



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ  
CAMPUS TERESINA CENTRAL  
TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

MATHEUS PEREIRA BARROS

**ESTRADA DRIVER - DESENVOLVIMENTO DE SIMULADOR VIRTUAL  
TRIDIMENSIONAL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO À EDUCAÇÃO NO  
TRÂNSITO**

TERESINA, PIAUÍ

2019

MATHEUS PEREIRA BARROS

ESTRADA DRIVER - DESENVOLVIMENTO DE SIMULADOR VIRTUAL  
TRIDIMENSIONAL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO À EDUCAÇÃO NO TRÂNSITO

Projeto apresentado à Banca Examinadora como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

**Orientador:** Prof. Dr. Franciéric Alves de Araújo

TERESINA, PIAUÍ

2019



### **FICHA CATALOGRÁFICA**

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P277e      Pereira Barros, Matheus  
ESTRADA DRIVER - Desenvolvimento de simulador virtual tridimensional como  
ferramenta de auxílio à educação no trânsito / Matheus Pereira Barros - 2019.  
87 p. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia) - Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Tecnologia em Análise e  
Desenvolvimento de Sistemas, 2019.

Orientador : Prof Dr. Franciéric Alves de Araújo.

1. Educação no Trânsito. 2. Simulador de Direção. 3. Realidade Virtual. I. Título.

CDD 004

---



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ  
CAMPUS TERESINA-CENTRAL  
DIRETORIA DE ENSINO  
DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÃO, AMBIENTE, SAÚDE E PRODUÇÃO ALIMENTÍCIA

### FOLHA DE APROVAÇÃO

**Título: ESTRADA DRIVER - DESENVOLVIMENTO DE SIMULADOR VIRTUAL TRIDIMENSIONAL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO À EDUCAÇÃO NO TRÂNSITO.**

**Aluno: MATHEUS PEREIRA BARROS**

**Data: 29 de janeiro de 2019.**

Trabalho de Conclusão da disciplina TCC II defendido junto ao Departamento de Informação, Ambiente, Saúde e Produção Alimentícia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI.

**Presidente:** Prof. Dr. Franciéric Alves de Araújo  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

**Examinador:** Prof. Me. Fernando Castelo Branco Gonçalves Santana  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

**Examinador:** Prof.ª Dr.ª Elanne Cristina Oliveira dos Santos  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

Aos meus pais, Bernardo e Risalva, as minhas irmãs, Laís e Lusiane, e a minha  
sobrinha e afilhada Maria Luísa.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus que é Pai, Filho e Espírito Santo por nos conceder o dom da vida e do conhecimento.

Em seguida, devo a realização deste trabalho à minha família. Meu pai: Bernardo, minha mãe: Risalva, minhas irmãs: Laís e Lusiane e minha sobrinha-afilhada Maria Luísa. São anos de amor, dedicação e apoio integral em todos os momentos.

A estas pessoas, reiteiro os meus mais amorosos e sinceros agradecimentos.

Ao Instituto Federal do Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, que desde o ensino médio tem sido para mim um lugar de desenvolvimento acadêmico e profissional. Todas as aulas, ensinamentos, professores, amigos, profissionais, trabalhos de pesquisa, viagens, estágio profissional e artigos publicados foram de vital importância para formar aquilo que eu sou e o trabalho que está sendo detalhado neste documento. O meu eterno agradecimento a essa instituição que me abraçou durante tantos anos.

Ao meu orientador Franciéric Alves por ter apostado nesse trabalho e pelas orientações precisas ao decorrer dele. Desde 2016 temos essa parceria e que ela continue se estendendo por muito tempo. É um grande professor e profissional da computação que eu pude conhecer. Agradeço aos professores Fernando Santana e Elanne dos Santos pelas pontuais observações na primeira etapa deste trabalho.

Agradeço também de maneira especial à Roberta Moura, psicóloga do IFPI - Campus Teresina Central pela ajuda crucial na organização da minha vida emocional. Isso foi decisivo para que eu pudesse me fortalecer psicologicamente para produzir este trabalho. Mais uma vez agradeço ao IFPI por ter em seu quadro de profissionais pessoas extremamente competentes.

Aos amigos mais próximos que eu conheci em 2018 e que deram uma enorme contribuição emocional para que eu pudesse prosseguir com este trabalho.

Sou grato também aos voluntários que gentilmente se dispuseram a colaborar com a pesquisa realizada neste trabalho.

Agradeço também aos desenvolvedores de ferramentas como a Unity e o Blender que fizeram com que eu me redescobrisse enquanto estudante e profissional de computação.

*“Vai!  
e avisa a todo mundo que encontrar  
que existe ainda um sonho pra sonhar [...]”  
(NANDO; FEGHALI, 1988)*

## RESUMO

Existem diversos problemas no tráfego de veículos automotores no Brasil. É um país com dimensões continentais e frota estimada em 100 milhões de veículos em circulação. Foram registradas em 2015 aproximadamente 54 mil mortes em acidentes de trânsito. Além disso, houve um custo ao erário estimado em 19 bilhões de reais pelo mesmo motivo. Aproximadamente 93% dos acidentes de trânsito são causados por falhas humanas, sendo o excesso de velocidade, o uso de celular durante a direção e o efeito de drogas na condução de veículos as três mais determinantes, além do desrespeito à sinalização.

Para coibir tais práticas, existem dispositivos na legislação de trânsito para identificar e punir infratores responsáveis por tais acidentes, além de mecanismos educacionais como campanhas veiculadas na mídia e implementação de aparatos tecnológicos na formação de condutores de veículos.

Este trabalho apresenta um simulador de direção veicular com realidade virtual para PC que visa treinar motoristas em formação para tornar o aprendizado das leis de trânsito mais lúdico, conscientizando-os da importância em adotar uma postura defensiva na condução de veículos. No sistema apresentado neste trabalho, o usuário utiliza um óculos de realidade virtual que possibilita o uso de *smartphone* como *display* e controladores de jogo para interação com o ambiente virtual.

**Palavras-chaves:** Educação no trânsito, simulador de direção, realidade virtual

## **ABSTRACT**

There are several problems in vehicle traffic in Brazil. It is a country with continental dimensions and 100 millions vehicles in circulation. Approximately 54 thousand deaths were registered in 2015 in traffic accidents. In addition, there was a estimated cost of R\$ 19 billion to the public coffers for the same reason. Approximately 93% of traffic accidents are caused by human faults, such as speeding, cell phone use during driving and drugs effects on driving on the three most important ones, as well as disrespect to traffic signage.

To curb such practices, there are provisions in traffic legislation to identify and punish offenders responsible for such accidents, as well as educational mechanisms such as media campaigns and the implementation of technological devices in the training of vehicle drivers.

This work presents a virtual reality driving simulator for PC that aims to train forming drivers to become the learning of traffic laws more playful, making them aware of the importance of adopting a defensive posture in vehicle driving. In the system presented in this work, the user uses a virtual reality glasses that enables the use of smartphone as display and game controllers for interaction with the virtual environment.

**Key-words:** Transit education, driving simulator, virtual reality

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Simulador em realidade virtual de montanha-russa . . . . .                                                      | 19 |
| Figura 2 – Simulador de direção aplicado no treinamento de alunos em auto-escolas . . . . .                                | 20 |
| Figura 3 – Metodologia de Design de Jogos Sérios de Simulação para Treinamento                                             | 21 |
| Figura 4 – Adjetivação dos resultados no sistema SUS . . . . .                                                             | 23 |
| Figura 5 – Imagem capturada do <i>game</i> The Witcher 3, desenvolvido na <i>game engine</i> REDengine 3 . . . . .         | 25 |
| Figura 6 – Imagem capturada do jogo Fortnite Battle Royale, desenvolvido na Unreal Engine 4 . . . . .                      | 25 |
| Figura 7 – Imagem capturada do jogo Cities Skylines, desenvolvido na Unity3D                                               | 26 |
| Figura 8 – Alguns tipos de <i>assets</i> que podem ser importados para um projeto na Unity 3D . . . . .                    | 27 |
| Figura 9 – Ambiente gráfico de desenvolvimento da Unity . . . . .                                                          | 28 |
| Figura 10 – Captura de tela do jogo “Viação EstradaBus Game” . . . . .                                                     | 42 |
| Figura 11 – Caso de uso acerca da utilização do menu principal . . . . .                                                   | 43 |
| Figura 12 – Caso de uso acerca da utilização do simulador EstradaDriver . . . .                                            | 44 |
| Figura 13 – Relações entre módulos no projeto do EstradaDriver . . . . .                                                   | 45 |
| Figura 14 – Imagem do simulador EstradaDriver em execução . . . . .                                                        | 47 |
| Figura 15 – Imagem da edição da parte externa de ônibus no textitsoftware Blender                                          | 49 |
| Figura 16 – Imagem da edição da parte interna (cabine e painel) de ônibus no <i>software</i> Blender . . . . .             | 49 |
| Figura 17 – Imagem do modelo 3D do ônibus com texturas 2D importado na Unity                                               | 50 |
| Figura 18 – Visão do jogador no EstradaDriver . . . . .                                                                    | 51 |
| Figura 19 – Sinalização viária e implementação de detecção de sinal vermelho na Unity3D . . . . .                          | 52 |
| Figura 20 – Mapa do cenário criado no <i>software</i> Inkscape . . . . .                                                   | 53 |
| Figura 21 – Mapa de Timon capturado no OpenStreetMap que serviu de base para criação do cenário do EstradaDriver . . . . . | 53 |
| Figura 22 – Vias urbanas sendo modeladas no Blender . . . . .                                                              | 54 |
| Figura 23 – Implementação de modelos 3D de cidades na Unity3D . . . . .                                                    | 54 |
| Figura 24 – Veículo de tráfego com representações gráficas de <i>waypoints</i> na <i>scene view</i> . . . . .              | 56 |
| Figura 25 – Informações apresentadas ao usuário na interface gráfica do EstradaDriver . . . . .                            | 57 |
| Figura 26 – Notificação de infração cometida pelo usuário . . . . .                                                        | 57 |
| Figura 27 – Google Cardboard utilizado neste trabalho . . . . .                                                            | 58 |



