

DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ESTUDO EM UM SIMULADOR DE DIREÇÃO VEICULAR

Alessandra Ribeiro da Silva
Sander Fraga Farinha da Silva
Christine Tessele Nodari
Daniel Presta Garcia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP
Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN)

Gustavo Rubem Di Rado
Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

RESUMO

Os riscos de sinistros por ultrapassagens são elevados e apresentam uma taxa de lesões fatais ou ferimentos graves cerca de 50% maior do que a média dos demais sinistros. Motivado por esta questão, este artigo apresenta uma análise dos parâmetros normativos e publicações recentes referente às distâncias de ultrapassagem necessárias para projeto de rodovias, bem como compara esses com os valores obtidos em um experimento realizado em simulador de direção. A revisão do referencial normativo e das publicações demonstram variações significativas em relação às distâncias de ultrapassagens vigentes e necessárias. O estudo em simulador de direção confirma essas variações. Este artigo visa contribuir para a discussão técnica e fomentar a análise das distâncias de ultrapassagem adotadas nas rodovias brasileiras.

ABSTRACT

The risks of accidents due to overtaking maneuvers are high and show a fatality or severe injury rate approximately 50% higher than the average of all other accidents. Motivated by this issue, this article presents an analysis of normative parameters and recent publications regarding the necessary overtaking distances for highway design, and it compares them with the values obtained from a driving simulator. The normative references reviews and publications demonstrate significant variations concerning the current and required overtaking distances. The driving simulator study confirms these variations. This article aims to contribute to the technical discussion and promote the analysis of the overtaking distances adopted on Brazilian highways.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados da OMS (2018) os sinistros de trânsito ainda são um dos maiores fatores de mortalidade no mundo. Os números de mortes por sinistros de trânsito permanecem expressivos, tendo atingido a marca de mais de 1,35 milhões de pessoas mortas em 2016, equivalente a 18 mortes para 100.000 habitantes. Esta taxa mantém-se constante desde 2001, embora o número de veículos no mundo esteja em crescimento contínuo, sugerindo uma redução acima de 50% nas mortes nos últimos 15 anos. Isto é um indicativo da provável mitigação dos efeitos adversos apesar do aumento do transporte motorizado, demonstrando que as ações relativas à segurança estão surtindo efeitos, mas não em ritmo suficiente para compensar o rápido crescimento da população e do número de veículos no mundo (WHO, 2018).

Wijnen *et al.* (2019), em estudo com países da Europa, identificaram que os custos com prevenção são bem inferiores aos valores relativos à remediação das fatalidades (os valores de uma fatalidade são estimados entre 0,7 e 3,0 milhões de euros, prevenção de lesão grave entre 2,5% a 34,0% deste valor e lesões leves entre 0,03% a 4,2%) e que o custo total dos sinistros rodoviários representa de 0,4% a 4,1% do PIB de um país. Hyder *et al.* (2022) observaram que, em 2000, o custo global das lesões causadas por sinistros de trânsito foi de US\$ 518 bilhões e que países de baixa e média renda, responsáveis por US\$ 65 bilhões desse custo, receberam menos do que esse montante para auxílio no desenvolvimento de seus países, no mesmo

período. Em 2014, o custo econômico de lesões graves e fatais por sinistros no trânsito em todo o mundo fora estimado em US\$ 18 trilhões. Esses números destacam a necessidade contínua de ações proativas para que se reduzam esses custos. De acordo com dados da Conferência Nacional dos Transportes (CNT, 2023), os custos totais com sinistros nas rodovias federais brasileiras foram de R\$ 12,92 bilhões em 2022. Do total de sinistros registrados 60% foram por colisões.

Muitos sinistros decorrem de limitações na capacidade de condução ou de pequenos lapsos de um motorista que, em conjunto com projetos ou condições de tráfego que imponham alta exigência ao seu desempenho, podem acrescer as falhas de julgamento. Contínuos aumentos das frotas geram maiores volumes médios de tráfego (VDM) que ampliam a necessidade de ultrapassagens e dos erros na identificação de espaços para essas manobras. Dentro do complexo processo de ultrapassagem, conforme mencionado por Ruhl *et al.* (2017), o motorista precisa do apoio do projeto viário para evitar erros e sinistros na tarefa de dirigir. Os autores consideram que os riscos de sinistros em ultrapassagens são elevados e observam desconexão em diversas ocasiões entre as rodovias construídas (e locais de ultrapassagem próprios da rodovia) e a sua operação (configuração estabelecida pelos regulamentos de trânsito).

Os órgãos rodoviários brasileiros têm tido dificuldade em atualizar seu arcabouço normativo, fato observado pelo longo período sem atualizações em manuais relevantes como os de projetos geométrico e de interseções. Contudo, instituições ligadas indiretamente aos projetos rodoviários têm revisado suas normas e manuais, como o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), assim como instituições estrangeiras de referência, como a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) e a *Federal Highway Administration* (FHWA), resultando em discussões técnicas entre os órgãos fiscalizadores e empresas executoras sempre que os parâmetros técnico-normativos se mostrem divergentes entre distintas regras. Essa situação dificulta a obtenção de consenso envolvendo *trade off* entre custos financeiros e questões de segurança viária.

Neste contexto, o presente artigo objetiva analisar os parâmetros normativos vigentes sobre às distâncias de ultrapassagem necessárias para projeto de rodovias, bem como compará-los com os valores obtidos em um experimento realizado em simulador de direção. A estrutura está dividida em duas partes: a primeira é a avaliação dos parâmetros de projeto (comprimentos de ultrapassagem necessários, distâncias de visibilidade e marcações de sinalização) preconizados nas normas e manuais de projeto vigentes no Brasil e nos Estados Unidos, bem como em estudos mais recentes sobre o tema; a segunda é a comparação entre as extensões das manobras de ultrapassagem praticadas e as distâncias de visibilidade de ultrapassagem preconizadas pela literatura, utilizando dados coletados em um simulador de direção.

