

Uso de ambientes virtuais para vistorias técnicas em auditoria e inspeção de segurança viária: um estudo de caso em trecho rural de rodovia duplicada

Using virtual environments for road safety inspection and road safety audit: a case study in a rural multilane highway

Rogério Lemos Ribeiro¹, Michelle Andrade²

¹Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais – Brasil, rogerio.ribeiro@ufu.br

²Universidade de Brasília, Distrito Federal – Brasil, michelleandrade@unb.br

Recebido:

28 de outubro de 2019

Aceito para publicação:

19 de junho de 2020

Publicado:

30 de abril de 2021

Editor de área:

Flávio José Craveiro Cunto

Palavras-chave:

Auditoria de segurança viária virtual.

Ambiente virtual.

Óculos de realidade virtual.

Vídeo 360°.

Keywords:

Virtual road safety audit.

Virtual environment.

Virtual reality glasses.

360° video.

DOI:10.14295/transportes.v29i1.2216



RESUMO

Vistorias técnicas são atividades necessárias em procedimentos do Gerenciamento de Segurança da Infraestrutura Viária (GSIV). Este trabalho tem como objetivo avaliar o uso de ambientes virtuais para realizar vistorias técnicas para o GSIV, especialmente em Auditoria de Segurança Viária (ASV) e Inspeção de Segurança Viária (ISV). Dois grupos de auditores realizaram vistorias de segurança em um trecho rodoviário seguindo métodos diferentes, um grupo por meio de visitação a campo padrão e o outro, pelo procedimento proposto, que emprega realidade virtual (RV). Os resultados foram comparados e testados estatisticamente, e não confirmaram haver diferenças significativas entre os grupos, indicando o potencial de realização de vistorias empregando RV. O uso do procedimento proposto poderá trazer contribuições em termos de segurança dos auditores, ampliação do potencial da ASV pela possibilidade de realizar vistorias virtuais nas fases de projeto e, no futuro, com a redução de custos por visitas a campo.

ABSTRACT

Technical inspections are required activities in the Road Infrastructure Safety Management (RISM) process. This study aims to evaluate the usage of virtual environments for RISM technical inspections, especially for Road Safety Audits (RSA) and Road Safety Inspections (RSI). Two groups of auditors inspected a road segment to evaluate its safety. They followed different methods, a standard field visit and the proposed procedure, that uses virtual reality (VR). The results were compared and statistically tested. There was no significant difference between the groups, which indicates the potential of using VR for inspections. The proposed procedure may bring contributions in terms of safety for auditors, extension of the RSA's potential because of the possibility of using virtual inspections in the design phases, and, in the future, cost reduction with field visits.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com OECD/ITF (2015) a Auditoria de Segurança Viária (ASV) e a Inspeção de Segurança Viária (ISV) fazem parte do conjunto de procedimentos que compõe o Gerenciamento de Segurança de Infraestrutura Viária (GSIV) ou *Road Infrastructure Safety Management* (RISM) na literatura internacional. O GSIV visa aprimorar a segurança nas rodovias nos diferentes estágios do seu ciclo de vida sendo, portanto, composto de medidas proativas (como a ASV), medidas híbridas (como a ISV) e medidas reativas, como a identificação de pontos críticos (Figura 1).

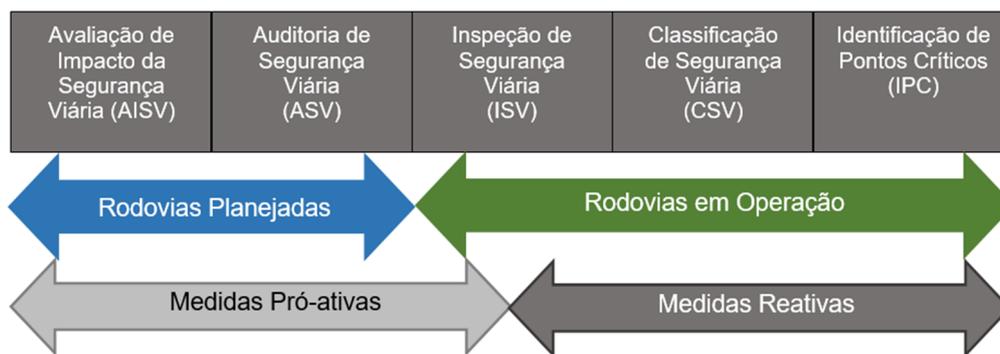


Figura 1. Estrutura do Gerenciamento de Segurança de Infraestrutura Viária. Fonte: adaptado de UNECE/TEM, 2018

Os conceitos de ASV e ISV são apresentados em documentações técnicas de órgãos internacionais. É relevante destacar que não há um consenso quanto à relação de ASV e ISV. Alguns manuais dispõem a ISV como uma etapa da ASV (PIARC, 2011; AfDB, 2014 e Highways England, 2020) ou como um tipo específico de auditoria (Austroads, 2009); outros, como a UNECE/TEM (2018) e OECD/ITF (2018), a indicam como uma atividade específica e independente da ASV (Figura 1 e Figura 2).

A ASV é uma verificação técnica, sistemática e detalhada que deve ser realizada por uma equipe independente que avalia os elementos de segurança em projetos de infraestrutura rodoviária. A verificação deve cobrir as etapas de projeto e implantação até o início da operação da rodovia (UNECE, 2018). De modo geral, a ASV é subdividida em 4 níveis (NPRA, 2014) ou estágios (Highways England, 2020):

- Estágio 1: Conclusão do Projeto Preliminar;
- Estágio 2: Conclusão do Projeto Detalhado;
- Estágio 3: Conclusão da Construção;
- Estágio 4: Monitoramento.

Os RTA (2011), PIARC (2011), NPRA (2014), OECD/ITF (2015) e UNECE/TEM (2018) trazem o estágio 1 de ASV como uma avaliação a ser realizada na etapa de planejamento ou estudos de viabilidade da rodovia. Já o Highways England (2020) traz o estágio 1 como uma avaliação do projeto básico. Todos os manuais designam um estágio para a análise do projeto básico, uma para o projeto executivo e uma para o final da implantação da rodovia, denominado de pré-abertura. Os manuais PIARC(2011), AfDB (2014) e Highways England (2020), indicam um estágio específico para o momento de pós-abertura para o tráfego, em que é realizado o monitoramento que pode ser em um único momento (ao final de 12 meses de operação) ou em dois momentos, sendo a segunda análise realizada ao final do 3º ano de operação.

A ISV, assim como a ASV, é uma verificação técnica, sistemática e periódica que deve ser realizada por uma equipe qualificada levantando características, defeitos e dados operacionais que possam requerer medidas de manutenção ou alterações definitivas por razões de segurança. A Figura 2 traz as etapas do ciclo de vida da rodovia (planejamento, projeto, construção e operação) associadas às ações de ASV e ISV que estão identificadas por números de 1 a 5. No esquema é possível observar que a ASV e a ISV devem ter uma interface quando são necessárias alterações definitivas em vias existentes ou o estabelecimento de novas conexões a vias existentes.