|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 28 – VR Box e o <i>smartphone</i> utilizados neste trabalho . . . . .                            | 59 |
| Figura 29 – Imagem capturada do <i>smartphone</i> durante execução do EstradaDriver                     | 60 |
| Figura 30 – Tela inicial do EstradaDriver . . . . .                                                     | 63 |
| Figura 31 – Orientações para usuário no EstradaDriver . . . . .                                         | 63 |
| Figura 32 – Captura de tela do EstradaDriver com setas indicando o trajeto a ser<br>percorrido. . . . . | 64 |
| Figura 33 – Tela de <i>feedback</i> ao usuário ao final do teste de execução . . . . .                  | 64 |
| Figura 34 – Voluntário durante o teste de execução . . . . .                                            | 65 |
| Figura 35 – Primeira questão da avaliação de usabilidade . . . . .                                      | 67 |
| Figura 36 – Segunda questão da avaliação de usabilidade . . . . .                                       | 68 |
| Figura 37 – Terceira questão da avaliação de usabilidade . . . . .                                      | 69 |
| Figura 38 – Quarta questão da avaliação de usabilidade . . . . .                                        | 70 |
| Figura 39 – Quinta questão da avaliação de usabilidade . . . . .                                        | 71 |
| Figura 40 – Sexta questão da avaliação de usabilidade . . . . .                                         | 72 |
| Figura 41 – Sétima questão da avaliação de usabilidade . . . . .                                        | 72 |
| Figura 42 – Oitava questão da avaliação de usabilidade . . . . .                                        | 73 |
| Figura 43 – Nona questão da avaliação de usabilidade . . . . .                                          | 74 |
| Figura 44 – Décima questão da avaliação de usabilidade . . . . .                                        | 75 |
| Figura 45 – Primeira questão da avaliação de simulação com realidade virtual .                          | 77 |
| Figura 46 – Segunda questão da avaliação de simulação com realidade virtual .                           | 78 |
| Figura 47 – Terceira questão da avaliação de simulação com realidade virtual .                          | 79 |
| Figura 48 – Quarta questão da avaliação de simulação com realidade virtual . .                          | 80 |
| Figura 49 – Quinta questão da avaliação de simulação com realidade virtual . .                          | 81 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|          |                                              |
|----------|----------------------------------------------|
| ABRAMET  | Associação Brasileira de Medicina no Tráfego |
| API      | Application Programming Interface            |
| CONTRAN  | Conselho Nacional de Trânsito                |
| CNH      | Carteira Nacional de Habilitação             |
| CTB      | Código de Trânsito Brasileiro                |
| DENATRAN | Departamento Nacional de Trânsito            |
| DETRAN   | Departamento Estadual de Trânsito            |
| HMD      | Head-Mounted Display                         |
| IHC      | Interface Humano-Computador                  |
| NPC      | Non-Playable Character                       |
| OMS      | Organização Mundial de Saúde                 |
| RV       | Realidade Virtual                            |
| SDK      | Software Development Kit                     |
| SUS      | System Usability System                      |
| TI       | Tecnologia da Informação                     |
| UI       | User Interface                               |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                                  |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                                                                | <b>14</b> |
| 1.1      | Objetivos                                                                                                        | 18        |
| 1.1.1    | Objetivo Geral                                                                                                   | 18        |
| 1.1.2    | Objetivos Específicos                                                                                            | 18        |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                                                                                     | <b>19</b> |
| 2.1      | Simulação virtual                                                                                                | 19        |
| 2.2      | Jogos sérios                                                                                                     | 20        |
| 2.3      | Metodologia de desenvolvimento de um jogo sério                                                                  | 20        |
| 2.3.1    | Avaliação de usabilidade do simulador                                                                            | 21        |
| 2.4      | Motor de jogo                                                                                                    | 23        |
| 2.4.1    | Unity3D                                                                                                          | 26        |
| 2.4.1.1  | Ambiente de desenvolvimento da Unity 3D                                                                          | 27        |
| 2.4.1.2  | <i>Game objects</i> e componentes                                                                                | 28        |
| 2.5      | Ferramentas de criação e edição de recursos multimídia                                                           | 30        |
| 2.5.1    | Visual Studio Code                                                                                               | 30        |
| 2.5.2    | Blender                                                                                                          | 31        |
| 2.5.3    | Inkscape                                                                                                         | 31        |
| 2.6      | Realidade Virtual                                                                                                | 31        |
| 2.7      | Solução de <i>streaming</i> entre PC e smartphone                                                                | 33        |
| <b>3</b> | <b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>                                                                                    | <b>35</b> |
| 3.1      | Jogo Educativo Para Auxílio no Trânsito                                                                          | 35        |
| 3.2      | Avaliação da personalidade no contexto do trânsito: revisão de literatura                                        | 35        |
| 3.3      | Avaliação do realismo e da sensação de mal-estar (simulador sickness)<br>no uso do simulador imersivo de direção | 36        |
| 3.4      | Utilização de realidade virtual em simulador de ônibus com Google<br>Cardboard                                   | 36        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA</b>                                                                                               | <b>38</b> |
| 4.1      | Projeto de um simulador tridimensional para ensino de regras de trânsito                                         | 38        |
| 4.2      | Conceito e design do simulador EstradaDriver                                                                     | 38        |
| 4.2.1    | Planejamento                                                                                                     | 39        |
| 4.2.2    | Análise                                                                                                          | 40        |
| 4.2.3    | Projeto                                                                                                          | 42        |
| 4.2.4    | Implementação                                                                                                    | 45        |

|          |                                                                                                             |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.5    | Integração e Teste . . . . .                                                                                | 46        |
| 4.2.6    | Execução . . . . .                                                                                          | 46        |
| 4.2.7    | Avaliação dos resultados . . . . .                                                                          | 47        |
| 4.3      | Uso de realidade virtual . . . . .                                                                          | 47        |
| <b>5</b> | <b>RECURSOS IMPLEMENTADOS NO ESTRADADRIVER . . . . .</b>                                                    | <b>48</b> |
| 5.1      | Construção dos <i>players</i> de jogo - Módulo Car . . . . .                                                | 48        |
| 5.1.1    | Desenvolvimento de modelos de carros em 3D . . . . .                                                        | 48        |
| 5.1.2    | Implementação de física veicular na Unity3D . . . . .                                                       | 50        |
| 5.1.3    | Câmera de jogo . . . . .                                                                                    | 51        |
| 5.2      | Implementação de regras de jogo - Módulo Rules . . . . .                                                    | 51        |
| 5.3      | Construção do <i>Level Design</i> - Módulo World . . . . .                                                  | 52        |
| 5.3.1    | Criação e desenvolvimento de cenários 3D . . . . .                                                          | 52        |
| 5.4      | Construção e implementação dos NPC's - Módulo TrafficAI . . . . .                                           | 55        |
| 5.4.1    | Desenvolvimento de inteligência artificial de tráfego . . . . .                                             | 55        |
| 5.5      | Interface Gráfica - Módulo UI . . . . .                                                                     | 56        |
| <b>6</b> | <b>IMPLEMENTAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL . . . . .</b>                                                         | <b>58</b> |
| 6.1      | Headsets de realidade virtual para smartphones . . . . .                                                    | 58        |
| 6.2      | <i>Streaming PC-Smartphone</i> . . . . .                                                                    | 59        |
| <b>7</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .</b>                                                                     | <b>62</b> |
| 7.1      | Procedimento de testes . . . . .                                                                            | 62        |
| 7.1.1    | Contextualização . . . . .                                                                                  | 62        |
| 7.1.2    | Teste de Execução . . . . .                                                                                 | 62        |
| 7.1.3    | <i>Feedback</i> de usuário . . . . .                                                                        | 65        |
| 7.2      | Questionário de avaliação . . . . .                                                                         | 66        |
| 7.3      | Apresentação e análise dos resultados . . . . .                                                             | 67        |
| 7.3.1    | Avaliação de usabilidade . . . . .                                                                          | 67        |
| 7.3.2    | Avaliação da simulação com realidade virtual . . . . .                                                      | 76        |
| <b>8</b> | <b>CONCLUSÃO . . . . .</b>                                                                                  | <b>82</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>                                                                                | <b>83</b> |
|          | <b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE USABILIDADE<br/>E SIMULAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL . . . . .</b> | <b>87</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o crescimento das cidades e o processo de urbanização das mesmas levou a um crescimento bastante acentuado na frota de veículos. Segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito, em outubro de 2018 estavam em circulação mais de 100 milhões de veículos no Brasil, estando eles divididos em 29% entre veículos automotores com tração de duas rodas ou três rodas, incluindo motocicletas, ciclomotores e triciclos e os demais 71% em veículos com tração de quatro ou mais rodas, como automóveis, caminhões e ônibus (DENATRAN, 2018).

Tal crescimento da frota se reflete em um aumento alarmante nas estatísticas de acidentes de trânsito. A OMS divulgou em 2017 que o Brasil é o quinto país no mundo em número de acidentes fatais ocorridos em vias de tráfego (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015). Segundo a Seguradora Líder, empresa gerenciadora do seguro DPVAT, apenas em 2017 foram emitidos 380 mil sinistros referentes a indenizações por conta de acidentes de trânsito (SEGURADORA LÍDER-DPVAT, 2017). Entre janeiro e outubro de 2018, foram emitidos 268 mil sinistros da mesma natureza (SEGURADORA LÍDER-DPVAT, 2018).

Para corroborar as estatísticas supracitadas, existem números que atestam a gravidade e o problema de saúde pública que se tornou o trânsito brasileiro: em 2015 foram registrados aproximadamente 54 mil óbitos decorrentes de acidentes de trânsito, deixando mais de 330 mil feridos (JÚNIOR, 2015).

O que atesta a gravidade de tais estatísticas é o fato de que o comportamento humano é responsável por 93% dos acidentes de trânsito, enquanto as condições da via e as falhas mecânicas representam os outros 7%. Dentre os comportamentos humanos mais letais, destacam-se o excesso de velocidade, o consumo de álcool, outras drogas e seus efeitos na direção, o uso do celular durante a condução de veículos, a falta do uso do cinto de segurança, além da falta do uso de capacete e o transporte inadequado das crianças (Portal do Trânsito Brasileiro, 2013).

Acidentes de trânsito também são responsáveis por considerável parte do caos no trânsito nas grandes cidades, gerando filas e engarrafamentos quilométricos de veículos, dificultando a locomoção dos indivíduos, além do prejuízo ao erário que isso ocasiona. Em 2015, os acidentes de trânsito custaram aos cofres públicos aproximadamente 19,3 bilhões de reais (AMBEV S.A, FALCONI Consultores de Resultados, CLP - Centro de Liderança Pública, TRANSIT, 2017).

