	1,757	1,074	
σ	15,233	17,253	17,696	17,735	17,583	19,021	17,976	0,575	0,354	0,309	0,238	0,336	0,304	
15 percentil	-	-	-	-	-	-	-	-0,127	-0,458	-0,383	-0,216	0,124	-0,599	
85 percentil	106,163	110,317	106,708	104,967	104,991	113,302	106,896	0,573	0,062	0,116	0,249	0,645	-0,145	
<b>Veículo</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>V4</b>	<b>V5</b>	<b>V6</b>	<b>V7</b>	<b>Ac. 1-2</b>	<b>Ac. 2-3</b>	<b>Ac. 3-4</b>	<b>Ac. 4-5</b>	<b>Ac. 5-6</b>	<b>Ac. 6-7</b>	
1	119,580	125,540	128,710	129,690	130,490	141,860	137,320	0,564	0,311	0,111	0,091	1,195	-0,489	
2	84,450	83,030	77,450	74,770	77,110	75,910	73,750	-0,092	-0,345	-0,179	0,156	-0,071	-0,125	
3	88,060	86,430	83,550	80,250	78,140	80,780	73,910	-0,110	-0,189	-0,237	-0,147	0,162	-0,410	
4	98,720	101,420	98,130	102,190	104,150	104,250	100,850	0,208	-0,253	0,357	0,177	0,008	-0,269	
5	119,890	123,630	118,870	120,320	122,800	129,010	124,310	0,351	-0,445	0,152	0,264	0,603	-0,459	
6	88,230	90,450	86,570	86,110	81,960	86,850	81,580	0,153	-0,265	-0,035	-0,306	0,318	-0,342	
7	77,080	82,350	82,270	80,690	80,880	83,750	76,270	0,324	-0,005	-0,113	0,013	0,182	-0,462	
8	71,040	78,930	79,660	78,280	77,320	82,140	78,630	0,457	0,045	-0,096	-0,065	0,297	-0,218	
9	76,180	82,440	81,570	83,380	81,970	85,330	79,570	0,383	-0,055	0,131	-0,102	0,217	-0,366	
10	119,890	131,880	131,880	134,230	136,330	150,570	139,520	1,165	0,000	0,274	0,249	1,576	-1,237	
11	69,130	71,050	66,740	65,080	64,620	70,500	63,510	0,104	-0,229	-0,096	-0,026	0,307	-0,361	
12	99,130	103,540	103,240	102,570	105,680	110,480	107,860	0,345	-0,024	-0,060	0,284	0,400	-0,221	
13	65,860	73,210	71,850	75,080	76,750	77,430	72,660	0,394	-0,076	0,208	0,111	0,040	-0,276	
14	108,630	110,100	111,480	109,230	110,730	123,010	116,320	0,124	0,118	-0,218	0,145	1,107	-0,618	
15	81,900	86,310	81,410	78,720	77,060	80,420	76,290	0,286	-0,317	-0,189	-0,113	0,204	-0,250	
16	127,640	134,210	135,600	135,780	138,070	153,680	143,050	0,664	0,145	0,021	0,275	1,757	-1,217	
17	92,180	95,720	89,490	85,560	83,300	88,110	83,820	0,257	-0,445	-0,302	-0,167	0,318	-0,285	
18	82,070	91,270	89,950	83,180	79,530	83,420	76,680	0,615	-0,092	-0,514	-0,260	0,245	-0,416	
19	119,030	122,080	120,850	121,590	117,470	125,740	114,700	0,284	-0,115	0,079	-0,432	0,776	-1,024	
20	92,370	95,150	96,490	97,890	99,410	112,210	105,670	0,201	0,099	0,119	0,131	1,045	-0,550	
21	96,770	99,850	98,040	96,670	98,530	100,490	97,030	0,234	-0,138	-0,117	0,159	0,150	-0,264	
22	96,120	99,150	94,390	89,410	88,380	94,960	90,650	0,228	-0,355	-0,401	-0,080	0,465	-0,309	
∴														
252	85,560	94,500	93,110	87,140	82,790	82,510	74,600	0,621	-0,101	-0,472	-0,324	-0,018	-0,479	

Curva	Velocidades operacionais (V85) [km/h]							Taxas de variação de velocidade observadas [m/s <sup>2</sup> ]						
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	Ac. 1-2	Ac. 2-3	Ac. 3-4	Ac. 4-5	Ac. 5-6	Ac. 6-7	