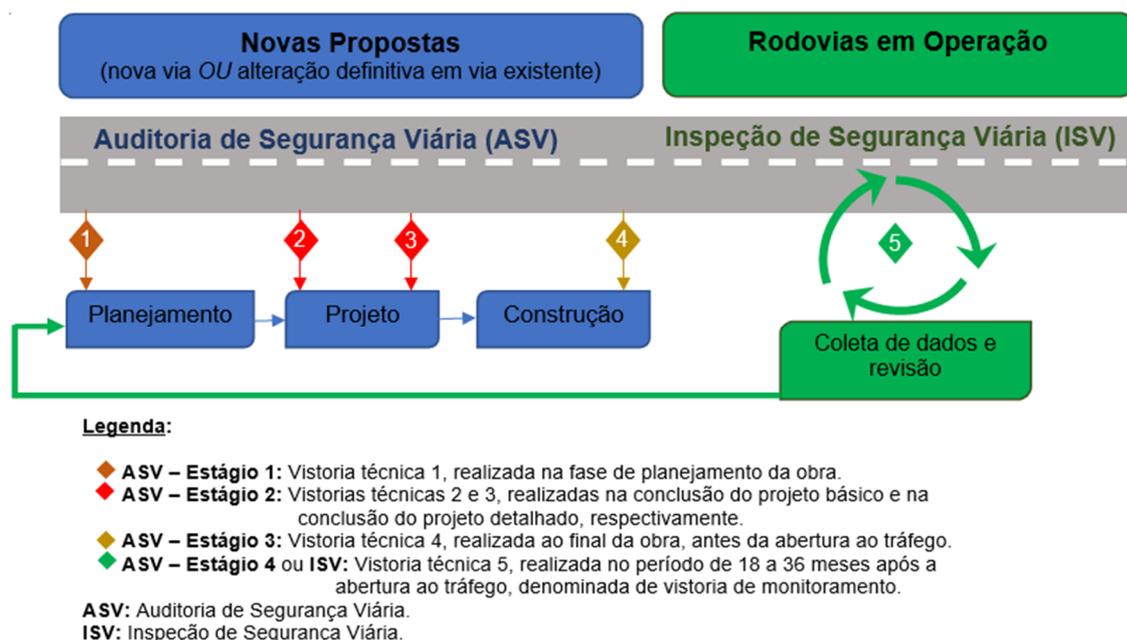


Figura 2. Estágios da ASV no ciclo de vida de um esquema rodoviário. Fonte: adaptado de PIARC, 2011

A ISV demanda, via de regra, a realização de vistorias técnicas (TII, 2014; OCDE/ITF, 2015; UNECE/TEM, 2018). A ASV também faz o uso de vistorias de campo, a qual é geralmente realizada no seu estágio 4 (Figura 2), ou seja, quando da finalização das obras de implantação para a vistoria de pré-abertura ao tráfego (RTA, 2011; PIARC, 2011; AfDB, 2014 e Highways England, 2020).

As vistorias preveem a observação de diversos elementos normalmente organizados em listas de verificação para apoiar a atividade de campo. Dos aspectos de observação previstos nessas atividades, destacam-se os levantamentos dos elementos viário-ambientais em geral e em condições especiais, como o período noturno ou sob condições climáticas adversas. Também compõe seu escopo o levantamento das áreas lindeiras em termos de quantidade, natureza e sua interação com o ambiente viário. Considerando, portando, o elevado número de elementos a serem observados, a atividade de vistoria torna-se onerosa em termos de tempo dispendido em campo, com eventuais revisitações para esclarecimentos que se fizerem necessários. Dessa forma, soluções passíveis de reduzir o tempo das equipes nessas atividades externas podem trazer mais agilidade para o processo de ASV.

No campo prático, a forma de interação com o espaço vem sendo alterada pelos avanços tecnológicos que viabilizam a reprodução de ambientes virtuais. Várias áreas, como engenharia e medicina, já se beneficiam de experiências imersivas com alta qualidade sensorial em atividades de ensino, treinamento, realização de diagnóstico, simulação, dentre outros (Kirner e Siscoutto, 2007). Os vídeos em 360° possuem vantagens quanto à utilização de cenários realistas em um ambiente controlado, com baixo custo e alta reprodutibilidade (Velasco *et al.*, 2019). Considerando os elementos de observação das vistorias técnicas de ASV e ISV, é possível perceber o potencial para a sua realização, ainda que parcialmente, empregando essa tecnologia.

Chen e Wei (2008), Santiago-Chaparro e Khan (2008) e Santiago-Chaparro *et al.* (2011a, 2011b, 2011c) identificaram esse potencial e propuseram métodos de ASV com o uso de ambientes virtuais (ASV-AV). Esses estudos empregaram simuladores de direção realísticos para

verificar como os elementos de projeto influenciaram a forma de condução. Porém, o uso de listas de verificação por especialistas para realizar as vistorias do processo de ASV-AV não foi explorado.

Assim, esse artigo propõe um estudo acerca do uso de ambientes virtuais para auxiliar a realização de vistorias empregadas em ISV e ASV. Para tanto, foi elaborada uma lista de verificação para vistorias da segurança viária em ambientes virtuais. O projeto previu o emprego de equipamentos de baixo custo para a imersão em ambientes 3D, tendo utilizado os óculos de realidade virtual (ORV). A lista de verificação e o procedimento de vistoria com ORV podem ser utilizados na concepção de procedimentos híbridos denominados ASV-H e ISV-H, complementares às ASV e ISV tradicionais. Para avaliar a aplicabilidade do procedimento proposto foi realizado um estudo de caso em um trecho da BR-116 no estado de São Paulo, Brasil.

2. MÉTODO

A avaliação do uso de ambientes virtuais (AV) como suporte à vistoria técnica de segurança viária foi proposta por meio de estudo comparativo. Assim, foi delineado o experimento para a obtenção de dados de vistoria a partir de um grupo experimental e de um grupo de controle (ou testemunho). As vistorias devem ser realizadas no mesmo trecho viário, sob as mesmas condições de tráfego e climáticas. A verificação do efeito decorrente do uso de AV na vistoria deve ser verificada por meio do teste *t*.

O método foi estruturado em 3 etapas:

- Elaboração das listas de verificação;
- Processo de vistoria;
- Análise dos resultados.

2.1. Elaboração das Lista de Verificação para vistorias tradicional e híbrida

O Brasil ainda não dispõe de uma lista de verificação (LV) oficial de ASV ou de ISV utilizada pelos órgãos rodoviários. Somado a isso, foi necessário estruturar as LVs para o processo de vistoria apoiado por AV, a exemplo do que foi proposto por TII (2014) para as coletas de dados de campo e por meio de vídeo registros.

A elaboração da LV se deu a partir dos 210 itens da lista de Austroads (2009), 1 item da lista de Schopf (2006) e 26 itens adicionados para adequar à realidade brasileira e verificar elementos passíveis de causar variação brusca de velocidade, tais como, ausência de acostamento, conversão em nível, sinalização luminosa para trechos em obras, itens de visibilidade associados a praças de pedágio, presença de sinalização semafórica, dentre outros. A LV elaborada contempla itens que refletem elementos de projeto de traçado, proteção e ocupação de área lindeira, conservação da rodovia e aspectos climáticos. Os trabalhos brasileiros de Schopf (2006) e Assunção (2015), e os documentos técnicos DNIT (1999), DNIT (2017) e ABNT (2016) foram empregados para o ajuste da nomenclatura técnica nacional.

A lista de verificação (LV) inicial totalizou 13 grupos de itens e 237 subitens de avaliação. Este documento foi submetido a 3 (três) especialistas com *expertise* em segurança viária, sendo um auditor certificado pela *International Road Federation* (IFR) e 2 (dois) pesquisadores na área de segurança viária e ASV. O grupo foi solicitado a analisar a estrutura proposta quanto à clareza, adequação do conteúdo e dos termos técnicos em relação à realidade rodoviária brasileira.