Em termos nacionais, o Piauí é o segundo estado no Brasil em número de mortes no trânsito, com uma taxa de 36,8 mortes para cada 100 mil habitantes. Além

disso, o Piauí possui duas cidades entre as cinco mais violentas do Brasil no trânsito: Corrente e Valença do Piauí, com 92 e 87,5 mortes para cada 100 mil habitantes respectivamente (AMBEV S.A, FALCONI Consultores de Resultados, CLP - Centro de Liderança Pública, TRANSIT, 2017).

Em um país com dimensões continentais como o Brasil, no qual sua malha viária soma mais de 1 milhão e 500 mil quilômetros de extensão (CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2016), é reconhecível a dificuldade para motoristas, pedestres, agências reguladoras, órgãos governamentais e concessionárias em rodovias privadas em evitar situações de determinada gravidade como acidentes, principalmente aqueles em que o erro humano é fator preponderante em termos de causa e efeito.

Erros humanos no trânsito podem ser minimizados em possíveis novos casos, com a tomada de atitudes que vão de encontro aos comportamentos observados como causadores substanciais de eventos que provoquem danos materiais e fisiológicos no trânsito, como a redução de velocidade dos veículos, o respeito à sinalização, o não consumo de drogas como álcool antes de dirigir, o que é inclusive previsto pela Lei Seca (BRASIL, 2012) e a não utilização de equipamentos distratores que diminuem as capacidades sensoriais do motorista, como *smartphones* e fones de ouvido.

O crescimento desordenado das cidades aliado ao aumento da frota de veículos, além do aumento do número de acidentes envolvendo esses veículos gerou uma série de problemas e desafios no âmbito da engenharia de tráfego que interessam diretamente aos moradores das cidades: como evitar a escalada nas estatísticas de acidentes de trânsito? Como combater novos casos de acidentes ou então se possível minimizá-los? Quais ações preventivas devem ser tomadas a respeito? Como o aspecto educacional na formação de motoristas pode auxiliar na diminuição das falhas humanas no trânsito?

As autarquias estatais no Brasil buscam a implementação de leis e regras mais rígidas para a coibição de atitudes disruptivas no trânsito pelos agentes que o compõem, como pedestres e condutores, além da execução das normas já vigentes na Legislação, via identificação de infratores no trânsito, aplicação de multas proporcionais ao ato praticado e em casos mais graves, reclusão em prisões.

Por isso, o trânsito brasileiro é regulamentado pelo CTB (Código de Trânsito Brasileiro), pelas Resoluções do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), Portarias e Deliberações do DENATRAN, além dos Códigos Civil e Penal, assim como o Acordo Mercosul<sup>1</sup> e a Convenção de Viena<sup>2</sup> (CZERWONKA, 2012).

<sup>1</sup> Acordo sobre Regulamentação Básica Unificada de Trânsito, entre Brasil, Argentina, Bolívia, Chile, Paraguai, Peru e Uruguai, assinado em 29 de setembro de 1992

<sup>2</sup> Convenção sobre Trânsito Viário para os países signatários à Convenção de Viena, assinado em 8 de novembro de 1968

No entanto, a aplicação de sanções a infratores no trânsito não é suficiente para coibir incidentes de tráfego, como demonstram as estatísticas sobre acidentes e óbitos ocasionados por erros humanos em vias terrestres. Faz-se necessária a conscientização dos agentes que compõem o trânsito de seus direitos e deveres. Por isso, há um dispositivo no próprio CTB especificamente para a educação no trânsito através dos órgãos e entidades estatais.

Conforme dispõe o art. 76 do CTB:

A educação para o trânsito será promovida na pré-escola e nas escolas de 1º, 2º e 3º graus, por meio de planejamento e ações coordenadas entre os órgãos e entidades do Sistema Nacional de Trânsito e de Educação, da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, nas respectivas áreas de atuação.

Parágrafo único. Para a finalidade prevista neste artigo, o Ministério da Educação e do Desporto, mediante proposta do CONTRAN e do Conselho de Reitores das Universidades Brasileiras, diretamente ou mediante convênio, promoverá:

I - a adoção, em todos os níveis de ensino, de um currículo interdisciplinar com conteúdo programático sobre segurança de trânsito;

II - a adoção de conteúdos relativos à educação para o trânsito nas escolas de formação para o magistério e o treinamento de professores e multiplicadores;

III - a criação de corpos técnicos interprofissionais para levantamento e análise de dados estatísticos relativos ao trânsito;

IV - a elaboração de planos de redução de acidentes de trânsito junto aos núcleos interdisciplinares universitários de trânsito, com vistas à integração universidades-sociedade na área de trânsito. (BRASIL, 2008)

Além disso, há esforços por parte de ONGs (Organizações Não-Governamentais), por órgãos relacionados ao trânsito como os DETRANS (Departamentos Estaduais de Trânsito) e CONTRAN, por autarquias vinculadas à União em prol de trabalhos contínuos, objetivando a conscientização com relação ao respeito as normas do tráfego e quanto a direção defensiva. Exemplos de campanhas educacionais são o Maio Amarelo, a Semana Nacional do Trânsito e campanhas publicitárias veiculadas nos meios de comunicação em massa.

Tão importante quanto conscientizar condutores e pedestres em todos os níveis de educação, além da implementação de campanhas publicitárias quanto à direção defensiva, é auxiliar os condutores no processo de obtenção da CNH (Carteira Nacional de Habilitação) de forma assertiva a importância em conhecer e respeitar as regras de trânsito. Processos educacionais para auxílio na compreensão das regras de trânsito e da importância vital em segui-las, além de previstos no CTB, são passíveis de melhorias e otimizações.

O uso de aparatos advindos da TI (Tecnologia da Informação) mostram-se como ferramentas que ajudam consideravelmente condutores em formação e os jogos digitais

se mostram como uma excelente ferramenta no processo de ensino-aprendizagem. Para VALENTE (1997), jogos digitais são recursos válidos para desenvolver motivação durante o aprendizado de determinado conteúdo ou competência.

PIAGET; GUIMARÃES (1978) defendem que jogos educacionais tem influência massiva na atividade construtiva do aprendizado, pois torna esse aprendizado mais intuitivo. SILVEIRA (1999) disserta sobre, afirmando que

Os jogos educativos computadorizados são elaborados para divertir os alunos e aumentar a chance na aprendizagem de conceitos, conteúdos e habilidades embutidas no jogo. Um jogo computadorizado pode propiciar ao aluno um ambiente de aprendizagem rico e complexo. As características que tornaram os jogos educativos computadorizados intrinsecamente motivadores são o desafio, a fantasia e a curiosidade. Os jogos podem fornecer alguns resultados educativos não previstos e que são tão importantes quanto os previamente determinados. (SILVEIRA, 1999)

A utilização de jogos digitais como ferramenta digital no processo de obtenção da CNH já é prevista na resolução nº 543/2015 do CONTRAN, que prevê a utilização de simuladores de direção veicular para condutores em formação em todas as categorias (CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2015).

No entanto, em um complexo sistema regulamentador, torna-se um desafio para pleiteantes a uma CNH a absorção das regras de trânsito vigentes, desde as mais simples para as mais inusitadas.

A implementação de um simulador para aprendizado das regras de trânsito, objetivando maior absorção e aplicação das leis de trânsito vigentes, além do preparo para a prova teórica para obtenção da CNH mostra-se como uma alternativa viável para tornar maior a compreensão das regras de tráfego (LUCAS et al., 2013).

A sensação de realidade em tal aplicação é de suma importância para que o usuário se sinta mais imerso e portanto tenha uma maior assimilação com o conteúdo abordado, fazendo paralelo do mesmo com situações reais. A tecnologia de IHC (Interface Humano-Computador) que confere maior nível de imersão ao usuário em aplicações de computação gráfica é a realidade virtual, que utiliza técnicas e dispositivos para estimular o cérebro do usuário, tornando a experiência do mesmo com essas aplicações muito mais profunda (LEE et al., 2015).

Neste trabalho, propõe-se o desenvolvimento de um simulador veicular com realidade virtual para treinamento de motoristas para a compreensão das regras de trânsito, a partir da perspectiva da imersão que a realidade virtual proporciona.



## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Desenvolver uma plataforma imersiva para apoio no ensino de direção e educação no trânsito na condução de veículos automotores;

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar a usabilidade de um simulador de direção com aplicação de realidade virtual;
- Criar um sistema de treinamento básico para condutores em formação;
- Analisar a eficiência da utilização de simuladores no processo de ensino-aprendizagem de direção de veículos automotores;
- Observar as possibilidades de utilização de realidade virtual de baixo custo no EstradaDriver;

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentadas as fundamentações teóricas que embasam o desenvolvimento do simulador EstradaDriver, que visa o aprendizado de regras de trânsito através de uma interface avançada de realidade virtual.

### 2.1 SIMULAÇÃO VIRTUAL

Simulação virtual é a representação paralela da realidade em sistemas computacionais. Uma simulação virtual visa a representação de situações, comportamentos de usuário e de sistemas em ambientes gerados por computador (BARROS; ARAÚJO, 2016).

Isso possibilita que sejam realizados experimentos, análise de funcionamento de sistemas críticos ou treinamento de usuários em espaços virtuais em situações onde a utilização de equipamentos físicos demanda custos elevados ou envolvem riscos, inclusive de vida (ROSSETTI, 2015).

Além disso, simuladores podem ser aplicados tanto para fins de entretenimento comum para fins lúdicos. Segundo BALADEZ (2016), um simulador “permite variações de ambientes, situações e níveis de dificuldade e repetições que não seriam possíveis em uma situação real”.

A figura 1 mostra uma imagem de um simulador aplicados para entretenimento e a figura 2 apresenta um simulador aplicado no ensino de direção em auto-escolas conforme a resolução nº 543/2015 do DENATRAN.

Figura 1 – Simulador em realidade virtual de montanha-russa



Fonte: Marcos Porto/Agência RBS

Figura 2 – Simulador de direção aplicado no treinamento de alunos em auto-escolas



Fonte: Krystine Carneiro/G1

## 2.2 JOGOS SÉRIOS

Segundo ZYDA (2005), um “jogo sério” ou *serious game* é um jogo executado em um computador que utiliza o componente de entretenimento para fins de treinamento corporativo, educacional, na área da saúde, em políticas públicas e com objetivos estratégicos de comunicação. Para ZYDA, jogos sérios tem mais que os elementos comuns aos demais jogos eletrônicos: além da arte, do enredo e da programação, há o componente pedagógico, através de atividades que educam e instruem, transmitindo conhecimento e habilidades.