Neste artigo serão adotadas as siglas VR para veículo rápido (veículo que realiza a ultrapassagem), VL para veículo lento (veículo que é ultrapassado), VO para veículo que se aproxima no sentido oposto a VR e VL, e DVU para distância de visibilidade de ultrapassagem. O artigo está estruturado em cinco seções. Na seção 2, é apresentada a análise das principais referências teóricas e normativas sobre as distâncias de visibilidade de ultrapassagem e sobre marcações de distância de ultrapassagem. Na sequência, na seção 3, está descrito o experimento efetuado com a utilização do simulador de direção, identificando a metodologia do estudo e da geração e análise dos dados. Após, são apresentados os resultados obtidos e as considerações acerca destes resultados na seção 4 e as respectivas conclusões na seção 5.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E NORMATIVO SOBRE ULTRAPASSAGENS – ESTADO DA ARTE

Esta seção busca apresentar uma revisão das mais recentes publicações do Estado da Arte e normativas relativas ao tema de forma a reunir as conclusões que outras pesquisas científicas já indicaram para os parâmetros necessários à realização de ultrapassagens.

2.1. Pesquisas sobre ultrapassagens

O Relatório 605, elaborado pelo *National Cooperative Highway Research* (NCHRP, 2008) dos EUA em 2008 foi desenvolvido com o objetivo de revisar os critérios de distância de visibilidade de ultrapassagem preconizados no guia *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – The Green Book* da AASHTO, propondo novas diretrizes sobre DVU, as quais foram incorporadas a partir da versão de 2011 (AASHTO, 2011). As versões anteriores do *Green Book* permaneciam com os mesmos critérios de DVU desde a edição de 1954, com base em um relatório publicado por Prisk (1941) no *HRB Proceedings*, formulado após diversas observações de campo de manobras de ultrapassagem efetuadas entre 1938 e 1941. Pesquisas realizadas em 1971 e 1978 descobriram que os valores da AASHTO para DVU eram conservadores, porém as edições de 1984, 1990, 1994 e 2001 não foram modificadas sob este aspecto. Outros estudos foram desenvolvidos e apresentados em fóruns discutindo DVU nos anos subsequentes. Em paralelo, o Manual sobre Dispositivos de Controle de Tráfego Uniforme para Ruas e Rodovias (MUTCD), da FHWA, mostrava diferentes valores de DVU para condições semelhantes (NCUTCD, 2012).

No relatório NCHRP 605 são analisados dois conceitos empregados nas marcações e aplicação de zonas de ultrapassagem. Sob o conceito de zona curta, todas as manobras devem ser concluídas antes do ponto onde começa a zona com restrição à ultrapassagem. Este conceito é o adotado para as marcações e proibições de ultrapassagem. O conceito de zona longa permite aos motoristas iniciarem uma manobra de ultrapassagem em uma zona de ultrapassagem permitida para completar a manobra de ultrapassagem além do início da marcação da linha de proibição. O relatório avalia e compara diversos modelos para estimativa de DVU desenvolvidos ao longo das últimas décadas, indicando à AASHTO as seguintes considerações:

- ser necessário uma maior DVU para passar um caminhão longo do que um carro de passeio. Os estudos de Harwood e Glennon (1989) indicaram esta variação (vide Tabela 1). Contudo, o estudo conclui que, embora seja necessária uma DVU maior para ultrapassagens envolvendo caminhões, isso encurtaria ou eliminaria zonas de ultrapassagem que podem ser usadas com segurança por um carro de passeio ao ultrapassar outro veículo de passeio, reduzindo assim o nível de serviço da rodovia pela menor oferta de locais com permissão de ultrapassagem. Contudo, em rodovias com volume substancial de caminhões, o estudo sugere exigir um comprimento mínimo maior de DVU;
- que o tempo de percepção-reação seja de 1s para a decisão de abortar uma manobra de ultrapassagem;
- que as evidências disponíveis indicaram que a maioria dos motoristas exercem bom julgamento ao avaliar situações de ultrapassagem, não havendo necessidade de alteração nos critérios de marcação de zonas de ultrapassagem em rodovias de pista simples, mesmo considerando os motoristas mais velhos (este grupo, embora necessite de DVUs maiores, realizam menos manobras de ultrapassagem, e de forma menos agressiva);
- que zonas de passagens curtas (menores que 240m) são pouco efetivas para a eficiência operacional do tráfego (utilizadas somente em ultrapassagens ditas “aéreas”, onde o VR imediatamente ultrapassa o VL sem reduções significativas de velocidade na aproximação, ou

em ultrapassagens de tratores agrícolas);

- que os critérios de DVU do MUTCD para marcações de ultrapassagens podem ser utilizados também para o projeto geométrico das rodovias com segurança.

Figueira e Larocca (2020) observaram em estudo utilizando simulador de direção que o principal fator influenciando a extensão de ultrapassagem é a velocidade do VL e que as colisões frontais (características de manobras de ultrapassagem indevida), representam 4% do total de sinistros, sendo responsáveis por 31% das mortes no trânsito. Os autores destacam que esta manobra está entre os comportamentos de direção mais complexos em rodovias de pista simples por ser influenciada por uma variedade de parâmetros, como o volume de tráfego, o diferencial de velocidade entre VR e VL, a geometria da rodovia, a distância de visibilidade disponível, os fatores humanos, o estado do veículo que realiza a ação e as posições e velocidades dos demais veículos ao redor deste. Da mesma forma, estudos realizados por Hosseinpour *et al.* (2013) em rodovias federais da Malásia observaram que as variáveis curvatura horizontal, tipo de terreno, tráfego de veículos pesados e pontos de acesso foram positivamente relacionados com a frequência de colisões frontais. Concluíram ainda que colisões frontais que ocorrem em terrenos ondulados têm maior probabilidade de resultar em lesões graves.