222S	96,579	103,618	92,296	90,950	97,738	93,748	90,681	0,578	-0,879	-0,108	0,598	-0,299	-0,217	
Média	52,600	52,790	46,720	47,960	52,810	49,150	44,740	-1,905	-3,533	-1,613	-1,567	-1,934	-1,413	
Min	140,010	154,510	146,400	144,600	175,160	168,620	175,160	5,780	0,189	0,819	4,561	1,034	1,230	
σ	14,654	17,439	15,588	15,616	18,117	17,805	17,923	0,592	0,471	0,318	0,493	0,317	0,313	
15 percentil	-	-	-	-	-	-	-	0,167	-1,275	-0,358	0,226	-0,548	-0,459	
85 percentil	111,243	121,182	107,705	107,943	116,271	111,775	108,358	0,995	-0,489	0,177	0,972	-0,058	0,024	
<b>Veículo</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>V4</b>	<b>V5</b>	<b>V6</b>	<b>V7</b>	<b>Ac. 1-2</b>	<b>Ac. 2-3</b>	<b>Ac. 3-4</b>	<b>Ac. 4-5</b>	<b>Ac. 5-6</b>	<b>Ac. 6-7</b>	
1	86,880	92,310	84,010	80,920	83,020	83,080	74,150	0,375	-0,565	-0,223	0,151	0,004	-0,542	
2	86,000	94,350	83,490	77,600	82,620	76,580	77,090	0,581	-0,745	-0,416	0,353	-0,371	0,030	
3	88,370	96,420	86,390	82,750	88,920	85,150	83,310	0,574	-0,707	-0,270	0,464	-0,253	-0,120	
4	106,840	113,110	103,880	102,320	111,140	108,190	102,680	0,532	-0,773	-0,141	0,825	-0,250	-0,448	
5	115,640	124,700	110,630	108,880	118,610	115,620	112,780	0,840	-1,277	-0,168	0,970	-0,270	-0,250	
6	104,670	115,250	100,730	96,630	103,010	101,990	97,460	0,898	-1,210	-0,355	0,558	-0,081	-0,349	
7	86,420	92,970	82,670	81,480	84,660	83,070	79,780	0,453	-0,698	-0,086	0,232	-0,103	-0,207	
8	123,820	134,350	115,430	115,600	128,410	124,710	121,590	1,049	-1,823	0,017	1,370	-0,361	-0,296	
9	110,980	120,340	114,540	105,220	110,320	104,960	103,690	0,835	-0,526	-0,898	0,482	-0,445	-0,102	
10	82,240	84,670	75,550	75,530	80,440	77,560	74,120	0,156	-0,564	-0,001	0,336	-0,176	-0,201	
11	79,300	90,350	85,120	83,690	90,670	88,200	78,380	0,723	-0,354	-0,106	0,534	-0,170	-0,631	
12	95,520	101,740	92,320	86,300	95,240	88,320	87,140	0,473	-0,705	-0,471	0,712	-0,490	-0,080	
13	92,540	102,830	92,940	90,080	97,330	90,890	86,930	0,776	-0,747	-0,229	0,596	-0,468	-0,272	
14	78,990	78,580	68,920	69,270	75,860	70,000	64,940	-0,025	-0,550	0,021	0,419	-0,330	-0,263	
15	74,990	80,270	70,870	71,220	77,200	74,020	71,540	0,316	-0,548	0,022	0,389	-0,186	-0,139	
16	94,620	86,220	70,400	69,550	79,200	76,590	81,960	-0,586	-0,956	-0,052	0,629	-0,157	0,328	
17	101,410	97,010	62,690	59,110	58,940	55,140	54,000	-0,337	-2,115	-0,191	-0,009	-0,167	-0,048	
18	96,750	105,860	96,020	91,150	98,530	93,260	87,420	0,712	-0,766	-0,400	0,614	-0,390	-0,407	
19	102,920	114,440	102,170	91,150	84,880	75,340	70,110	0,966	-1,025	-0,934	-0,484	-0,590	-0,293	
20	82,830	91,610	83,450	85,420	90,590	87,070	84,570	0,591	-0,551	0,146	0,399	-0,241	-0,166	
21	104,760	117,690	105,150	102,900	112,810	103,980	103,240	1,110	-1,078	-0,205	0,937	-0,739	-0,059	
22	108,160	121,700	101,460	100,250	109,820	103,470	94,160	1,201	-1,743	-0,107	0,881	-0,523	-0,710	
∴														
279	120,690	132,760	112,530	117,460	115,250	105,060	102,820	1,180	-1,914	0,497	-0,225	-0,866	-0,180	