## 2.3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO SÉRIO

Um jogo sério que é voltado para o processo de ensino-aprendizagem envolve experiências reais em um ambiente virtual, englobando os aspectos de desafio e recompensa comuns em jogos digitais, implementando também fatores pedagógicos no processo de treinamento e aprendizado. Partindo disso, é possível mensurar o desempenho do usuário e assim dar um *feedback* ao mesmo, uma vez que jogos sérios para fins lúdicos promovem a interação de três áreas: aprendizado, simulações e jogos (ROCHA; ARAUJO, 2013 apud MACIUSZEK; WEICHT; MARTENS, 2012).

ROCHA; ARAUJO discorrem sobre isso, afirmando que:

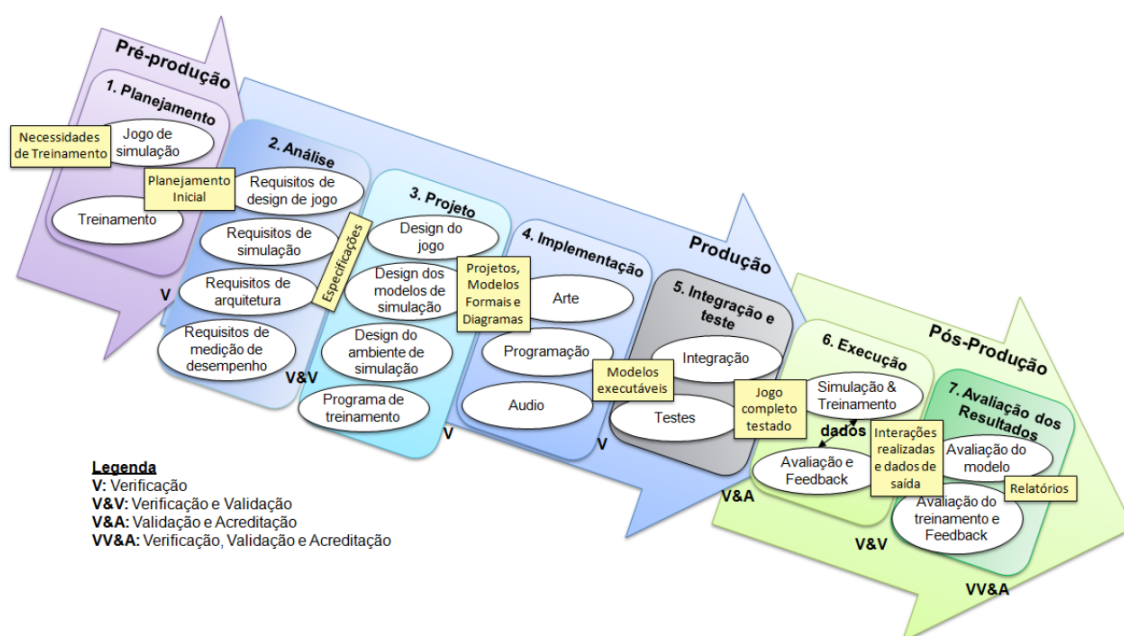
- Simulações de treinamento refletem o comportamento de um sistema, mas não incluem necessariamente gráficos realistas (diferente de jogos);
  - Jogos educacionais são jogos simples que não simulam sistemas (diferente de simulações);
- e

- Jogos de simulações são jogos que possibilitam experiências reais, mas sem os aspectos de aprendizagem ou treinamento (ROCHA; ARAUJO, 2013).

No caso de jogos sérios para aprendizado, trata-se da intersecção entre esses três tipos de *softwares*. Baseando-se nessa premissa, ROCHA; ARAUJO (2013) propõem uma metodologia de design especificamente para desenvolvimento de jogos sérios voltados para treinamento com três fases: pré-produção, produção e pós-produção subdivididas em sete etapas: Planejamento; Análise; Projeto; Implementação; Integração e Teste; Execução; Avaliação dos Resultados.

A figura 3 demonstra uma representação visual dessa metodologia.

Figura 3 – Metodologia de Design de Jogos Sérios de Simulação para Treinamento



Fonte: ROCHA; ARAUJO (2013)

No presente trabalho, será utilizada a metodologia de design proposta pelas autoras sistematizada na figura 3.

Para criação do *software* executável do EstradaDriver desenvolvido a partir da metodologia enquanto jogo sério, é necessária a utilização de um ambiente de desenvolvimento chamado de *game engine* ou motor de jogo, a ser explanado na seção 2.4.

### 2.3.1 Avaliação de usabilidade do simulador

Na metodologia proposta por ROCHA; ARAUJO, na fase de pós-produção é prevista a avaliação dos modelos de simulação, de treinamento e o *feedback* do usuário.

Para isso, foram realizados testes com usuários para validação e acreditação do jogo sério através de pesquisa, que segundo GIL (2002) é o

(...) procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados. (GIL, 2002, p.16)

A partir de tal premissa, foi aplicada a ferramenta de pesquisa quantitativa, que segundo FONSECA (2002):

(...) se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenómeno, as relações entre variáveis, etc (FONSECA, 2002, p.20).

O instrumento de pesquisa quantitativa aplicado para coletar o *feedback* dos usuários foi o questionário, que segundo FONSECA(2002)

É um instrumento de pesquisa constituído por uma série de perguntas organizadas com o objetivo de levantar dados para uma pesquisa, cujas respostas dadas pelo elemento ou pelo pesquisador sem a assistência direta ou orientação do investigador (FONSECA, 2002, p.58).

A partir dessas orientações, buscou-se observar como o sistema deveria ser avaliado pelos usuários através de um questionário simples, gratuito e capaz de mensurar a eficiência, a eficácia e a facilidade de aprendizado do simulador. Por isso, foi utilizado o sistema SUS (*System Usability System*), que avalia através de dez questões o grau de satisfação do usuário com o sistema avaliado (BROOKE, 1986).

O método SUS utiliza a escala Likert, na qual o respondente atribui uma nota de 1 a 5, na qual 1 representa *Discordo Totalmente* e 5 representa *Concordo Plenamente* (LIKERT, 1932).

O cálculo da pontuação SUS varia em uma nota de 0 a 100 e é computado da seguinte maneira:

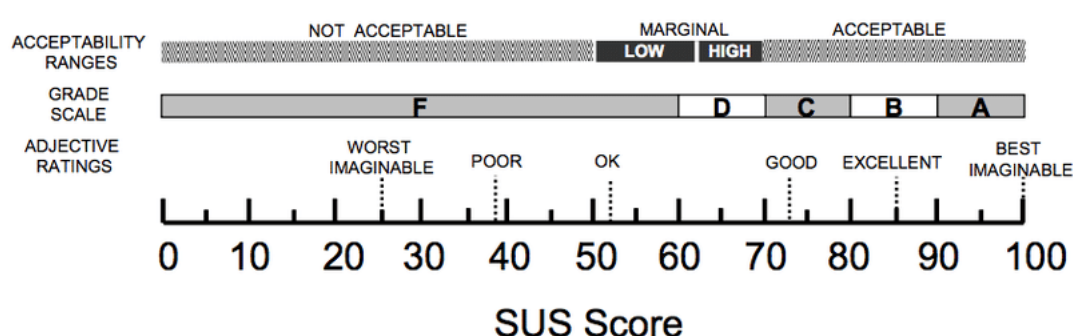
- Diminui-se um ponto das notas atribuídas às questões ímpares;
- Diminui-se em cinco pontos as notas atribuídas às questões pares;
- Soma-se todos os pontos das 10 questões e multiplica-se o resultado por 2,5.

É possível obter os mesmos resultados no cálculo da pontuação SUS aplicando a seguinte fórmula:

$$\{[(q1+q3+q5+q7+q9) - 5] + [25 - (q2+q4+q6+q8+q10)]\} * 2.5$$

A pontuação média em sistemas com usabilidade aceitável no sistema SUS é de 69 pontos (BANGOR; KORTUM; MILLER, 2009). A figura mostra a adjetivação da pontuação obtida pelo sistema na aplicação do questionário SUS.

Figura 4 – Adjetivação dos resultados no sistema SUS



Fonte: BANGOR; KORTUM; MILLER (2009)

## 2.4 MOTOR DE JOGO

Um motor de jogo, *game engine* ou simplesmente *engine* é um *software* que contém um conjunto de bibliotecas e API's (*Application Programming Interface*) para a criação e desenvolvimento de aplicações gráficas, como jogos digitais, simulações virtuais e até filmes animados em 2D e 3D (TORRES, 2016).

Isso é possível graças a enorme gama de funcionalidades que um motor de jogo apresenta ao desenvolvedor: aplicações do gênero possuem um motor gráfico, que junto a placa de vídeo renderiza as imagens geradas, motor físico que realiza cálculos para determinar colisões e movimentação, além de suporte a conteúdos multimídia, como áudio, vídeo e animações 2D e 3D. Além disso, o motor de jogo dá suporte à programação através de linguagens de programação para interação com os motores gráfico e físico e implementação de lógica, como inteligência artificial e regras de jogo.

Para WARD (2008), a definição de motor de jogo é mais ampla:

Se você acompanha a indústria de jogos, você ouvirá bastante o termo "game engine" por todos os lados. E eu aposto que às vezes, tarde da noite, quando todo mundo está dormindo, você senta e se pergunta: "O que é essa coisa nebulosa que eu continuo ouvindo?"

Você esperaria que a resposta fosse tão simples quanto mostrar o motor de um carro: "Sim, o motor de um carro é isso que você está vendo". Afinal, o mecanismo do jogo, muito parecido com o motor de um carro, é o que faz o jogo funcionar. Infelizmente, às vezes há uma linha imprecisa entre o ponto em que o motor do jogo termina e o conteúdo de um jogo começa, como se houvesse uma linha indistinta sobre o ar-condicionado de um carro fazer parte do seu motor.

Geralmente, o conceito de uma *game engine* é bastante simples: ela existe para abstrair os detalhes (em algum momento dependentes da plataforma) de tarefas comuns relacionadas a jogos, como renderização, física e entrada de dados, para que desenvolvedores (artistas, designers, roteiristas e sim, até mesmo outros programadores) possam se concentrar nos detalhes que tornam seus jogos únicos.

As *game engines* oferecem componentes reutilizáveis que podem ser manipulados para dar vida a um jogo. Carregar, exibir e animar modelos, detecção de colisão entre objetos, física, entrada, interfaces gráficas de usuário e até partes da inteligência artificial de um jogo podem ser componentes que compõem a *engine*. Em contraste, o conteúdo do jogo, modelos e texturas específicos, o significado por trás das colisões e entradas de objetos e a maneira como os objetos interagem com o mundo são os componentes que fazem o jogo real. Para usar novamente a analogia do carro, pense em como o chassi, a carroceria, o CD player, o sistema de navegação no painel e os assentos de couro compõem um carro. Esse é o conteúdo (WARD, 2008).