Nessa etapa, os especialistas poderiam sugerir inclusão de itens importantes e sugerir ajustes na descrição de itens para torná-los mais compreensíveis ou adequado à linguagem técnica da área. Por fim, os especialistas foram questionados sobre a viabilidade de realizar a avaliação de cada um dos itens da lista proposta em ambiente virtual, devendo responder apenas se concorda ou não. A partir desta questão, os itens foram classificados para verificação *in loco* ou em ambiente virtual de acordo com a resposta da maioria, isto é, 2 das 3 respostas possíveis. Ao final dessa etapa, a LV resultou 12 grupos e 234 subitens de avaliação, conforme disposto nas 3 primeiras colunas da Tabela 1.

A Tabela 1 traz também, para cada grupo da LV, o número de subitens considerado pelos especialistas como adequados para serem vistoriados em ambientes virtuais, sem prejuízo da análise. Como podem ser observados, 11 dos 12 itens dos grupos tiveram a maioria dos subitens considerados adequados a vistoria em ambiente virtual, totalizando 83,1%. Apenas o grupo 9, referente aos elementos de pavimento, teve a maioria dos itens recomendados para a vistoria exclusivamente *in loco*.

Tabela 1 – Resumo da lista de verificação (LV) proposta

	Título do Grupo	Nº total itens	Nº itens AV ⁽¹⁾	Nº itens <i>in loco</i> ⁽²⁾	Resposta preponderante ⁽³⁾
1	Alinhamento rodoviário e seção transversal	30	26	4	Virtual
2	Faixas auxiliares	10	10	0	Virtual
3	Interseções	18	14	4	Virtual
4	Iluminação e sinalização vertical/semafórica	38	31	7	Virtual
5	Sinalização horizontal e delineamento	23	22	1	Virtual
6	Dispositivos de contenção e zonas livres de obstáculos	28	18	10	Virtual
7	Pedestres e ciclistas	19	16	3	Virtual
8	Pontes e bueiros	10	9	1	Virtual
9	Pavimento	7	1	6	<i>In loco</i>
10	Estacionamento e veículos pesados	13	11	2	Virtual
11	Drenagem superficial	5	3	2	Virtual
12	Diversos	33	30	3	Virtual
	Total	234	191	43	-

⁽¹⁾ Número de subitens do grupo adequado para ser vistoriado em ambiente virtual.

⁽²⁾ Número de subitens do grupo inadequado para ser vistoriado em ambiente virtual, ou seja, deve ser vistoriado exclusivamente *in loco*.

⁽³⁾ Tipo de resposta preponderante para o grupo.

2.2. Vistoria de Segurança Viária apoiada por Ambiente Virtual

O experimento foi estruturado em 4 (quatro) sub-etapas: escolha do trecho viário de estudo e geração do cenário virtual, seleção da equipe técnica (auditores/inspetores), reunião técnica de planejamento das vistorias e realização das vistorias.

a) Escolha do trecho viário de estudo e geração do cenário virtual

Em se tratando de uma rodovia existente, o trecho a ser vistoriado deve ser selecionado conforme o objetivo do estudo e a viabilidade de realização das incursões de campo com segurança da equipe, tanto para realizar as filmagens do trecho, como para realizar as vistorias *in loco*.

O cenário virtual de trechos existentes deve ser gerado a partir de filmagem em 360º em alta resolução. A captação das imagens deve viabilizar uma visão clara da pista, acostamento e áreas adjacentes de modo que, ao ser reproduzida no ambiente virtual, o observador tenha percepções similares a estar viajando no trecho.

Deve-se atentar que a qualidade do cenário virtual depende da qualidade da câmera, do posicionamento desta em relação à pista de rolamento e da velocidade de percurso. Dessa forma, deve-se considerar para a captação das imagens:

- a câmera deve ser fixada no teto de um veículo, no lado externo para evitar interferências e obstruções nas imagens no ângulo de 360°. Deve estar a uma altura entre 2,5 a 3,0m da pista de rolamento de modo a garantir a visualização de todos os elementos da via;
- a velocidade de percurso deve ser de 30 km/h de modo a viabilizar a adequada visualização dos elementos da via, principalmente da sinalização vertical, e também para minimizar os efeitos do *motion-sickness*, o mal-estar decorrente de experiências imersivas em ambientes virtuais;
- as filmagens devem ser realizadas em períodos diurno e noturno, preferencialmente em diferentes condições climáticas (chuva ou neblina – condições que ofereçam riscos para os usuários); e
- se a rodovia estiver localizada no sentido leste-oeste, que possa influenciar na percepção dos elementos da via (ex. cegueira pelo sol próximo ao horizonte), deve-se considerar a realização de filmagem no período crítico.

Para rodovias em fase de projeto, o trecho a ser avaliado é, geralmente, toda a extensão projetada. A geração dos cenários virtuais é realizada a partir dos projetos com o uso de *softwares* específicos, tal como o UC-win/Road (Forum8, 2020).

b) Seleção da equipe técnica (auditores/inspetores)

A equipe técnica deve ser qualificada para a área, multidisciplinar e independente das atividades relativas à rodovia ou ao projeto, para o caso de ASV (DOT, 2014). A equipe deve incluir engenheiros de segurança rodoviária, engenheiros de projeto rodoviário, equipes de manutenção e policiais (se possível). Segundo a FHWA (2006), o número mínimo para composição das equipes de ASV é 3 (três) auditores experientes, sendo um deles designado para liderar o grupo.

A equipe para ISV deve ser composta de profissionais qualificados em projeto geométrico e segurança viária. Segundo TII (2014) a equipe de ISV deve ser composta por pelo menos 2 (dois) inspetores, sendo necessário um membro experiente que deve ser o líder do grupo de trabalho.

c) Reunião técnica de planejamento das vistorias

- Antes de proceder às vistorias, as equipes técnicas devem reunir-se para:
- realizar o nivelamento da equipe para equalizar o nível de conhecimento dos auditores/inspetores, e viabilizar a familiarização com os itens das listas de verificação a serem observados e preenchidos; e
- estudar o projeto do trecho rodoviário a ser vistoriado, avaliar os documentos e informações adicionais sobre o trecho/projeto a ser inspecionado. Para as vias implantadas devem ser definidos os pontos de paradas em campo. Recomenda-se subdividir o trecho total de avaliação em subtrechos de até 10 km, conforme procedimento empregado nos levantamentos da Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2019).

d) Realização das vistorias

Para viabilizar a verificação do impacto de emprego dos AV, os dados do trecho de estudo devem ser coletados de modo a viabilizar a comparação. Assim, deve-se definir pelo menos dois grupos de técnicos para realizar a coleta de modo independente entre si, conforme descrito:

- Grupo A – a equipe deve realizar as inspeções somente *in loco*;
- Grupo B – a equipe deve realizar as inspeções em duas etapas, sendo a Etapa 1, a realização de vistoria em ambiente virtual, e a Etapa 2, a realização de vistoria em campo daqueles itens que não são adequados à vistoria virtual.

2.3. Análise dos Resultados

Os resultados obtidos das vistorias devem ser analisados de modo descritivo e a verificação das diferenças por testes de hipótese, como por exemplo, o teste *t*.

3. ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso objetivou avaliar o uso de ambientes virtuais para realizar vistorias de segurança viária. Para tanto, foi realizada uma análise comparativa dos resultados de inspeção realizados por dois procedimentos: a) vistoria *in loco* (procedimento tradicional) e b) vistoria híbrida, ou seja, realizada em ambiente virtual e *in loco*.