Um estudo sobre sinistros relativos à ultrapassagem com dados de três estados americanos realizado pela FHWA (1994), mostrou que 13,9% dos sinistros relacionados a ultrapassagens envolvem uma fatalidade ou ferimentos graves, em comparação com 9,4% de todos os demais tipos de sinistros em rodovias rurais de pista simples. Assim, os sinistros relacionados com ultrapassagens apresentam uma taxa de lesões fatais ou ferimentos graves cerca de 50% maior do que a média de todos os demais sinistros. Segundo Ruhl *et al.* (2017), os sinistros relativos à ultrapassagem ocorrem principalmente em trechos onde as ultrapassagens são permitidas, contudo com distância de visibilidade insuficientes e onde a regulamentação de trânsito não foi implantada adequadamente de forma a restringi-las. Os mesmos autores recomendam que sejam efetuadas restrições de ultrapassagens onde a DVU seja inferior a 600 metros, contudo, em rodovias com trânsito frequente de máquinas agrícolas, as restrições de ultrapassagem sejam para DVU de 300 metros e restrições parciais para distâncias de visibilidade intermediárias (entre 300 e 600 metros).

Maji *et al.* (2021) analisaram 5 modelos empíricos para distâncias de ultrapassagem, com base em coleta de dados por veículo instrumentado (com rastreador GPS e 3 câmeras) em um trecho de uma rodovia de pista simples. As manobras de ultrapassagem foram analisadas apenas nos trechos em tangentes da rodovia considerada. Em suas conclusões, citaram que as distâncias média e máxima para ultrapassar todos os tipos de veículos foram de 150 m e 230 m, respectivamente. Os tempos médio e máximo para ultrapassar todos os tipos de veículos foram de 9s e 15s, respectivamente.

2.2. Referências Normativas Vigentes Verificadas na Pesquisa

Foram verificadas as normativas referenciais mais utilizadas no âmbito rodoviário brasileiro, juntamente com a disposição normativa do DAER (Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem do Estado do Rio Grande do Sul), órgão responsável pelo trecho onde foram baseados os estudos deste artigo.

2.2.1. *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER/DNIT, 1999)*

O Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes (DNIT) ainda adota os parâmetros definidos no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER (DNER, 1999), órgão executivo rodoviário federal antecessor ao DNIT. Este manual foi baseado no *Green Book* da AASHTO, de 1994. O modelo adotado para estimativa das distâncias de ultrapassagem baseia-se no caso mais simples de um veículo ultrapassando outro (sem considerar ultrapassagens múltiplas), partindo-se das premissas: (i) o veículo lento (VL) trafega com velocidade uniforme; (ii) o veículo rápido (VR) está logo atrás do VL e com a mesma velocidade quando atinge o ponto inicial do intervalo da ultrapassagem; (iii) há um tempo de percepção e reação para o início da ultrapassagem; (iv) a velocidade média do VR durante o período em que está na faixa de sentido oposto é 15 km/h maior do que a do VL; e (v) há uma distância de segurança razoável entre VR e VO, ao VR retornar à faixa da direita.

O modelo consiste em determinar a DVU através do somatório de quatro distâncias d_1 , d_2 , d_3 e d_4 , representadas na Figura 1. A distância d_1 é a distância percorrida durante a percepção/reação mais o tempo para se posicionar para ultrapassar. É calculada pela equação:

$$d_1 = 0,278 t_1(V-M+ at_1/2) \quad (1)$$

onde: V: velocidade média de VR [km/h];
M: diferença entre as velocidades VR e VL [km/h];
a: aceleração média do veículo mais rápido na passagem de VL para VR [km/h/s];
 t_1 : tempo decorrido entre o momento em que VR atinge o ponto inicial (PI) do intervalo de ultrapassagem e inicia a manobra de ultrapassagem [s].

A distância d_2 é a distância percorrida pelo VR na faixa da esquerda, definida pela equação:

$$d_2 = 0,278 Vt_2 \quad (2)$$

onde: V: velocidade média do veículo rápido (VR) [km/h];
 t_2 : tempo do VR na faixa da esquerda da rodovia [s].

A distância d_3 é a distância de segurança entre VR e VO, sendo um valor fixado experimentalmente, variando de 30 a 90 metros, conforme a velocidade de passagem. A distância d_4 é a distância percorrida pelo VO, calculada pela equação:

$$d_4 = 0,667 d_2 \quad (3)$$

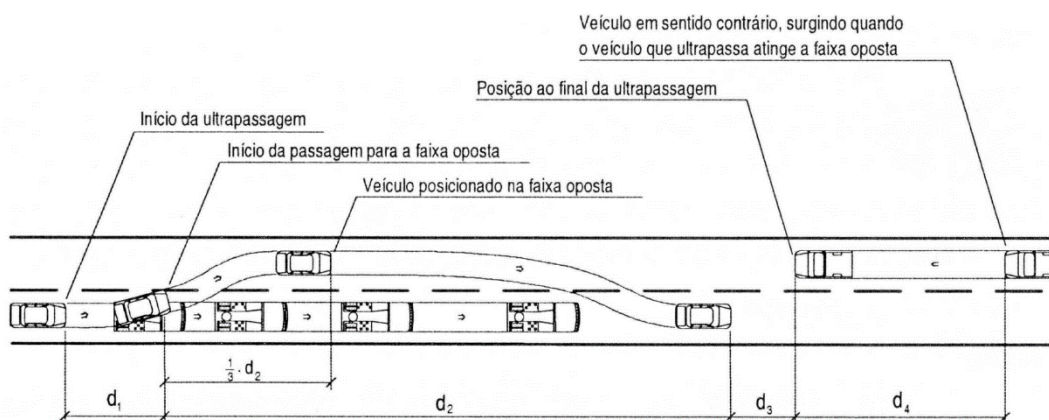


Figura 1 – Elementos das distâncias de ultrapassagem (DNER,1999). Fonte: Google – EcivilUFES