Um motor de jogo dá suporte a API's e SDK's para desenvolvimento de projetos de computação gráfica variados. Existem no mercado opções diversificadas de motores de jogo, tanto para aplicações em 2D e 3D, sendo algumas gratuitas (para uso livre ou proprietário), outras com preço por licença ou motores proprietários para uso interno, criadas para fins específicos e de uso exclusivo de estúdios de desenvolvimento de *games*.

Um exemplo de motor de jogo para uso interno é a REDengine 3, da empresa polonesa CD Projekt RED, que foi aplicada no desenvolvimento do título The Witcher 3. A figura 5 mostra uma imagem capturada durante a execução de The Witcher 3 na plataforma PC.



Figura 5 – Imagem capturada do *game* The Witcher 3, desenvolvido na *game engine* REDengine 3



Fonte: Imagem capturada pelo autor

Um exemplo de motor proprietário, porém gratuito para download é a Unreal Engine, desenvolvida pela Epic Games, que utiliza C++ e Blueprint<sup>1</sup> como linguagens de programação e prototipação.

A figura 6 mostra uma imagem capturada durante a execução do título *Fortnite Battle Royale*, desenvolvido na Unreal Engine 4.

Figura 6 – Imagem capturada do jogo Fortnite Battle Royale, desenvolvido na Unreal Engine 4



Fonte: Unreal Engine (2018)

<sup>1</sup> Blueprint é uma linguagem de script baseada em C++ desenvolvida pela Epic Games para tornar o desenvolvimento de protótipos mais ágil, uma vez que ela é totalmente visual, não requerendo conhecimentos de codificação



Neste trabalho, o motor de jogo escolhido para desenvolvimento do EstradaDriver é a Unity3D. A seção 2.4.1 aborda aspectos teóricos sobre a Unity3D em maiores detalhes.

### 2.4.1 Unity3D

A Unity 3D é um motor de jogo voltado para desenvolvimento de *games*, aplicativos e trabalhos cinemáticos desenvolvido pela Unity Technologies. Com ela, é possível criar games e aplicações diversas para até 27 plataformas diferentes, entre elas PC, Xbox One, PlayStation 4, Android OS e iOS (Unity Technologies, 2019b).

A Unity 3D está disponível para download gratuito no site <unity3D.com/pt/download> e prevê em sua licença que os desenvolvedores pagem *royalties* de 15% do lucro obtido caso a aplicação desenvolvida gere um lucro maior que U\$\$ 100 mil. Há também opções para estúdios de desenvolvimento de software profissionais, com a Unity Plus e Unity Pro, que custam R\$ 55 e R\$ 400 por mês, respectivamente (Unity Technologies, 2019e).

A Unity 3D está na versão 2018.3, lançada em 10 de janeiro de 2019. Algumas das aplicações desenvolvidas mais conhecidas nesta *engine* incluem: *Cuphead*, *Inside*, *Ori and the Blind Forest*, *Hearthstone* e *Cities Skylines* (Unity Technologies, 2019a). A figura 7 mostra uma captura de tela do jogo *Cities Skylines*.

Figura 7 – Imagem capturada do jogo Cities Skylines, desenvolvido na Unity3D



Fonte: Unity3D (2018)

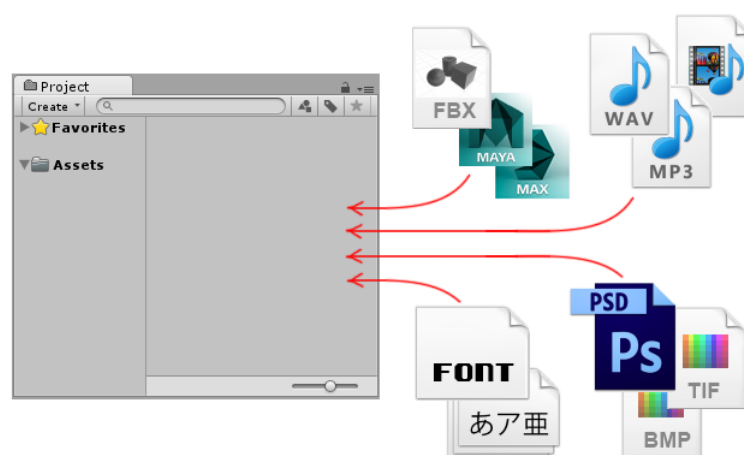
Em 2019, três bilhões de dispositivos no mundo possuem alguma aplicação desenvolvida na Unity 3D. Os aplicativos desenvolvidos com a Unity 3D já alcançaram a marca de 28 bilhões de downloads e aproximadamente 50% dos jogos mobile disponíveis foram desenvolvidos com a Unity3D (Unity Technologies, 2019d).

Os números acima demonstram a massiva utilização da Unity 3D como ferramenta de desenvolvimento de jogos e aplicativos. Com uma comunidade ativa de desenvolvedores e uma interface amigável, ela se torna uma opção interessante para desenvolvimento de projetos com equipes menores. A subseção 2.4.1.1 discorre sobre o ambiente de desenvolvimento da Unity 3D, os elementos que compõem a mesma e conceitos aplicados na implementação de projetos nesse ambiente.

#### 2.4.1.1 Ambiente de desenvolvimento da Unity 3D

O ambiente de desenvolvimento da Unity 3D suporta desenvolvimento de scripts escritos na linguagem C#, e dá suporte também a diversos formatos de arquivos de modelos 3D, imagens 2D, arquivos de áudio e vídeo, além de recursos para implementação de realidade virtual e aumentada. Esses recursos são conhecidos como *assets* (PASSOS et al., 2009).

Figura 8 – Alguns tipos de *assets* que podem ser importados para um projeto na Unity 3D



Fonte: Unity Manual (2018)

A Unity 3D possui uma interface simples e amigável ao usuário, com uma interface dividida em janelas chamadas de *views*. Cada uma dessas *views* é responsável por auxiliar o desenvolvedor em cada tarefa no processo de criação do jogo ou aplicação. (PASSOS et al., 2009)

São cinco janelas:

- *Project View*, janela que mostra os arquivos (*assets*) importados para o projeto em execução;
- *Scene View*, que mostra o cenário da aplicação e que permite a manipulação dos objetos presentes nele, tal como em editores de modelagem 3D;

- *Hierarchy View*, janela responsável por exibir os elementos presentes no cenário e permitir a hierarquização dos objetos no mesmo;
- *Game View*, onde é possível ver previamente o funcionamento da aplicação e comportamento da mesma tal como ela se apresentará quando concluída;
- *Inspector View*, que mostra os atributos dos objetos e das classes atachadas aos mesmos.

A figura 9 mostra a janela de desenvolvimento da Unity 3D.

Figura 9 – Ambiente gráfico de desenvolvimento da Unity



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 2.4.1.2 *Game objects* e componentes

As aplicações desenvolvidas na Unity 3D são baseadas em cenários, que por sua vez são compostos por *assets*. Dentro desse cenário, os *assets* assumem comportamentos definidos, alguns por padrão da Unity, outros pelo desenvolvedor. Tais comportamentos são definidos através de elementos chamados de componentes.

*Game objects* são os objetos fundamentais que representam os elementos que compõem uma cena de jogo na Unity. Tais objetos funcionam como contêineres para esses componentes, que implementam os comportamentos e funcionalidades dos *assets* importados para o cenário (Unity Technologies, 2019c).

Por exemplo, todos os *game objects* possuem um componente chamado Transform, que define as coordenadas dos mesmos dentro da cena, como posição, rotação (em graus) e escala. Essas três propriedades são relativas: se caso o objeto pertence

a outro objeto na hierarquia dentro da *hierarchy view*, tais propriedades são definidas em relação ao objeto-pai, se não, essas propriedades são definidas pelo espaço em cena.

*Game objects* também podem ser salvos como *assets* na janela *Project View* e portanto reutilizados em outras cenas ou projetos. Esses *assets* são chamados de *prefabs*.

Alguns dos componentes utilizados em *game objects* (não limitados a estes) de acordo com definições extraídas na documentação da Unity, são:

- *Lights*: componentes que atribui o comportamento de emissão de luz na cena, com propriedades como intensidade da luz, alcance e tipo de sombra;
- *Camera*: componente responsável por renderizar graficamente a cena para o jogador, podendo ser animada ou controlada por comandos do usuário. O componente *Camera* também acompanha outros componentes no mesmo objeto por padrão, como o *Audio Listener*, que se comporta como um microfone;
- *Canvas*: componente que renderiza a interface gráfica de usuário;
- *Rigidbody*: a Unity possui componentes de simulação de física providos pelo SDK PhysX, desenvolvido pela nVidia Corporation. O componente *Rigidbody* é um deles, e define propriedades como massa, centro de gravidade, posição e rotação em tempo de execução, além de detecção de colisões;
- *Mesh Renderer*: define a geometria do objeto a ser exibida, além de outras propriedades relativas à renderização do objeto: iluminação, reflexão e sombras.
- *Materials, shaders* e texturas: em um modelo 3D importado em uma cena na Unity, além do próprio modelo, existem também componentes que estão presentes no mesmo: um *shader* é um software executado na GPU (*Graphics Processing Unit*) que define o comportamento da iluminação e das sombras no objeto. O vínculo entre o *shader* e o modelo 3D é o componente *material*, que possui propriedades que manipulam o *shader*, como cores e limiares de reflexão. Uma dessas propriedades é a textura, que é uma imagem 2D que será renderizada sobre o modelo 3D.
- *Colliders*: dependem do uso de um componente *rigidbody* e definem o formato de colisão do objeto e como será o comportamento físico do mesmo, seja em 2D ou 3D e se ele pode atuar como um *trigger*, que dispara eventos definidos pelo desenvolvedor. Existem diversos tipos de *colliders*, como *box*, *capsule*, *circle collider* e existem tipos de *colliders* especiais, como o *mesh collider*, no qual o formato da colisão assume o formato exato do objeto e o *wheel collider*, que

simula a física de veículos, especialmente utilizada nesse trabalho para controle dos veículos pelo usuário;

- *Custom Components*: são componentes criados pelo desenvolvedor através de programação. A Unity dá suporte a desenvolvimento de códigos que usam o paradigma de orientação a objetos na linguagem C# com o *framework* .NET. Todas as classes desenvolvidas na Unity3D derivam de uma classe básica chamada de *MonoBehaviour*, que possui todos os métodos, atributos e operadores básicos para construção de um código em C# voltado para a Unity.