3.1. Características do trecho de estudo - BR 116

Para o experimento, foi selecionado um trecho de 10 km de rodovia rural em operação da BR-116 no Estado de São Paulo, compreendido entre os quilômetros 508+458 m e 518+458 m, pista sul (active). É caracterizado como rodovia rural duplicada, 3 faixas de trânsito por sentido, canteiro central e sem acostamento. O fluxo é ininterrupto, pois não possui sinalização semafórica ou praças de pedágios. No trecho não há presença de vias marginais, interseções ou zonas livres nas áreas externas às defensas e barreiras. O canteiro central é largo acomodando, inclusive, ocupações residenciais irregulares.

Segundo dados fornecidos pela concessionária que administra a rodovia, no ano de 2017 o trecho contou com os volumes diários médios de 8.950 veículos, do km 508+454 m ao km 513+00 m, e 11.050 veículos do km 513+00 m ao km 518+454 m. A composição de tráfego é de 36% de veículos leves, 63% de veículos pesados e 1% de motocicletas. A velocidade de projeto é 80 km/h, a velocidade regulamentada é 60 km/h e a velocidade de operação (V_{85}) obtida por Torres (2015) é 94,8 km/h, ou seja, 18,5% superior à velocidade de projeto e 58,0% superior à velocidade regulamentada no trecho.

De acordo com Massaro *et al.* (2018), considerando o período de início da concessão (2008) até o início do ano 2015, ocorreram 879 acidentes nesse trecho. Pelos dados abertos da Polícia Rodoviária Federal referentes aos anos de 2017 e 2018, pelo menos a metade dos acidentes ocorridos no trecho se deu em condições climáticas adversas, podendo ser neblina ou chuva e, em torno de 40% dos acidentes são do tipo “saída de pista” e “tombamento”. Vale ressaltar que apesar do número de ocorrências, os acidentes são, em geral, sem vítimas fatais.

3.2. Filmagem em 360º do trecho rodoviário para imersão virtual

Para realizar a vistoria em ambiente virtual é necessário construir ou captar, em forma de vídeo, o trecho viário a ser inspecionado pelos auditores. Como o objetivo do trabalho passa pela avaliação de alternativas de imersão envolvendo equipamentos menos complexos e de menores custos, foi definido o emprego dos óculos de realidade virtual (ORV). Este equipamento permite uma condição de imersão visual no ambiente simulado por meio de visualização do ambiente por meio de movimentos da cabeça na direção em que se deseja visualizar. Os vídeos podem conter o som característico do cenário de modo a tornar a experiência imersiva mais realística.

Considerando o custo e a qualidade mínima desejável para o experimento, foi utilizado o conjunto de equipamentos da Samsung: *Smartphone Galaxy S7®*, óculos de realidade virtual (*Gear VR®*) e a câmera *Gear 360º*. Os dois primeiros foram empregados no processo de imersão e a câmera, para fazer filmagem do trecho em 360º. Para realizar a filmagem em movimento com qualidade necessária para gerar o cenário virtual, as definições técnicas utilizadas com a câmera *Gear 360º* foram:

- habilitação no modo *dual lens* – para capturar vídeos em 360º;
- modo 4K UHD (*Ultra High Definition*) (3849 x 2160) – para a resolução da imagem;
- modo HDR (*High Dynamic Range*) – para definição e nitidez da imagem e cores sob diferentes condições de luminosidade.

A filmagem do trecho foi realizada a 4 diferentes velocidades, com a câmera portada em 2 tipos de veículo (veículo de passeio e caminhão), em diferentes condições de luminosidade natural (dia e noite) e percorrendo duas faixas de trânsito distintas (faixa interna e faixa externa à pista). O detalhamento das predefinições de filmagem segue disposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Definições para a filmagem do trecho

Tipo de Veículo	Período	Velocidade ⁽¹⁾	Justificativa
Passeio (H= 1,53 m) ⁽²⁾	Dia e noite	50 km/h	Velocidade preconizada na Metodologia de Pesquisa CNT (2019) para realizar inspeções em movimento
	Dia e noite	60 km/h	Velocidade regulamentada no trecho
	Dia e noite	72 km/h	Velocidade 20% acima da velocidade regulamentada do trecho ⁽³⁾
Caminhão (H= 2,95m) ⁽²⁾	Dia	30 km/h	Solicitada pelos auditores para melhorar, exclusivamente, a visibilidade da área lindeira à via ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Velocidade – velocidade de percurso do veículo para a filmagem do trecho.

⁽²⁾ H – altura de fixação da câmera no veículo.

⁽³⁾ Limite de velocidade empregado pelo CTB para delimitar a 1ª categoria de infração por excesso de velocidade, em geral praticada por grande percentual de motoristas devido, principalmente à falta de atenção.

⁽⁴⁾ Não foi possível a disponibilidade de caminhão para realizar filmagens em período noturno.

3.3. Definição de equipe de auditores, nivelamento e planejamento da coleta de dados

Para realizar as vistorias de segurança viária, foi usada uma amostra por conveniência, ou seja, foi empregado o maior número de especialistas segundo o número de pessoas aptas e interessadas em participar do experimento, considerando ainda, os recursos disponíveis para a pesquisa (sem remuneração/ajuda de custo). Assim, 6 especialistas com aproximadamente 12 anos de experiência em segurança rodoviária participaram da pesquisa. A equipe multidisciplinar foi composta por 3 engenheiros civis, 1 tecnólogo em movimento de terra e pavimentação, 1 engenheiro cartógrafo e 1 tecnólogo em logística. Vale destacar que nenhum especialista tinha contato prévio com a pesquisa.

De modo a reproduzir as condições dos processos de ASV que antecedem a atividade de vistoria, foi realizada uma reunião com os 6 profissionais para apresentar o trecho a ser inspecionado, fazer um nivelamento para uniformização conceitual das equipes e planejar as visitas em campo e em ambiente virtual. O nivelamento das equipes abordou conceitos de ASV, os conceitos de *forgiving roads* (ou rodovias que perdoam) e a norma brasileira de segurança viária ABNT NBR 15.486:2016. Nessa oportunidade foram feitos os esclarecimentos referentes às listas de verificação que os auditores utilizariam nas vistorias, sendo elas a LV_T para inspeção *in loco*, utilizada pelo grupo A responsável pela inspeção tradicional; e as listas LV_{H-V} e LV_{H-I} , respectivamente referentes à vistoria em AV e vistoria em campo (*in loco*), utilizadas pelo grupo B que foi responsável pela inspeção híbrida.

Um aspecto importante referente às LVs propostas é relativo à forma do auditor responder após apreciar cada item de verificação. Em geral, as LVs trazem três colunas associadas a cada item, com as alternativas: presente, ausente e observação. Para viabilizar a análise comparativa das avaliações realizadas, a resposta dos auditores a cada item foi solicitada em escala *Likert* de 5 pontos, correspondendo ao percentual de trecho da rodovia que contém o item em avaliação. Na escala, cada ponto equivale a um intervalo de 20%, dessa forma, o valor 1 corresponde ao caso em que o item avaliado está presente entre 0 a 20% do trecho analisado.

No planejamento da coleta de dados, foram definidos os dias, horários e pontos de parada no trecho. A concessionária local e a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) disponibilizaram pessoal para compor equipes locais de apoio operacional nas incursões em campo, dois veículos equipados com giroflex e identificação do órgão/empresa (uma caminhonete e um caminhão) com motorista, de modo a prover segurança às equipes.

3.4. Realização das vistorias para análise comparativa

A equipe de 6 especialistas foi dividida aleatoriamente em dois grupos de 3 profissionais, compondo os grupos A e B. Segue o detalhando de coleta de dados de cada grupo.