Com base nestas fórmulas, o DNIT indica as DVUs discriminadas na tabela 1 deste artigo. Aconselha ainda que sejam previstas oportunidades de ultrapassagem em intervalos entre 1,5 km e 3,0 km. Para efeitos do greide e utilização do gabarito de visibilidade (marcação das alturas de visibilidade no greide), considera que a altura dos olhos do motorista nos carros de passeio está a 1,10m do solo e o veículo em sentido oposto (VO) está a uma altura de 1,37m.

2.2.2. “*A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – The Green Book*” (AASHTO, 2018)

O manual para projeto geométrico de rodovias da AASHTO (*Green Book*) é um referencial adotado internacionalmente para fins de elaboração de projetos de rodovias. Sua última versão adota os critérios indicados pelo Relatório 605 do *National Cooperative Highway Research Program*, elaborado em 2008 (NCHRP, 2008) e desenvolvido à AASHTO para revisão dos procedimentos vigentes até aquela ocasião e propor diretrizes especificamente à DVU. Estas proposições foram incorporadas a partir da versão do *Green Book* de 2011 e foram mantidas na 7ª edição do *Green Book* (AASHTO, 2018), onde está estabelecido: (i) que as distâncias mínimas de visibilidade de ultrapassagem sejam baseadas na distância mínima de visibilidade apresentada no MUTCD (2012), pois estes critérios resultaram em redução de sinistros nas ultrapassagens; (ii) que as distâncias de visibilidade para projetos de rodovias em pista simples sejam previstas conforme as mencionadas na Tabela 1 a seguir (AASHTO, 2011 e 2018); (iii) que de acordo com os modelos de Glennon (1988) e Hassan et al. (1996), respectivamente, a posição crítica da ultrapassagem ocorre onde a distância de visão de passagem para completar a manobra é igual à distância de visão necessária para abortar a manobra, ou onde VR e VL estão lado a lado, o que ocorrer primeiro. Os comprimentos mínimos para ultrapassagens adotados pela AASHTO também constam indicados na Tabela 1 (item 2.3).

Buscando contemplar o maior número possível de motoristas, as suposições feitas na aplicação destes modelos foram de que: (i) as velocidades dos veículos que passam e se opõem são iguais e representam a velocidade de projeto da rodovia; (ii) o VL trafega em velocidade uniforme e a diferença de velocidade entre VR e VL é de 19 km/h; (iii) o VR tem capacidade de aceleração suficiente para atingir a diferença de velocidade especificada em relação à VL quando atinge a posição crítica em cerca de 40% do caminho necessário para a ultrapassagem; (iv) os comprimentos de VR e VL são de 5,8 m; (v) o tempo percepção-reação do motorista do VR ao decidir abortar a ultrapassagem é 1s; (vi) a folga mínima entre os veículos que passam e os que se opõem no ponto em que o veículo que passa retorna à sua faixa normal é 1s; Para uma ultrapassagem completa ou abortada, o espaço de avanço entre VR e VL é 1s; (vii) se uma manobra de ultrapassagem for abortada, o veículo que desiste de ultrapassar usará uma taxa de desaceleração de 3,4 m/s², a mesma taxa de desaceleração usada nos critérios de projeto de distância de visibilidade de parada.

2.2.3. *Normas de Projetos Rodoviários – Volume 1: Projeto Geométrico de Rodovias* (DAER-RS, 1991)

Foi analisado o Manual de Projetos Rodoviários do DAER-RS (1991) por ser a ERS-122 projetada de acordo com os parâmetros desta normativa. Os valores adotados para DVU pelo DAER estão indicados igualmente na Tabela 1 e são similares aos indicados pelo DNIT. Em síntese, para distância de visibilidade de ultrapassagem, o DAER considera: (i) que haja pelo menos um trecho com visibilidade de ultrapassagem a cada 2,0 a 3,0 quilômetros e tão extenso quanto possível; (ii) que o diferencial de velocidade entre VR e VL é de 16 km/h; (iii) que os olhos do motorista estão a uma altura de 1,14m acima da pista e (iv) que o VO tem uma altura de pelo menos 1,37 m acima da pista.

2.2.4. *The Manual on Uniform Traffic Control Devices - MUTCD* (FHWA, 2012)

O Manual de Uniformização dos Dispositivos de Controle de Tráfego (MUTCD, 2012) é o referencial no âmbito dos Estados Unidos para fins de regulamentação da sinalização rodoviária (urbana e rural), políticas e procedimentos da FHWA. Este manual define as marcações das

permissões e/ou restrições a serem efetuadas a partir de um gabarito com altura de 1,07m em uma linha tangente entre dois pontos e com a DVU a ser adotada considerando o estabelecido na tabela 3B-1 do Manual. Indica ainda que, quando a distância entre zonas sucessivas de restrição de ultrapassagem for inferior a 120m, as marcações de proibição de ultrapassagem devem ser conectadas. As DVUs estabelecidas no MUTCD (2012) estão indicadas na tabela 1.