É possível também realizar o download de pacotes de *assets* desenvolvidos pela comunidade de desenvolvedores Unity para os mais diversos fins: desde áudio, modelos 3D e projetos completos com programação inclusa através da *Unity Asset Store* ([assetstore.unity.com](https://assetstore.unity.com)).

A Unity provê diversas ferramentas de criação de conteúdo para as aplicações desenvolvidas na mesma. Porém, uma *game engine* não fornece todas as ferramentas necessárias para a construção de um jogo. Por isso, neste trabalho foram utilizados outros *softwares* para fins específicos, como edição de imagens para texturas, interface gráfica, modelagem de objetos 3D e escrita de códigos. A seção 2.5 aborda tais softwares.

## 2.5 FERRAMENTAS DE CRIAÇÃO E EDIÇÃO DE RECURSOS MULTIMÍDIA

Esta seção da fundamentação teórica destina-se a apresentar softwares que auxiliam no desenvolvimento de *assets* e componentes para desenvolvimento do EstradaDriver com a Unity. São eles: Visual Studio Code, para edição dos códigos utilizados no jogo; Blender para criação e edição dos modelos 3D em todo o cenário e; Inkscape para edição de texturas aplicadas nos modelos 3D e imagens vetorizadas aplicados na interface gráfica, além de desenhos vetorizados aplicados no *level design*.

### 2.5.1 Visual Studio Code

O Visual Studio Code é um editor de texto e de códigos-fonte desenvolvido e distribuído pela Microsoft. Ele está disponível para download gratuito para Windows, distribuições Linux e macOS e possui uma gama extensa de customizações, desde temas para sua interface gráfica, extensões para suporte a linguagens de programação diversas e ferramentas de *debugging*. É *open-source* e é um software livre, porém seu download está condicionado aos termos de licença de software da Microsoft (Microsoft Corporation, 2018).

É uma ferramenta que trabalha de maneira integrada a Unity para edição e depuração das classes desenvolvidas para os projetos desenvolvidos nesta *game engine*.

### 2.5.2 Blender

O Blender é um *software* gratuito e de código aberto que oferece diversos serviços relacionados à computação gráfica: modelagem, animação, simulação, renderização e edição de vídeos. É um *software* de desenvolvimento colaborativo que utiliza a linguagem Python em seu código-fonte. As criações desenvolvidas no Blender podem ser exportadas para os mais diversos tipos de formatos de modelos 3D e importados diretamente na Unity, sem restrições de licença ou royalties a serem pagos. Além disso, o Blender permite mapeamento UV, que é a projeção de uma textura 2D no objeto 3D. (Blender Organization, 2018)

### 2.5.3 Inkscape

O Inkscape é um editor de imagens e documentos vetoriais de código-fonte aberto que também pode ser usado para manipulação de imagens 2D, além de design gráfico (INKSCAPE, 2019).

## 2.6 REALIDADE VIRTUAL

Aplicações interativas em computação gráfica como jogos inspiram desenvolvedores de equipamentos de IHC a criarem *gadgets* que permitem uma imersão maior do usuário com o ambiente virtual, seja ela audiovisual ou até mesmo tátil. Atualmente, a tecnologia que permite uma experiência mais realística em sistemas computacionais gráficos entre usuário e máquina é a realidade virtual, que utiliza dispositivos que executam estímulos multisensoriais relacionados diretamente à aplicação gráfica, ampliando a experiência de usuário com relação a essa aplicação. (SARAIVA et al., 2018 apud LEE et al., 2015)

Essa tecnologia permite ao usuário a visualização, audição e movimentação em um ambiente virtual em tempo de execução, interagindo com os objetos presentes nesse ambiente (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006).

Os equipamentos que permitem a visualização de conteúdos em realidade virtual são conhecidos como HMD (*Head Mounted Display*), que são óculos com lentes biconvexas<sup>2</sup> dispostas paralelamente a um *display* de vídeo responsável pela visualização desses conteúdos (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006).

<sup>2</sup> As lentes biconvexas em um óculos de realidade virtual tem o intuito de corrigir a distorção da imagem apresentada ao usuário

A realidade virtual utiliza algumas técnicas que exploram os sentidos humanos para criar a sensação de imersão no cenário virtual: a principal delas é a estereoscopia visual. A estereoscopia visual gera uma ilusão de ótica que divide a imagem visualizada em duas, gerando uma sensação de profundidade a uma imagem bidimensional (PESSANHA, 1991).

Esses equipamentos também contam com sensores de acelerômetro e giroscópio para haver o *positional tracking*, que é uma técnica que visa capturar o posicionamento da cabeça nos eixos X, Y, Z através desses sensores e enviar os dados em tempo de execução para a aplicação gráfica, refletindo essa movimentação no cenário virtual (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006).

Alguns exemplos de HMD disponíveis no mercado são:

- Oculus Rift: Desenvolvido pela Oculus VR, posteriormente adquirida pelo Facebook Inc. em 2014, é um HMD com display de LED Full HD embarcado, um par de lentes biconvexas e sensores de giroscópio e acelerômetro embutidos, além de controles para as duas mãos e um *headset* de áudio. Se comunica com computador via cabos USB e cabo HDMI; (Oculus VR, 2018)
- HTC Vive: Desenvolvido pela HTC, é um HMD com *display* AMOLED Full HD embarcado, e assim como o Oculus Rift, possui lentes biconvexas, controles para as duas mãos, além de sensores para *positional tracking*. Possui tecnologia *wireless* onde uma estação de base conectada ao computador interage sem fios com o HMD e os controles; (HTC, 2018)
- Samsung Gear VR: Desenvolvido pela Samsung em parceria com a Oculus VR, é um HMD que utiliza *smartphones* da marca Samsung como visualizadores de realidade virtual em um corpo de plástico rígido com sensores para *positional tracking* embutidos. (Samsung BR, 2017)

No geral, dispositivos de realidade virtual tem alto-custo e demandam um computador robusto para suas aplicações. Em seus sites oficiais, o Oculus Rift e o HTC Vive custam U\$\$ 399 e U\$\$ 499, respectivamente. Ambos também exigem computadores com a seguinte configuração mínima: GPU nVidia GTX 1060 ou AMD Radeon RX 480; processador Intel Core i5-4950 ou AMD FX 8350, além de 4 GB de memória RAM no sistema.

Os equipamentos de realidade virtual mais acessíveis são aqueles que utilizam *smartphones* como o próprio Gear VR. No entanto ele tem compatibilidade apenas com *smartphones* da própria Samsung.

No entanto, o Gear VR não é a única opção, havendo também outros HMDs que utilizam praticamente qualquer *smartphone* como visualizador de realidade, utilizando

os sensores embarcados no próprio *smartphone* para *positional tracking* da cabeça do usuário e diversos jogos e aplicativos *mobile* para sistemas Android e iOS utilizam esses HMDs para visualização de seus conteúdos.

Existem diversas opções de HMDs para *smartphones* além do Gear VR. Serão tomados três exemplos, mas não se limitam a:

- Loox VR, óculos de realidade virtual brasileiro que usa um corpo de plástico rígido para comportar o celular além das lentes biconvexas; (Loox VR, 2018)
- Google Cardboard, que é um projeto do Google para popularizar a realidade virtual: usa papelão, lentes biconvexas e um par de imãs para criar a solução mais acessível e funcional possível e; (Google, 2018)
- VR Box, que tem as mesmas características do Loox VR mas é fabricado na China.

As opções de óculos de realidade virtual para smartphones tem um custo muito menor que os HMDs para computadores. O Loox VR está disponível em seu site oficial para venda por R\$ 75, o Google Cardboard custa em média R\$ 25 podendo ser fabricado pelo próprio usuário, uma vez que o Google disponibiliza um manual de fabricação em seu site e o Gear VR é encontrado nos sites de e-commerce brasileiro com custo médio de R\$ 25.

Neste trabalho, para utilização de realidade virtual, optou-se pela implementação de um *smartphone* como visualizador de realidade virtual em conjunto com o Google Cardboard e o VR Box.

O EstradaDriver é uma aplicação compilada e construída para execução em computadores. Por isso, faz-se necessária a implementação de uma solução que transmita as imagens renderizadas pelo computador do EstradaDriver para o *smartphone* em tempo de execução. A seção 2.7 aborda em maiores detalhes a utilização da solução implementada neste trabalho.

## 2.7 SOLUÇÃO DE *STREAMING* ENTRE PC E SMARTPHONE

Para transmissão das imagens do jogo EstradaDriver para o *smartphone*, é necessário utilizar uma tecnologia de *streaming* que utiliza barramentos ou protocolos de comunicação comuns ao computador e ao *smartphone*. Neste trabalho foi utilizado o Trinus VR, que utiliza um sistema servidor-cliente através de um *software* em execução no PC que atua como servidor sincronizado com um aplicativo mobile que atua como cliente. Essa sincronização pode acontecer através de conexão WI-FI ou por cabo USB (Trinus, 2018).



O Trinus VR está disponível para computadores com sistema operacional Windows e sistemas *mobile* como Android e iOS. Além disso, o desenvolvedor disponibiliza um conjunto de *assets* na Unity Asset Store para integração de projetos na Unity com o Trinus VR, possibilitando a conexão direta e transmissão de imagens entre o EstradaDriver e o *smartphone*.

### **3 TRABALHOS RELACIONADOS**

Este capítulo discorre brevemente sobre os trabalhos que contribuíram no desenvolvimento teórico e prático do presente trabalho.

#### **3.1 JOGO EDUCATIVO PARA AUXÍLIO NO TRÂNSITO**

SANTANA; TRONTO; SOUSA (2018) abordam o desenvolvimento de um jogo educativo para auxílio na educação no trânsito. Na introdução, os autores argumentam que o Brasil apresenta um índice elevado de acidentes de trânsito e que a educação no trânsito é um fator fundamental para diminuição nesses índices.

O trabalho apresenta os games como auxílio e ferramenta de apoio ao aprendizado no desenvolvimento de habilidades cognitivas e culturais. Nesse contexto, o autor propõe um jogo educativo para orientação no trânsito voltado para crianças até cinco anos de idade.

No desenvolvimento do artigo, os autores discorrem sobre dados relevantes quanto as estatísticas fornecidas por órgãos estatais sobre os acidentes de trânsito, contextualizando ainda com a possibilidade do uso lúdico de jogos digitais.

Na metodologia, os autores optaram por seguir o método de Fullerton (2014 apud BATTISTELLA; WANGENHEIM, 2016) para desenvolver o game, através de cinco etapas: análise de requisitos; concepção do jogo; design do jogo; implementação do jogo e teste do jogo.