3.4.1. Vistoria *in loco*: Grupo A

O processo de vistoria *in loco* consiste em uma única etapa com o preenchimento de uma lista de verificação (LV) que contém 234 itens. A equipe seguiu para o trecho de análise com 3 pontos predefinidos para parada. O trecho foi percorrido 7 vezes durante o dia, e 1 vez no período noturno, porém sem realizar paradas neste último. A velocidade de percurso empregada foi a velocidade regulamentada (60 km/h). Foram necessários 2 dias completos de mobilização da equipe para realizar as atividades de campo. O tempo foi computado considerando o deslocamento da base (sede da ANTT, no km 446+070m) até o trecho de inspeção, as 8 viagens pelo trecho de 10 km com as paradas programadas.

3.4.2. Vistoria por imersão virtual: Grupo B

O processo de vistoria híbrida consiste em duas etapas, sendo a Etapa 1 correspondente à vistoria realizada em AV e preenchimento da lista de verificação LV_{H-V} (com 191 itens), e a Etapa 2, a vistoria em campo e preenchimento da lista de verificação LV_{H-I} (com 43 itens). A imersão para proceder à inspeção virtual foi realizada através dos óculos de realidade virtual e visualização do trecho filmado em 3 diferentes velocidades (30 km/h; 50 km/h e 60 km/h), percorrido em 2 faixas de rolamento distintas (faixa interna e faixa externa à pista) e com 2 alturas de captura distintas (1,53 e 2,95m). A Figura 3 traz imagens do trecho inspecionado obtidas a partir da câmera *Gear 360º* para ilustrar uma direção de visualização no ORV disponível aos inspetores.



(a) captação a 1,53m

(b) captação a 2,95m

Figura 3. Imagens do trecho rodoviário obtidas com a câmera Gear 360º

As velocidades foram definidas inicialmente em 50, 60 e 72 km/h por serem, respectivamente, a velocidade preconizada na metodologia da Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2019), a velocidade regulamentada do trecho (60 km/h) e a velocidade 20% superior à velocidade regulamentada (Brasil, 1997). Porém, a experiência imersiva permitiu aos especialistas concluir que, percorrendo o trecho nas velocidades de 50 km/h e 60 km/h, foi possível analisar elementos geométricos, de sinalização horizontal e de área lindeira satisfatoriamente. Já a avaliação da sinalização vertical ficou prejudicada, o que levou os especialistas a solicitar filmagens à velocidade de 30 km/h. A velocidade de 72 km/h não foi utilizada para inspeção, pois causou o efeito de *motion-sickness* em membros da equipe logo ao início da imersão. Esse efeito era esperado, pois Torres *et al.* (2018) observaram que experimentos realizados em ambientes virtuais estáticos causam maior severidade de mal-estar que os realizados em ambientes virtuais dinâmicos.

Nesse processo, foi também solicitado pela equipe da vistoria em ambiente virtual, a geração do ambiente a uma altura superior à obtida inicialmente com o veículo de passeio para permitir a melhor visualização da área lindeira à via. Assim, foi realizada uma filmagem do trecho com a câmera instalada a 2,95 m, e velocidade de 30 km/h. De acordo com os técnicos, essa configuração proporcionou a melhor visualização de todos os elementos geométricos, de sinalização horizontal, sinalização vertical e área lindeira à pista.



(a) inspeção em campo

(b) inspeção utilizando ORV

Figura 4. Equipe em diferentes métodos de inspeção

A Etapa 1 da vistoria híbrida foi finalizada após 8 passagens pelo trecho no período diurno e 2 passagens no período noturno. O tempo médio dispendido em cada passagem virtual pelo trecho (10 km) foi de 15 minutos, totalizando 2,5 horas “em trânsito”. Após as observações do trecho, os membros preencheram a lista de verificação (LV_{H-V}). Em sequência, a equipe seguiu para executar a Etapa 2 que é a vistoria *in loco*. Como os especialistas já haviam realizado várias incursões virtuais no trecho, eles já tinham conhecimento suficiente da região para fazer a vistoria *in loco* com menos passagens. Dessa forma, o trecho foi percorrido apenas 2 vezes, sendo uma à luz do dia e a outra no período noturno. A Figura 4 mostra a equipe do grupo B realizando as vistorias em campo e utilizando ORV.

Assim, considerando o tempo total dispendido pelo grupo B sendo, o tempo de vistoria no ambiente virtual em escritório e o tempo de vistoria de campo com deslocamento da base (sede da ANTT, no km 446+070m) até o trecho, conclui-se que 1 dia é suficiente para realizar as duas etapas da vistoria. Um bom arranjo para essa coleta é realizar as vistorias em ambiente virtual no período da manhã e as vistorias em campo no período da tarde e início da noite.

3.5. Tratamento dos dados e análise comparativa

Para viabilizar a análise comparativa dos resultados obtidos das inspeções realizadas pelos grupos A e B, a pesquisa foi conduzida de modo que:

- a) todos os auditores foram observados sob as mesmas condições;
- b) não houve interação entre os auditores, tanto entre os grupos quanto dentro deles na ocasião de preenchimento das listas de verificação.

Para testar a hipótese de igualdade das respostas obtidas pelos dois grupos, foi utilizado o teste “*t*”, bicaudal, sobre as médias dos resultados, com o nível de significância de 5%. Assim, a probabilidade de significância (ρ) pode estar compreendida por duas situações: (a) $\rho > \alpha$ – não rejeita H_0 (os dados estão em conformidade com a hipótese nula, isto é, os dados não mostraram evidência suficiente para rejeitá-la) e (b) $\rho \leq \alpha$ – rejeita H_0 .

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram analisados por dois procedimentos: análise estatística, via teste *t*, e análise gráfica e medidas de dispersão.

4.2. Análise gráfica e medidas de dispersão

A Figura 5 traz o *boxplot* construído com as respostas obtidas das vistorias realizadas pelo grupo A, em campo, e pelo grupo B, híbrida. Pelo gráfico é possível observar que os valores das medianas dos dois grupos são praticamente iguais, porém, nota-se a maior variabilidade entre o primeiro e o segundo quartil nos valores obtidos das verificações híbridas em relação às realizadas em campo.

O Coeficiente de Variação (CV) indica a dispersão dos dados de forma relativa, pois quanto menor o valor, mais homogêneas são as respostas e menor será a dispersão em torno da média. Analisando separadamente o Coeficiente de Variação para as respostas obtidas para os grupos A e B, nota-se a semelhança entre os resultados obtidos em campo (CV=47,59%) e híbridas (CV=49,1%) indicando níveis de dispersão similares para os resultados obtidos para os dois procedimentos de vistoria.

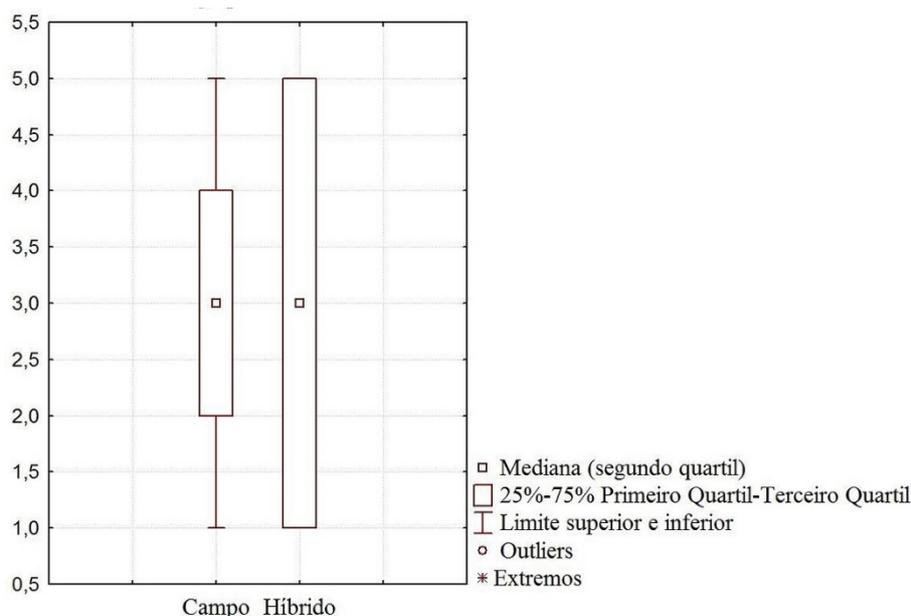


Figura 5. Boxplot comparativo de vistoria de campo (esquerda) e híbrida (direita)

Ao analisar o coeficiente de variação (CV) por grupo da LV (coluna CV da Tabela 3), é possível observar que os resultados da vistoria híbrida são menos dispersos. Esse resultado pode se dar devido às condições mais controladas em que a vistoria com o ORV é realizada, o que pode deixar o auditor mais tranquilo para observar os elementos em análise.