2.2.5. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Vol. IV - Sinalização Horizontal (CONTRAN, 2022)

O Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN é o órgão máximo normativo e consultivo do Sistema Nacional de Trânsito e responsável pelas diretrizes da Política Nacional de Trânsito e da publicação dos Manuais de Sinalização Brasileiros. Em geral, segue as diretrizes do MUTCD. A última versão do manual do CONTRAN (2022) segue as orientações do MUTCD de 2003 para marcação de distâncias de ultrapassagem. Sob este aspecto, o MUTCD 2009 e a sua revisão de 2012, não apresentaram alterações significativas em comparação à versão anterior de 2003 e seguem com as mesmas orientações gerais para DVU. O manual estabelece que a proibição de ultrapassagem em pista simples deve ocorrer a partir do ponto em que se constata distância de visibilidade menor ou igual à estabelecida para a velocidade no local, devendo entre dois trechos de proibição de ultrapassagem haver distância mínima igual a distância de visibilidade estabelecida para a velocidade da via (vide Tabela 1), caso contrário, as linhas referentes a cada trecho devem ser unidas. Para a verificação da distância de visibilidade (nos trechos em curvas verticais e/ou horizontais), devem ser utilizados os gabaritos de marcação de acordo com o definido no item 4.1.5 do Volume IV do Manual do CONTRAN.

2.3. Comparativo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem observadas na pesquisa bibliográfica

A Tabela 1 relaciona as DVUs e os comprimentos de ultrapassagem identificados na pesquisa:

Tabela 1: Tabela Comparativa de Distância de Ultrapassagem

Velocidade de projeto ou regulamentação (em km/h)	30	40	50	60	70	80	85	90	100	110	120	Hv** (m)
Distâncias de Visibilidade de Ultrapassagem Mínimas (a partir do início da ultrapassagem (m))												
DNIT (1999) e AASHTO (1994) (mínimo)	180	270	350	420	490	560		620	680	730	800	1,10
AASHTO (2011/2018) DVU	120	140	160	180	210	245	280	320	355	395	440	1,08
AASHTO (2011/2018) comprim. mín. ultrap.		140	180	210	240	240	240	240	240	240	240	1,08
DAER (1991) (mínimo)	180	270	350	420	490	560		620	680		740	1,14
Áustria* (2008)¹				400		525			650			1,00
Alemanha* (2008)¹				475	500	525		575	625			1,00
Grécia*(2008)¹				475	500	525		575	625			1,00
Austrália*(2008)¹			330	420	520	640		770	920	1100		1,15
Reino Unido*(2008)¹			290	345	410		490		580			1,05
Canadá*(2008)¹			340	420	480	560		620	680	740	800	1,05
África do Sul*(2008)¹			340	420	490	560		620	680	740	800	1,05
Maji (2021) (valores médios do gráfico)	100	125	150	175	200	225		250				
Harwood e Glennon (carros) (1989)*			160		210	270			320		370	1,07
Harwood e Glennon (carro-caminhão) (1989)*			180		245	320			385		445	1,07
Harwood e Glennon (caminhão-carro)(1989)*			190		270	350			420		500	1,90
Harwood e Glennon (caminhões)(1989)*			210		300	390			480		600	1,90

Velocidade de projeto ou regulamentação (em km/h)	30	40	50	60	70	80	85	90	100	110	120	H _v ** (m)
Glennon (veículo passeio) (1988)*					205	255			300		350	
Glennon (caminhão 16,80m) (1988)*					230	300			350		400	
Glennon (caminhão 19,80m) (1988)*					240	300			360		420	
Glennon (caminhão 33,50m) (1988)*					260	330			400		470	
Hassan et al (1996)*			145	180	220	300		360	440	540	660	
Distâncias de Ultrapassagem adotadas para demarcação das restrições de ultrapassagem												
MUTCD (2003)		140	160	180	210	245		280	320	355	395	1,07
MUTCD (2009)*		140	160	180	210	245		280	320	355	395	1,07
CONTRAN (2022)		140	160	180	210	245		280	320	355		1,07
Austrália* ¹			150	180	210	240		270	300			1,15
Reino Unido* ¹			90	105	125		155		185			1,05
Canadá* ¹			160	200	240	275		330	400			1,05
África do Sul* ¹			150	180		250					400	1,05
Obs.: (*) Unidade convertida para o sistema métrico pelos autores. (**) H _v = Altura dos olhos do motorista.												
(1) valores extraídos do Relatório NCHRP 605.												

Fonte: elaborada pelos autores

3. EXPERIMENTO NO SIMULADOR DE DIREÇÃO

Para realizar a comparação entre as distâncias de ultrapassagem efetivamente praticadas pelos motoristas e as distâncias de visibilidade de ultrapassagem preconizadas na literatura e nas normativas em vigor, foi desenvolvido um experimento no simulador de direção do Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN) da UFRGS. Este simulador foi validado por Andriola (2021) a partir de dados contínuos de velocidade e posição lateral dos ambientes real (veículo instrumentado) e virtual (simulador de direção), de onde a validade relativa foi observada e as variações de velocidade na mesma direção e na mesma ordem de grandeza foram demonstradas para ambos ambientes.