A ferramenta utilizada foi a Unity3D utilizando RV (Realidade Virtual) como interface audiovisual, além de ferramentas de desenho vetorial. No trabalho SANTANA; TRONTO; SOUSA descrevem fases do processo de desenvolvimento como modelagem de requisitos, modelagem de personagens e a implementação do jogo, como detalhes sobre as mecânicas de gameplay.

#### **3.2 AVALIAÇÃO DA PERSONALIDADE NO CONTEXTO DO TRÂNSITO: REVISÃO DE LITERATURA**

MOGNON; RUEDA fazem uma revisão de literatura através da base de dados da CAPES, ao analisar 141 artigos publicados entre 2000 e 2015, eles verificaram apenas 33 por caráter de redundância entre os demais 108. Na revisão, o autor lista alguns autores como Pasa (2013) que listam a impulsividade e a “busca por sensação” como fatores de risco no trânsito. Mognon e Santos (2014) observam ainda através de estudo com 500 motoristas o desengajamento e a impulsividade no processo de

renovação da CNH.

Tais conclusões foram possíveis através de análise de publicações internacionais sobre o tema, além de categorização de motoristas pela idade, fazendo uma análise objetiva sobre os aspectos psicológicos que levam a determinadas atitudes disruptivas no Brasil e no exterior.

### **3.3 AVALIAÇÃO DO REALISMO E DA SENSACÃO DE MAL-ESTAR (SIMULATOR SICKNESS) NO USO DO SIMULADOR IMERSIVO DE DIREÇÃO**

NODARI et al. (2017) aborda um estudo acerca da avaliação de possíveis sensações adversas na utilização de realidade virtual em simuladores de direção, uma vez que a realidade virtual pode criar uma interface realista e imersiva que permite avaliar o comportamento do condutor em uma situação real, especialmente em situações de perigo.

Durante sua fundamentação teórica, NODARI et al. cita diversos autores para demonstrar a importância e a vasta gama de utilizações e implementações de simuladores de condução. Além disso, cita a fidelidade de mecânicas de jogo com a realidade, bem como o realismo do ambiente gráfico tridimensional como fatores importantes em suas atribuições.

Quanto ao desconforto gerado pelo uso de realidade virtual, o autor discorre acerca de teorias propostas por teóricos como Reason e Brand (1975) no que tange dois possíveis efeitos colaterais no uso da realidade virtual: *Motion Sickness* e *Simulator Sickness*, que envolvem sintomas de tontura, mal-estar, fadiga e dor de cabeça.

O simulador utilizado para a pesquisa foi desenvolvido pelo laboratório VizLab da Universidade do Vale do Rio dos Sinos utilizando a Unity 3D como motor de jogo e o Oculus Rift como interface de realidade virtual.

Foi aplicado um questionário com 16 participantes da pesquisa. Os resultados obtidos indicaram que em um percurso virtual de 5.4 KM, vários participantes relataram sintomas adversos como tontura e dor de cabeça. Os resultados sugeriram ainda que o tempo médio de utilização sem maiores sintomas nas amostras analisadas é de 8 minutos.

### **3.4 UTILIZAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL EM SIMULADOR DE ÔNIBUS COM GOOGLE CARDBOARD**

O autor deste presente trabalho desenvolveu anteriormente um estudo sobre a possibilidade de implementação de realidade virtual em um simulador veicular, analisando opções de tecnologias de realidade virtual utilizando um *smartphone* como

visualizador em conjunto com um *Google Cardboard* e um computador como *hardware* de execução do simulador.

O trabalho objetivou demonstrar as possibilidades de utilização de realidade virtual de baixo custo em um sistema de simulação veicular que pode ser utilizado no treinamento de motoristas. Como metodologia, foi feita uma análise de desempenho de fluidez na execução do simulador de ônibus no computador e no *smartphone* como visualizador de realidade virtual.

Para coletar os dados para a análise de desempenho realizada, foram realizados testes de *benchmarking* através da medição da taxa de quadros por segundo reproduzidas pelo computador e *smartphone* durante a execução do simulador.

As conclusões preliminares do trabalho atestaram a viabilidade de utilização dessa solução de realidade virtual de baixo custo para aumento da experiência de imersão no simulador de ônibus (BARROS; ARAUJO, 2016).

## 4 METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentado o projeto de um *serious game* para ensino de regras de trânsito a partir da perspectiva de um condutor de veículos automotores com tração de quatro rodas. Durante o *gameplay*, o jogador deverá seguir um trajeto virtual em cenários urbanos com desafios diversificados, observando e respeitando as leis de trânsito vigentes. Cada trajeto será avaliado e ao final o usuário terá um *feedback* considerando seus acertos e erros na condução do veículo e na observação às regras de tráfego.

### 4.1 PROJETO DE UM SIMULADOR TRIDIMENSIONAL PARA ENSINO DE REGRAS DE TRÂNSITO

A proposta do jogo é voltada para o lúdico no que diz respeito da conscientização das regras de tráfego pelos usuários, podendo ser jogado com controladores de jogo diversificados, não exigindo o uso de controladores específicos como volantes.

O personagem será em primeira pessoa e cada trajeto apresentará um nível de dificuldade baseando-se em fatores ambientais do cenário virtual como horário, intensidade do tráfego, clima e distância do percurso a ser percorrido.

Nas próximas subseções, serão apresentadas as ferramentas utilizadas para a construção e desenvolvimento do jogo, assim como os métodos aplicados na elaboração intelectual do projeto e implementação de elementos do jogo no motor de jogo.

### 4.2 CONCEITO E DESIGN DO SIMULADOR ESTRADADRIVER

O EstradaDriver é um *serious game*, que objetiva a simulação de situações reais de trânsito, oferecendo *feedback* ao usuário em tempo de execução. Sendo então um jogo digital, faz-se necessária a aplicação de metodologias de *game design* para que o desenvolvimento e documentação do jogo possibilitem a implementação e manutenção do mesmo.

Por isso, o presente trabalho utiliza a metodologia proposta por ROCHA; ARAUJO (2013) nas fases de planejamento, análise, projeto, implementação, integração e teste, execução e avaliação dos resultados.

### 4.2.1 Planejamento

A primeira fase no desenvolvimento do EstradaDriver foi o planejamento que baseado na metodologia de ROCHA; ARAUJO, visa a responder as seguintes perguntas:

- Qual é o problema real?
- Qual é o público-alvo? Quem será o alvo do treinamento?
- Qual é o cenário da simulação para treinamento?
- Qual é a motivação para o treinamento?
- Qual é o objetivo para o treinamento?
- Qual é o cenário da possível ocorrência do treinamento?

A tabela 1 mostra como foram respondidas tais perguntas no processo de planejamento do EstradaDriver.

Tabela 1 – Planejamento inicial de desenvolvimento do EstradaDriver

| Planejamento Inicial                          |                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Problema real                                 | Comportamentos que ocasionam acidentes no trânsito como excesso de velocidade e direção perigosa.                                                                                                                                             |
| Aprendizes                                    | Condutores em formação                                                                                                                                                                                                                        |
| Cenário e motivação                           | No tráfego em cidades ou em rodovias, a tomada de decisões erradas e a falta de conhecimento do código de trânsito durante a condução de veículos automotores podem ocasionar erros que podem ser determinantes em um possível acidente grave |
| Objetivo do treinamento                       | Explicar de maneira lúdica as regras de trânsito e auxiliar condutores em formação no aprendizado dos mesmos                                                                                                                                  |
| Habilidade a serem treinadas                  | Direção e capacidade de tomadas corretas de decisões no trânsito                                                                                                                                                                              |
| Objetivo da simulação                         | Treinar pessoas sobre as regras de trânsito na direção de veículos                                                                                                                                                                            |
| Cenário da possível ocorrência do treinamento | Cidade com tráfego em intensidade mediana durante uma tarde ensolarada ou durante a noite com névoa                                                                                                                                           |

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em *template* criado por ROCHA; ARAUJO (2013)

Os comportamentos a serem analisados são referentes ao respeito a sinalização e aos demais veículos. Comportamentos como direção no sentido indicado pela sinalização na via, respeito a velocidade máxima permitida, aos semáforos e detecção de colisão com edificações e outros veículos são verificados.

#### 4.2.2 Análise

Através do planejamento inicial de criação do simulador, foram levantados os requisitos de design e de simulação, que objetivam detalhar informações para as fases de projeto e implementação.

Os requisitos de design se referem a informações sobre o funcionamento do simulador como jogo, observando aspectos como interfaces de entrada/saída de dados, mundo do jogo, sistemas de pontuação, motor de jogo a ser utilizado, os recursos externos implementados e fatores de jogabilidade.

A tabela 2 demonstra como foram levantados os requisitos de design para o EstradaDriver.

Tabela 2 – Requisitos de design do EstradaDriver

| <b>Requisitos de Design do Jogo</b>    |                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Interface de interação e entrada/saída | Botões na tela, botões no teclado, mouse e controlador de jogo Xbox 360 for Windows                                                                                     |
| Personagens                            | Perspectiva em primeira pessoa nos tipos de veículos: carros de passeio, pick-ups, caminhões e ônibus                                                                   |
| NPC's                                  | Tráfego de veículos                                                                                                                                                     |
| Mundo do game                          | Cenário de cidades e rodovias                                                                                                                                           |
| Pontuação, Vidas, Mapa                 | Pontuação: baseada na CTB no caso de infrações;<br>Bônus positivo no caso de tomadas corretas de decisão;<br>Mapa: baseado em cidades reais                             |
| Motor de jogo                          | Unity 3D                                                                                                                                                                |
| Recursos                               | Módulos de <i>assets</i> (Texturas 2D, Modelos 3D, componentes de <i>script</i> , arquivos de áudio)                                                                    |
| Jogabilidade                           | 1. Interface com informações sobre o veículo, pontuação e feedback de ações do usuário;<br>2. Diversos níveis em cenários diferentes para diversificação do treinamento |

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em *template* criado por ROCHA; ARAUJO (2013)

Os requisitos de simulação são mais específicos, visando observar o nível de representação da realidade a ser simulada, as funcionalidades do simulador e a a

própria simulação física dos modelos, além da avaliação dos objetivos do treinamento e do usuário.

A tabela 3 apresenta os requisitos levantados para cumprir as atribuições de simulação.