Ainda na Tabela 3, vale destacar o CV de 81,65% observado para os itens do grupo 11 (elementos de drenagem) na vistoria em campo. Ao analisar individualmente os dados de cada técnico, foi possível identificar um resultado discrepante dentre as três avaliações realizadas. Essa ficha veio com uma anotação que viabilizou identificar um erro na atribuição da nota, pois, foi atribuída a graduação 4 com a observação “O relevo impossibilita a adequada posição dos bueiros”, sendo que para essa conclusão o auditor deveria ter atribuído 1 ou no máximo 2.

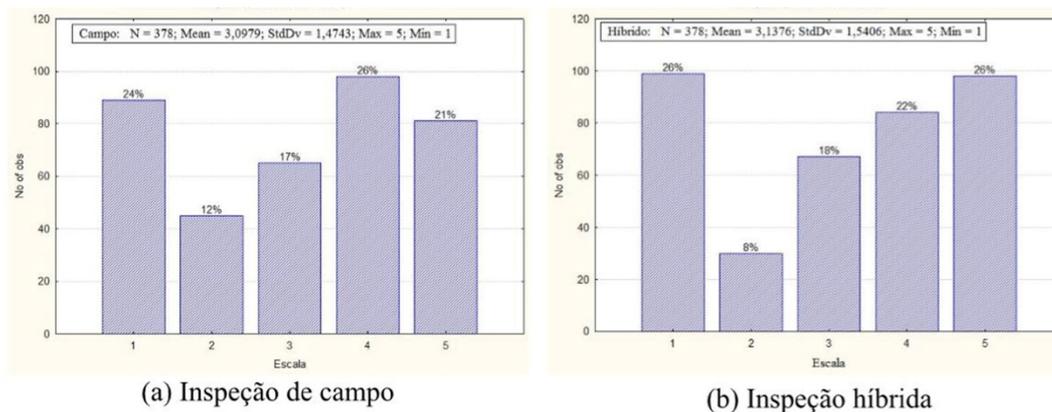


Figura 6. Diagrama de barras da frequência de observações por valor da escala

A Figura 6 traz o diagrama de barras gerado para os resultados obtidos por graduação da escala, para cada tipo de inspeção (*in loco* e híbrida). As médias e desvio padrão observados para os dois grupos também foram próximos, indicando que as inspeções trouxeram, em média, respostas similares:

- Inspeção *in loco*: média = 3,10 e desvio-padrão = 1,47;
- Inspeção híbrida: média = 3,14 e desvio-padrão = 1,54.

4.1. Teste *t*

A partir dos resultados das inspeções realizadas pelos grupos A e B, foram realizados os testes estatísticos para a verificação da hipótese do estudo.

Dos 234 subitens propostos na lista de verificação, foram utilizados para as análises estatísticas, apenas os itens com respostas de todos os auditores. Sendo assim, 126 subitens foram analisados (53,84% dos itens propostos). Ressalta-se que os itens não respondidos são referentes a elementos que não se aplicavam ao trecho em estudo, como por exemplo, a presença de controle semafórico e de interseção.

Tabela 3 – Medidas estatísticas e teste de significância para os itens dos grupos

Grupo	Método de Inspeção	Méd.	Mediana	Moda	Var.	Desvio Padrão	Erro Padrão	CV	P	Região De Rejeição
Grupo 1	Campo	3,456	4	5	2,503	1,582	0,210	45,77% **	0,547	Não rejeita H ₀
	Híbrido	3,281	4	5	2,313	1,521	0,201	46,35%		
Grupo 2	Campo	3,067	3	3	1,067	1,033	0,267	33,68%	0,001*	Rejeita H ₀
	Híbrido	4,267	4	4	0,352	0,594	0,153	13,91% **		
Grupo 3										
Grupo 4	Campo	3,250	3	4	1,553	1,246	0,180	38,35% **	0,766	Não rejeita H ₀
	Híbrido	3,333	4	4	2,184	1,478	0,213	44,34%		
Grupo 5	Campo	3,603	4	4	1,727	1,314	0,166	36,47%	0,01*	Rejeita H ₀
	Híbrido	4,190	5	5	1,253	1,120	0,141	26,72% **		
Grupo 6	Campo	2,571	3	1	1,763	1,328	0,205	51,64% *	0,360	Não rejeita H ₀
	Híbrido	2,310	2	1	1,634	1,278	0,197	55,34%		
Grupo 7	Campo	1,200	1	1	0,303	0,551	0,101	45,91%	0,052	Não rejeita H ₀
	Híbrido	1,000	1	1	0,000	0,000	0,000	0,00% **		
Grupo 8	Campo	3,792	4	5	1,216	1,103	0,225	29,08% **	0,644	Não rejeita H ₀
	Híbrido	3,958	5	5	1,868	1,367	0,279	34,53%		
Grupo 9	Campo	3,333	4	2	1,952	1,397	0,361	41,92%	0,537	Não rejeita H ₀
	Híbrido	3,067	3	3	0,781	0,884	0,228	28,82%**		
Grupo 10	Campo	3,700	4	5	1,872	1,368	0,250	36,98%	0,614	Não rejeita H ₀
	Híbrido	3,533	4	Mult	1,361	1,167	0,213	33,02%**		
Grupo 11	Campo	1,500	1	1	1,500	1,225	0,500	81,65%	0,541	Não rejeita H ₀
	Híbrido	1,167	1	1	0,167	0,408	0,167	34,99%**		
Grupo 12	Campo	2,917	3	4	2,163	1,471	0,212	50,43%**	0,496	Não rejeita H ₀
	Híbrido	2,708	3	1	2,296	1,515	0,219	55,95%		
Total	Campo	3,098	3	4	2,173	1,474	0,076	47,59%*	0,718	Não rejeita H ₀
	Híbrido	3,138	3	1	2,374	1,541	0,079	49,10%		

* Significativo; ** Menores dispersões; Mult. – Múltiplo; CV- Coeficiente de Variação.

O teste *t* de *Student* foi aplicado com as médias das respostas obtidas para os dois grupos, ou seja, duas amostras independentes (grupos A e B) com valor de significância de $p < 0,05$. Os testes foram realizados no *software* *Statistica* (StatSoft Inc, 2005). Os parâmetros com nível de significância do teste *t* de *Student* superior a 5%, considerados não significativos, indicaram a potencialidade do uso de óculos de realidade virtual (ORV) para realizar vistorias de segurança viária. A Tabela 3 traz os resultados dos testes de significância para todos os grupos dos itens de verificação, em que são apresentadas as médias, mediana, moda, variância, desvio padrão, erro padrão e coeficiente de variação. Traz também os valores de ρ , em que $\rho > \alpha$ – não

rejeita H_0 e $p \leq \alpha$ – rejeita H_0 . O grupo 3, referente a intersecções, não pôde ser verificado, pois não se aplicava no trecho selecionado.