3.1. Caracterização dos voluntários, cenário e veículo

Os testes no simulador foram realizados no período entre 25/05/2023 e 22/06/2023. Foram premissas requeridas dos voluntários autorização mediante termo de consentimento, posse de CNH categoria B e ter dirigido em uma rodovia rural de pista simples nos últimos seis meses. Os testes foram realizados com 30 voluntários com idades entre 20 e 67 anos, sendo 13 mulheres e 17 homens. O experimento foi realizado no cenário desenvolvido por Andriola (2021) para o subtrecho entre os quilômetros 149 e 164 da ERS-122 (entre os municípios de Ipê e Vacaria), no estado do Rio Grande do Sul. O trecho possui pista simples, localiza-se em região de terreno ondulado, com uso do solo predominantemente rural e velocidade regulamentada de 60 km/h. O veículo rápido (VR) utilizado no simulador é o desenvolvido por Di Rado *et al.* (2018), similar ao modelo Fiat Uno 1.0 2020, escolhido por ser representativo da frota brasileira. O cenário contou com dois veículos lentos (VL) (dois caminhões) transitando no segmento do estudo, possibilitando aos voluntários oportunidades para ultrapassagem de ambos, sem a presença de tráfego no sentido contrário. Os VL foram aferidos para velocidades operacionais formuladas por D'Azevedo *et al.* (2020) a partir de dados medidos em campo neste mesmo trecho e variáveis geométricas em função de raios de curvatura e rampa. Foram oportunizadas aos voluntários as mesmas condições para a realização das ultrapassagens.

3.2. Descrição do experimento

Os participantes foram posicionados no simulador de direção e instruídos sobre o experimento. Após, os voluntários passaram por uma familiarização com os comandos do veículo, trafegando

no cenário utilizado para o experimento por 5 minutos, com possibilidade de acréscimo nesse tempo até que o voluntário se sentisse confortável para a simulação efetiva. O experimento consistiu no deslocamento dos voluntários pelo cenário até que os dois veículos lentos (VL) fossem ultrapassados, ou até o fim do cenário, o que ocorresse antes. Os voluntários realizaram as manobras de ultrapassagem com liberdade de escolha (local das manobras por sua percepção) o que possibilitou diferentes registros ao longo do trecho, com geometria, sinalização e condições de visibilidade variáveis.

Para análise das manobras foram coletados os seguintes dados: velocidades praticadas pelo VR e pelos VL; posição longitudinal dos veículos; e tempos e dados da performance veicular (giro do motor, aceleração, marcha, entre outros). A posição lateral do veículo foi obtida a partir do afastamento posicional em relação ao eixo da rodovia, sendo este o parâmetro para as avaliações de início e fim de ultrapassagens e marcações da sinalização.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Embora o estudo tenha contado com 30 voluntários, o que levaria à análise total de 60 manobras de ultrapassagem, foram observadas, no total, 41 manobras. Dada a diversidade inerente ao perfil de condução de cada voluntário (priorizar a sinalização ou as ultrapassagens, por exemplo), 7 deles não realizaram nenhuma ultrapassagem e 5 realizaram apenas uma.

As características avaliadas foram a distância total da ultrapassagem, o diferencial de velocidade e o respeito à sinalização implantada no segmento. Tendo em vista que as manobras de ultrapassagem observadas ocorreram em pontos diversos do trecho, onde as velocidades tanto do veículo rápido (VR) quanto do veículo lento (VL) eram influenciadas pelas condicionantes geométricas, os resultados foram agrupados em função das velocidades de VL. O número de manobras registradas em cada faixa de velocidade está apresentado na Tabela 2, não tendo sido evidenciada nenhuma manobra na faixa entre 50 e 60 km/h.

Tabela 2: Ultrapassagens observadas em cada faixa de velocidade do veículo lento (VL)

Faixa de velocidade	30 a 40 km/h	40 a 50 km/h	50 a 60 km/h	60 a 70 km/h	70 a 80 km/h	80 a 90 km/h	90 a 100 km/h
Número de manobras	1	1	0	8	4	28	13
Comprim. médio (m)	100,79	419,69	n/a	238,28	320,06	302,39	229,07
Desvio padrão	n/a	n/a	n/a	92,40	60,52	83,46	49,32
Dif. de velocidade médio (m)	40,42	29,69	n/a	28,25	19,66	23,75	23,28
Desvio padrão	n/a	n/a	n/a	9,44	6,26	7,02	3,21

4.1. Extensão da manobra de ultrapassagem

As extensões totais das manobras de ultrapassagem em que o veículo invade ou ocupa a pista contrária (igual à distância D2 do modelo adotado pelo DNIT) são apresentadas na Figura 2, onde estão apresentadas também as DVU recomendadas pelos manuais de projeto do DAER e do DNIT (iguais para as faixas de velocidade apresentadas) e as estabelecidas pelo manual de sinalização do CONTRAN. Pode-se observar que a média do comprimento das extensões de ultrapassagens varia entre as faixas e tende a diminuir com velocidades mais altas de VL, embora a amostra pequena de observações em cada grupo impeça uma análise mais aprofundada sobre o efeito desta variável.

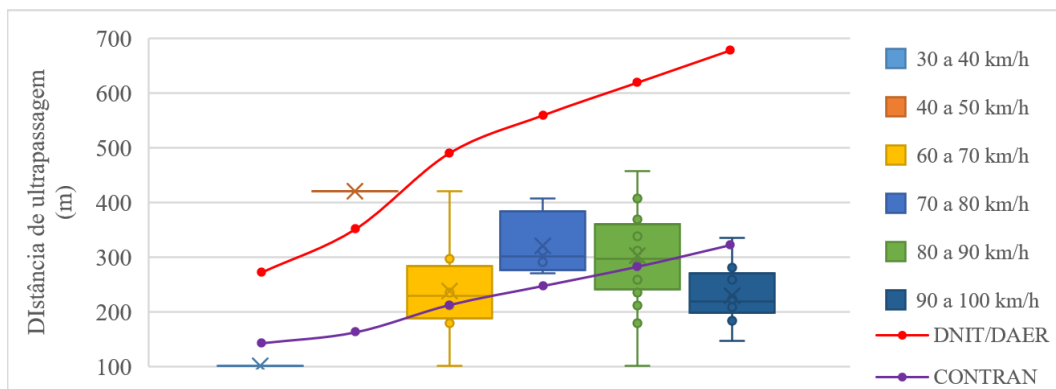


Figura 2: Comparação entre as distâncias de ultrapassagem observadas e recomendadas

Embora algumas manobras registradas tenham ocorrido em extensões de até 450 m, a grande maioria delas ocorreu abaixo da DVU de 420 m preconizada ainda tanto pelo DNIT quanto pelo DAER para velocidades de projeto de 60 km/h, mesmo que as velocidades dos veículos fossem mais altas que a regulamentada. Observa-se que para as faixas de velocidade obtidas, as extensões médias estão mais próximas dos parâmetros atuais adotados pela AASHTO (2018) e pelo MUTCD/CONTRAN (2022) (entre 140m e 355m), variando em média no estudo, para todas as velocidades, extensões entre 180m e 380m.

É válido pontuar que os critérios de DVU dos manuais (DNER/DNIT, DAER e CONTRAN) foram desenvolvidos tendo por pressuposto que a velocidade operacional dos veículos lentos seria inferior à velocidade de projeto (e a regulamentada), o que evidentemente não é o caso das manobras observadas no presente estudo. Esta análise pode ser estendida se comparada às extensões médias com as DVU preconizadas para a sua faixa de velocidade, onde foram observadas que, para o veículo indicado no estudo, foram necessárias extensões inferiores às previstas por DNIT e DAER, contudo, as extensões médias continuariam sendo maiores do que as DVU preconizadas pelo CONTRAN, exceto pelo grupo de velocidades de 90 a 100 km/h, cuja extensão média das 13 manobras observadas ocorreu abaixo dos limites de 280 e 320 metros para velocidade de projeto de 90 e 100 km/h, respectivamente.

4.2. Diferencial de velocidade

As diferenças de velocidade entre VR e VL (diferenciais de velocidade), são apresentadas na Figura 3. Para todas as faixas de velocidade os diferenciais médios foram superiores aos 15 km/h considerados pelo critério adotado pelo DNIT. Este valor é esperado, tendo em vista que os voluntários tendem a praticar velocidades maiores nos simuladores de direção do que fariam na estrada real devido à diferente percepção de segurança.

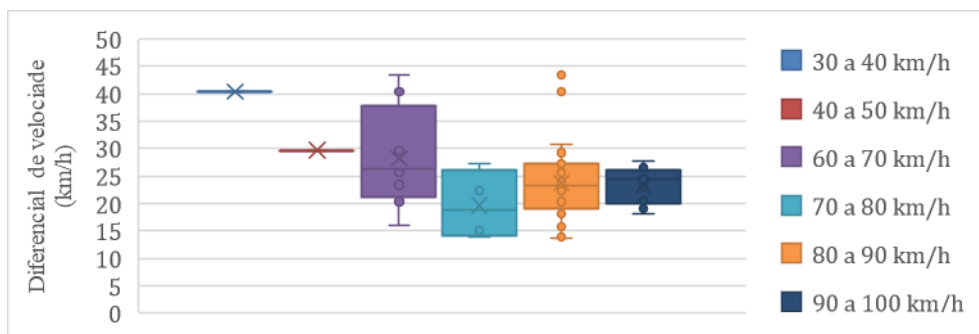


Figura 3: Variação dos diferenciais de velocidade

4.3. Observância à sinalização implantada

A classificação das manobras em função do respeito à sinalização implantada é apresentada na Tabela 3. A maioria dos voluntários observou a sinalização e os locais onde há DVU suficiente, embora cerca de 39% deles tenha iniciado a manobra de ultrapassagem em local permitido e terminado em local proibido, possivelmente pelas velocidades das manobras serem superiores às previstas para as marcações.

Tabela 3: Observância à sinalização (dados obtidos e percentuais)

Sinalização Início/Fim	30 a 40 km/h	40 a 50 km/h	50 a 60 km/h	60 a 70 km/h	70 a 80 km/h	80 a 90 km/h	90 a 100 km/h	Total
Permitida/Permitida	0	0	0	4	4	8	1	17(41,5%)
Permitida/Proibida	0	0	0	0	0	5	11	16(39,0%)
Proibida/Permitida	0	1	0	2	0	0	0	3(7,3%)
Proibida/Proibida	1	0	0	0	0	3	1	5(12,2%)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que diferentes valores de DVU estão sendo adotados para projeto e para marcação das zonas de proibição de ultrapassagem no Brasil. Os valores comparados neste artigo evidenciam que ainda são adotados parâmetros mais conservadores, porém, desnecessários sob o aspecto dos comprimentos que geometricamente admitem a realização de uma ultrapassagem segura. Os projetos geométricos rodoviários devem prever zonas de passagem marcadas, frequência, comprimento e distribuição espacial de forma que sejam seguras sob o aspecto do comportamento dos usuários, contudo otimizando os investimentos necessários. Isto mostra a necessidade de adequação das normas ao buscar reduzir custos de implantação, contudo respeitando os critérios de segurança que devem sempre ser priorizados.

Embora tal determinação possa ter sido difícil no passado, a tecnologia hoje permite otimizar essas análises. Ainda, é importante considerar fazer uma revisão das marcações antecipadas de zona de ultrapassagem e suas implicações para projetos em rodovias de pista simples com volume substancial de veículos de cargas, de forma a atender o nível de serviço nestas rodovias sem que se crie distorções no controle da fiscalização de trânsito, com a previsão normativa de referenciais específicos para rodovias que são percebidas como corredores de transporte, a partir de um determinado VDM de veículos pesados.