Nota-se, pela Tabela 3, que no geral, não há diferenças significativas entre as avaliações realizadas em campo e de maneira híbrida, exceto para os grupos 2 (Faixas auxiliares) e 5 (Sinalização Horizontal e Delineamento).

As diferenças significativas observadas nos itens do grupo 2, foram relativas aos posicionamentos dos *tapers* (faixas de aceleração e desaceleração) e distância de visibilidade nas faixas auxiliares. E para o grupo 5, as diferenças foram observadas para 3 itens especificamente: a) adequação da sinalização horizontal para diferentes condições (dia, noite, molhado, seco, neblina, nascer do sol e pôr do sol, faróis do tráfego oposto, etc.), b) sobre as condições das tachas refletivas e c) sobre a adequada visibilidade da sinalização horizontal em termos de contraste em relação ao pavimento. Quanto às diferenças observadas para os itens do grupo 2, é válido ressaltar a observação dos especialistas que fizeram a inspeção híbrida que indicaram a adequação de incluir nos vídeos imagens com detalhes de elementos como *tapers*, faixas auxiliares e intersecções. E, em relação às diferenças observada no grupo 5, suspeita-se que ocorreram devido ao fato de não terem sido feitas filmagens com tempo chuvoso, enquanto essa situação foi presenciada pela equipe que realizou a ASV tradicional quando da vistoria à noite. Para o grupo 9, referente a pavimentos, como era esperado, não houve diferença significativa entre a média das respostas, pois grande parte dos itens desse grupo foram avaliados pelas duas equipes da mesma forma, ou seja, *in loco*. Dos itens referentes a pavimento, apenas um, relativo à presença de defeitos do pavimento, foi vistoriado de forma diferente pelos dois grupos (em campo e por ORV), e mesmo assim, as diferenças das médias das respostas não apresentaram diferenças significativas.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A realização de vistorias técnicas em rodovias é uma atividade prevista dentro de algumas etapas da ASV e da ISV. Devido à quantidade de item de avaliação de campo somadas às questões comuns ao espaço rodoviário, tais como, o fluxo veicular intenso, condições meteorológicas adversas ou mesmo condições geométricas desfavoráveis, podem dificultar a adequada observação dos elementos demandando por revisitação ou mesmo expor as equipes técnicas a riscos. O uso de tecnologias imersivas para realizar a avaliação de cenários é uma opção em uso em diferentes áreas do conhecimento, porém sem relatos na literatura para vistorias de segurança viária.

Assim, este trabalho trouxe um estudo sobre a potencialidade de emprego da tecnologia de ambientes virtuais para realizar inspeções de segurança viária, de modo a agilizar o trabalho, aumentar a segurança dos auditores por reduzir seu tempo de exposição em trechos rodoviários em operação e também, na redução de custos.

Para averiguar a efetividade da proposta, foi realizado um experimento de campo envolvendo seis especialistas que foram divididos em dois grupos. Um grupo foi designado a realizar a vistoria do trecho pelo método tradicional, *in loco*, e o outro, pelo método proposto, ou seja, empregando a tecnologia de ambientes virtuais. Para viabilizar a vistoria virtual foi realizada a filmagem em 360° do trecho de estudo o qual foi visualizado pelos auditores através do uso de óculos de realidade virtual que proporciona experiência imersiva de caráter audiovisual, sem interferência do ambiente externo. Os auditores tinham as listas de verificação disponíveis para fazerem as anotações referentes ao processo de vistoria. Os resultados obtidos do estudo

indicaram que a vistoria híbrida não prejudicou a capacidade de observação e julgamento dos especialistas. Eles também confirmaram o potencial de redução do tempo dispendido nas atividades de campo, o incremento da segurança para as equipes e trouxeram ainda, indicativos adicionais relacionados ao conforto e a possibilidade de revisitação do espaço viário virtual para esclarecimentos que se fizerem necessários. A aplicação do teste *t* apontou não haver diferenças significativas das médias das respostas obtidas pelos grupos utilizados no experimento, indicando o potencial de utilização da tecnologia nos moldes aplicados, para realizar vistorias de segurança viária.

Ao avaliar o tempo dispendido para completar a coleta de dados, foi possível observar o menor tempo de mobilização da equipe que realizou a vistoria híbrida. Enquanto foram necessários 5 períodos (manhã e/ou tarde e/ou noite) para realizar todas as observações de campo pela equipe de vistoria tradicional, a equipe de vistoria híbrida dispendeu 1 período para as incursões virtuais (em escritório) e 2 períodos (tarde e noite) para as vistorias *in loco* requeridas pelo método proposto. Dessa forma, enquanto uma equipe demandou 2,5 dias de dedicação, a outra tem potencial para realizar o mesmo levantamento em apenas um dia. Esses resultados contribuem para indicar o potencial de redução de custos em ASV ou ISV que empregam as vistorias híbridas, pois, apesar do uso da realidade virtual requerer a construção dos cenários e uso de equipamentos específicos, foi visto neste estudo de caso que é possível obtê-lo a baixos custos, sobretudo se forem comparados aos custos relacionados à mobilização das equipes técnicas e deslocamentos em campo. Em se considerando as vistorias em fase de projeto é possível os custos relacionados à elaboração de cenários virtuais a partir dos projetos sejam ainda elevados, no entanto, há que se considerar nessa avaliação os benefícios resultantes das medidas pró-ativas, sobretudo se realizadas nas fases iniciais do projeto (TRA, 2011; Austroads, 2009; AfDB, 2014).

O estudo viabilizou observar ainda, que as condições de conforto e segurança dos auditores quando realizam as inspeções em locais controlados, podem contribuir para um resultado mais acurado. Essa hipótese foi reforçada a partir de um resultado atípico (CV = 81,65%) que motivou a reanálise das LVs preenchidas, da qual obteve-se indicativos de equívoco na escolha da gradação na ocasião de preenchimento da LV em campo, confirmada por uma observação registrada na ficha pelo próprio técnico. Aspectos similares podem ser decorrentes do estresse causado pelo ambiente. Ademais, tornando o processo de coleta de dados apoiado por equipamentos que viabilizam a consolidação das respostas das listas de verificação em tempo real, casos dessa natureza poderiam ser corrigidos mediante reavaliação imediata, sobretudo em se tratando do ambiente virtual.

Por fim, vale destacar que a principal limitação para o estudo apresentado foi a constituição da equipe de especialistas para realizar as inspeções. É sabido que o Brasil não é um país adepto da prática de auditorias de segurança viária, o que dificulta a localização de profissionais com experiência nessa área. Porém, apesar disso, os resultados trouxeram indicativos positivos para a continuidade de pesquisas na área e para a aplicação do procedimento que, pelo baixo custo dos recursos necessários, são passíveis de emprego sem dificuldades dessa natureza.

Para pesquisas futuras recomenda-se, em sendo possível, aumentar o tamanho da amostra com um número maior de auditores; realizar o experimento em locais diferentes para possibilitar a avaliação dos itens não avaliados nessa pesquisa, como por exemplo, análise de interseções (grupo 3) e realizar inspeções virtuais com filmagens obtidas em período de chuva e sob neblina (pois o tipo de câmera utilizada não permite). É oportuno também investigar a

percepção da equipe técnica quanto às questões de conforto e estresse, como também se o uso de AV pode incrementar a confiabilidade das coletas de dados por esses fatores serem controlados. Por fim, apesar de estudos indicarem que 80% da informação necessária para a condução seja visual (Kemeny, 1999; Lozia, 2011) é prudente considerar as limitações do recurso de realidade virtual empregado nesta pesquisa, tal como representação dos efeitos dinâmicos do movimento veicular na pista. Dessa forma, recomenda-se a realização de estudos associando os ORV a simuladores de direção de modo a avaliar o efeito da representação de dinâmica do movimento nos resultados de inspeção.

AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), Autopista Régis Bittercourt e Arteris S.A. pela disponibilização dos dados e suporte operacional para realizar a pesquisa de campo. Aos auditores e especialistas em segurança viária, pela disponibilidade e pela contribuição para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AfDB (2014) *New Roads and Schemes: Road Safety Audit*. Road Safety Manuals for Africa. Transport and ICT Department. 1th Ed. Abidjan, République de Côte d'Ivoire. 85 p.
- ABNT (2016) *NBR 15486 - Segurança no tráfego - Dispositivos de Contenção Viária - Diretrizes de projeto e ensaios de impacto*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ.
- Assunção, L. T. (2015) *Instrumento de auditoria de segurança viária para projetos rodoviários*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Transportes - PPGT. Universidade de Brasília. Brasília, DF, 337 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.26512/2015.07.D.21528>.
- Austrroads (2009) *Guide to Road Safety - Part 6: Road Safety Audit*. Austrroads/Pub No. AGRS06/09. 3th Edition, Sydney, Australia. 187 p.
- Brasil (1997) *Código de Trânsito Brasileiro - CTB - Lei Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997*. Brasília, D. F.
- Chen, T. e L. Wei (2008) *Road safety evaluation system based on virtual simulation*. Proceedings - International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2008. Key Laboratory of Automotive Transportation, Safety of MOC, Chang'an University, Xi'an, China. v. 2, p. 446-450. DOI:10.1109/ICICTA.2008.451.
- CNT (2019) *Pesquisa CNT de rodovias 2019*. Confederação Nacional do Transporte (CNT, SEST, & SENAT, Eds) Brasília, DF, v. 1, 236 p.
- DNIT (1999) *Manual de projeto geométrico de rodovias rurais*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR. Publ., 706). Rio de Janeiro, RJ, 195p.
- DNIT (2017) *Glossário de termos técnicos rodoviários*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR Publ. 700). 2. ed. - Rio de Janeiro, RJ, 324p.
- DOT (2014) *Road Safety Audits*. Federal Highway Administration. Disponível em: <<https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/Road>> (Acesso em 9/11/2017).
- FHWA (2006) *FHWA Road Safety Audit Guidelines*. U. S. Department of Transportation. Disponível em: <https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/guidelines/appendix_a.htm>.
- Forum8 (2020) *UC-win/Road product information*. Disponível em: <<https://www.forum8.com/>> (Acesso em 03/03/2020).
- Highways England (2020) *Design Manual for Roads and Bridges (DMRB)*. GG 119 - Road Safety Audit (formerly HD 19/15) Revision 2. Disponível em: <<https://www.standardsforhighways.co.uk/dmrbs/search?volume=5>> London, UK. 57 p.
- Kemeny, A. (1999) *Simulation and perception*. In: DSC'99: Driving Simulation Conference (Ed), Driving Simulation Conference (p. 13-20). Paris, France.
- Kirner, C. e R. Siscoutto (2007) *Realidade Virtual e Aumentada : Conceitos , Projeto e Aplicações*. (C. Kirner & R. Siscoutto, Eds). Editora SB. Pré-Simpósio IX Symposium on Virtual and Augmented Reality. Petrópolis, RJ. Disponível em: <http://www.de.ufpb.br/~labteve/publi/2007_svrps.pdf>.
- Lozia, Z. (2011) *Driving Simulator - a supplementary tool in testing and training of drivers*. 7th International Scientific Conference TRANSBALTICA, Vilnius, Lituânia. p. 95-102.
- Massaro, C. M.; R. L. Ribeiro; N. N. Nardez; A. P. C. Larocca e M. Andrade (2018) *Análises dos acidentes de trânsito em um trecho de rodovia de pista dupla da BR-116 / SP : Abordagem segundo o programa "Pare" e o "Highway Safety Manual - HSM"*. Transportes, v. 26, n. 4, p. 144-157. DOI:10.14295/transportes.v26i4.1549.
- NPRA (2014) *Road Safety Audits and Inspections*. Norwegian Public Roads Administration (NPRA) Manual Series, No. V720 E. Lillehammer, Norway. 74 p.
- OECD/ITF (2015) *Road Infrastructure Safety Management (RISM)*. Research Report. Disponível em: <<https://www.itf-oecd.org/road-infrastructure-safety-management>>. Paris, France. 146 p.
- PIARC (2011) *Road Safety Audit Guidelines for Safety Checks of New Road Projects*. PIARC Technical Committee 3.1 Road Safety. World Road Association, Paris, France. 385 p.

- RTA (2011) *Guidelines for Road Safety Audit Practices*. Roads and Traffic Authority of New South Wales. RTA/Pub N. 11.291. 74 p.
- Santiago-Chaparro, K. R.; M. Deamico; A. Bill; M. Chitturi e D. Noyce (2011a) *A framework for conducting virtual road safety audits using driving simulators*. Advances in Transportation Studies, (SPEC).
- Santiago-Chaparro, K. R.; M. Deamico; A. Bill; M. Chitturi e D. Noyce (2011b) *Realistic-scenario creation process for virtual road safety audits*. Advances in Transportation Studies, (SPEC), 19–28. DOI:10.4399/97888548465793.
- Santiago-Chaparro, K. R.; M. Deamico; A. Bill; M. Chitturi e D. Noyce (2011c) *Virtual Road Safety Audits Using Driving Simulators: A Framework*. 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, Indianapolis, US.
- Santiago-Chaparro, K. R. e G. Khan (2008) *Conducting Road Inventory, Road Conditions and Safety Audits in: A Virtual Environment*. Institute of Transportation Engineers Annual Meeting and Exhibit 2008 (p. 442–452). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84873485560&partnerID=40&md5=d451d3256c05936f9da60ae27e95595f>>.
- Schopf, A. R. (2006) *Revisão de Segurança Viária: proposição de uma lista de verificação adaptada à realidade brasileira*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 189 p.
- StatSoft Inc. (2005) *STATISTICA (data analysis software system)*. USA. Disponível em: <www.statsoft.com>.
- TII (2014) *Road Safety Inspection Guidelines*. Transport Infrastructure Ireland Publications. Part 2, NRA HA 17/14. Dublin, Ireland. 34 p.
- Torres, A. L. M. (2015) *Análise de consistência de traçado de uma rodovia de múltiplas faixas*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 149p. DOI:10.11606/D.3.2016.tde-21062016-153408.
- Torres, T. B.; L. B. Kappler; C. T. Nodari e C. S. Framarim (2018) *O mal-estar em condução simulada: comparação entre simuladores imersivos de direção com plataforma estática e dinâmica*. Anais do XXXII Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET. Gramado, RS, v. u., 13 p.
- UNECE/TEM (2018) *Road Safety Audit and Road Safety Inspection on the TEM network*. Trans-European North-South Motorway (TEM), United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). United Nations, Geneva, USA. 40 p.
- Velasco, J. P. N.; H. Farah; B. V. Arem e M. P. Hagenzieker (2019) *Studying pedestrians crossing behavior when interacting with automated vehicles using virtual reality*. Transportation Research Part F, v. 66, p. 1–14. DOI:10.1016/j.trf.2019.08.015..