Tendo em vista as limitações dos simuladores de direção, este estudo não tem por objetivo a medição efetiva dos comprimentos de ultrapassagem praticados no ambiente real, mas introduzir uma discussão que pode vir a contribuir para a modernização dos manuais de projeto geométrico utilizados hoje pelos órgãos do setor rodoviário brasileiro, além de contribuir para o conjunto de estudos globais sobre o tema, considerando as diferenças de equipamentos e outros fatores que utilizam simuladores de direção, de forma complementar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2011) *Policy on Geometric Design of Highways and Streets, The Green Book, 6th edition*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Andriola, C. L. (2021) *Análise da validade comportamental de um simulador de direção imersivo*. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.
- CNT. (2023) *Transporte Rodoviário – Os Pontos Críticos nas Rodovias Brasileiras, Resumo*. Confederação Nacional de Transportes. Brasília. Obtido de <https://www.cnt.org.br/pesquisas>
- CONTRAN. (2022) *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito -VOLUME IV - Sinalização Horizontal*. Secretaria Nacional de Trânsito - Conselho Nacional de Trânsito (p. 1–129). Ministério da Infraestrutura, Brasília. Obtido de <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/senatran/manuais-brasileiros-de-sinalizacao-de-transito>
- D’Azevedo, Z. S., Nodari, C. T., García, D. S. P., e Silva, S. F. F. da. (2020) *Elaboração de modelo da previsão*

- da velocidade operacional de rodovias em pistas simples considerando os veículos de carga. *Anais do 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte Da ANPET* (p. 2811–2822).
- DAER - RS. (1991) *Normas de Projetos Rodoviários - Volume 1 -Projeto Geométrico de Rodovias e Ciclovias*. (Vol. 1). Porto Alegre.
- Di Rado, G. R., Davicenzi, G. H., Silvero, F., e García, D. S. P. (2018) Simulación e importancia del desempeño de un vehículo de paseo en trayectoria curva estable. *Anais do 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET* (p. 3526–3537). Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, Gramado.
- DNER. (1999) *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro. Obtido de https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/706_manual_de_projeto_geometrico.pdf
- Federal Highway Administration. (1994) *The Magnitude and Severity of Passing Accidents on Two-Lane Rural Roads (HSIS Summary Report)*. Federal Highway Administration (Vol. FHWA-RD-94). Obtido de <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/humanfac/94068.cfm>
- Figueira, A. C., e Larocca, A. P. C. (2020) Analysis of the factors influencing overtaking in two-lane highways : A driving simulator study. *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, 69, 38–48. doi:10.1016/j.trf.2020.01.006
- Glennon, J. C. (1988) New and improved model of passing sight distance on two-lane highways. *Transportation Research Record*, (1195), 132–137.
- Harwood, D. W., Gilmore, D. K., Richard, K. R., Dunn, J. M., e Sun, C. (2008) *NCHRP Report 605: Passing Sight Distance Criteria*. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. doi:10.17226/23278
- Harwood, D. W., e Glennon, J. C. (1989) Passing sight distance design for passenger cars and trucks. *Transportation Research Record*, (1208), 59–69.
- Hassan, Y., Easa, S. M., e Abd El Halim, A. O. (1996) Passing sight distance on two-lane highways: Review and revision. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30(6 PART A), 453–467. doi:10.1016/0965-8564(95)00032-1
- Hosseinpour, M., Yahaya, A. S., e Sadullah, A. F. (2013) Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes : Case studies from Malaysian Federal Roads. *Accident Analysis and Prevention*, 62, 209–222. doi:10.1016/j.aap.2013.10.001
- Hyder, A. A., Hoe, C., Hijar, M., e Peden, M. (2022) The political and social contexts of global road safety: challenges for the next decade - Series Road Safety 2022 1. *The Lancet*, 400(10346), 127–136. doi:10.1016/S0140-6736(22)00917-5
- Maji, A., Bhadrecha, B., e Bhattacharya, P. (2021) Overtaking Distance Models for Passenger Cars in Two-Lane Undivided Rural Highways. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 102(3), 773–782. doi:10.1007/s40030-021-00543-y
- NCUTCD. (2012) *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways - MUTCD - edition 2009*. FHWA (2009° ed). Whashington.
- Prisk, C. W. (1941) Passing Practices on Rural Highways. *Highway Research Board Proceedings*, 21, 366–378.
- Ruhl, S., Ortlepp, J., Bakaba, E., Richter, T., Ruhl, S., Ortlepp, J., e Bakaba, E. (2017) Causes , consequences and countermeasures of overtaking accidents on two-lane rural roads. *Transportation Research Procedia*, 25, 1989–2001. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.395
- WHO. (2018) *Global status report on road safety*. World Health Organization. World Health Organization, Geneva. Obtido de <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
- Wijnen, W., Weijermars, W., Schoeters, A., Berghe, W. Van Den, Bauer, R., Carnis, L., Elvik, R., e Martensen, H. (2019) An analysis of official road crash cost estimates in European countries. *Safety Science*, 113(2018), 318–327. doi:10.1016/j.ssci.2018.12.004

Alessandra Ribeiro da Silva (alessandraribeiros1973@gmail.com ou alessandra-silva@separ.rs.gov.br)

Sander Fraga Farinha da Silva (sanderfraga@hotmail.com)

Christine Tessele Nodari (piti.nodari@gmail.com)

Daniel Presta Garcia (daniel.garcia@ufrgs.br)

Gustavo Rúben Di Rado (gdirado@ing.unne.edu.ar)

LASTRAN - Laboratório de Sistemas de Transportes - Escola de Engenharia e Engenharia de Produção
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar, Porto Alegre – RS - CEP 90.035-190 - Brasil

Fone: (051) 3308 3596 Fax: (051) 3308 4007