Tabela 3 – Requisitos de simulador do EstradaDriver

| <b>Requisitos de Simulação</b>                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Informações que o usuário precisa para realizar a tarefa                                 | Sinalizações presentes no cenário e indicação da rota em realidade aumentada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Como ele obterá as informações                                                           | Descrição textual da tarefa, visualização do mapa do trajeto a ser percorrido e visualização do cenário 3D                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ações que o usuário deve fazer para realizar a tarefa                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Percorrer o trajeto definido previamente sem cometer infrações de trânsito graves;</li> <li>- Completar o trajeto em um determinado limite de tempo,</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Como o usuário faz estas ações                                                           | O jogador controla o carro utilizando os periféricos de entrada (teclado, mouse ou controle)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Que <i>feedback</i> será apresentado se a tarefa foi cumprida corretamente ou se não for | Informação em texto sobre acertos e erros;<br>Feedback sonoro em determinadas ações, como som de colisão em batidas;<br>Mensagens na UI sobre falhas graves;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Erros e falhas que o usuário poderá cometer e o que isto ocasionará                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Infringir a sinalização da via;</li> <li>- Andar na contramão;</li> <li>- Realizar retornos proibidos;</li> <li>- Cortar caminho ou dirigir fora da via;</li> <li>- Excesso de velocidade;</li> <li>- Avançar o sinal vermelho;</li> <li>- Ocasionar colisões com outros veículos entre outras infrações: punição com perda de pontos conforme previsto no CTB;</li> </ul> <i>Feedback</i> em tempo real com informações textuais e sinais sonoros; |

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em *template* criado por ROCHA; ARAUJO (2013)

A tabela 4 apresenta o nível de fidelidade dos recursos a serem aplicados na simulação.



Tabela 4 – Requisitos de simulador do EstradaDriver - Nível de fidelidade

| <b>Nível de fidelidade - Dimensão Física</b> |                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Qualidade de som                             | Som tridimensional com som ambiente, do motor do veículo controlado pelo jogador, dos veículos de tráfego controlados por inteligência artificial e sons de colisões. |
| Resolução                                    | Representação 3D de cenários com ruas, calçadas, prédios e terreno com alto grau de realismo e informações 2D para a interface gráfica.                               |

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em *template* criado por ROCHA; ARAUJO (2013)

### 4.2.3 Projeto

O projeto do EstradaDriver foi criado baseando se em trabalhos anteriores do autor, como o “Viação EstradaBus Game”, jogo simulador de direção de ônibus para fins de entretenimento que também possui elementos de gerenciamento de empresas de ônibus para engajamento do usuário. A figura 10 mostra uma imagem *in-game* do “Viação EstradaBus Game”.

Figura 10 – Captura de tela do jogo “Viação EstradaBus Game”



Fonte: Autoria Própria

O “Viação EstradaBus Game” foi utilizado em pesquisa pelo autor acerca da possibilidade de aplicação de realidade virtual no mesmo utilizando soluções de baixo custo em trabalho mencionado anteriormente na seção 3.4. Este trabalho foi publicado

na Biblioteca Digital Brasileira de Computação, fazendo parte da trilha Pôsteres e Demos do XV Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC 2016).

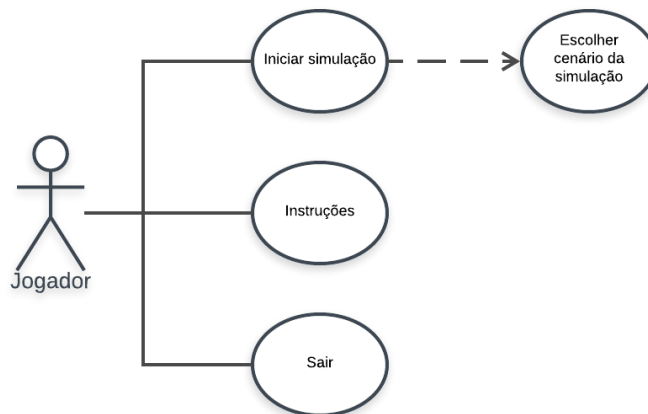
A partir do desenvolvimento prévio do “Viação EstradaBus Game”, foi possível dimensionar a transição entre planejamento, análise e implementação de recursos para o simulador EstradaDriver.

Por isso, os *assets* utilizados no “Viação EstradaBus Game” foram reaproveitados no desenvolvimento do EstradaDriver, assunto que será abordado em maiores detalhes na seção 4.2.4.

Na etapa “Projeto”, é realizada a elaboração de modelos e diagramas acerca dos requisitos levantados nas etapas de “Planejamento” e “Análise”, afim de retratar e visualizar aquilo que o simulador deve executar.

Foi utilizado o diagrama de casos de uso para mostrar os atores do sistema e possíveis cenários de utilização do simulador. A figura 11 mostra como o usuário interage com o menu principal.

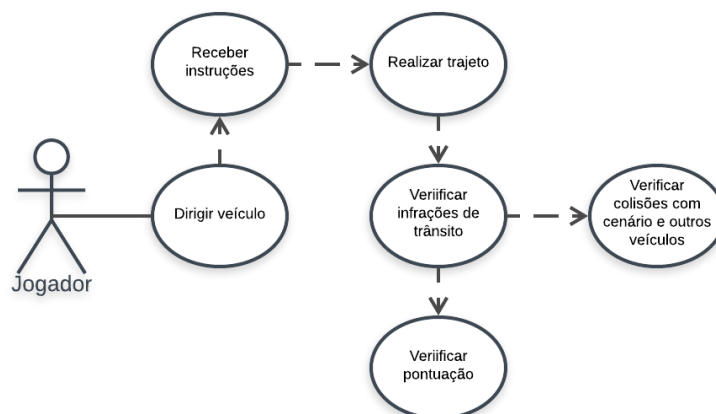
Figura 11 – Caso de uso acerca da utilização do menu principal



Fonte: Autoria Própria

A figura 12 mostra o caso de uso que demonstra como o usuário interage com o EstradaDriver em execução.

Figura 12 – Caso de uso acerca da utilização do simulador EstradaDriver



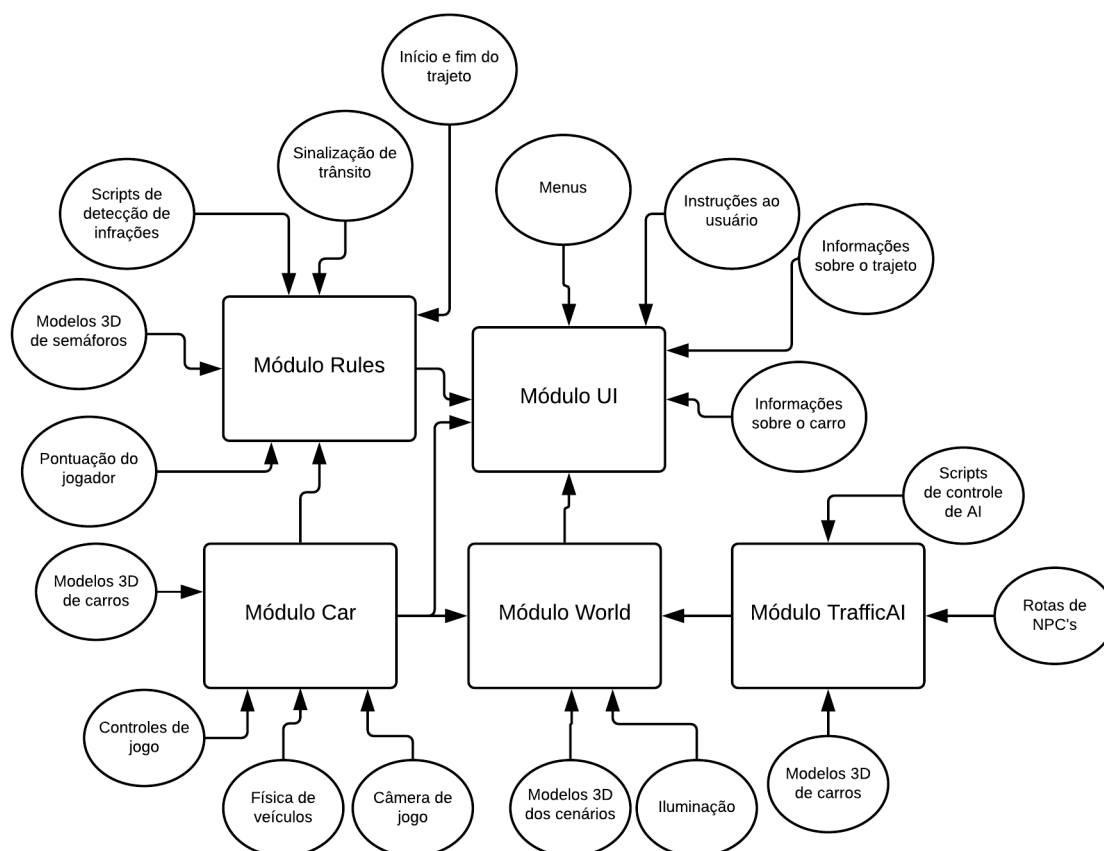
Fonte: Autoria Própria

Foram aproveitados diversos elementos do jogo “Viação EstradaBus Game”. No entanto, diversos aspectos foram adaptados e desenvolvidos para a construção do EstradaDriver. Os controles de jogo e utilização de *scripts* de iluminação de ambiente foram mantidos, além de modelos 3D de veículos, mas foram criados dois novos cenários de jogo foram criados, a interface gráfica foi reformulada e foi desenvolvida uma inteligência artificial de tráfego de veículos.

A criação e implementação desses recursos foi dividida em módulos, de acordo com suas funcionalidades no EstradaDriver. Cada módulo está contido em um *custom package*, que são criados de modo independente dentro da Unity3D e implementados de maneira interdependente dentro do contexto do jogo.

A especificidade e funcionamento de cada um destes módulos é abordada em maiores detalhes no capítulo 5. A figura 13 mostra como esses módulos se relacionam no projeto do EstradaDriver na Unity3D.

Figura 13 – Relações entre módulos no projeto do EstradaDriver



Fonte: Autoria Própria

#### 4.2.4 Implementação

Na fase de implementação do EstradaDriver, a Unity foi utilizada como motor de jogo pela experiência de desenvolvimento e afinidade do autor com a ferramenta, uma vez que ela foi aplicada no desenvolvimento do “Viação EstradaBus Game”. Além de possuir licença gratuita, a Unity possui uma ampla gama de tutoriais, uma comunidade bastante ativa e uma série de *assets* criados pela comunidade de desenvolvedores, prontos para serem implementados no projeto de acordo com a necessidade do mesmo e disponibilizados gratuitamente na *Unity Asset Store* (BOSNJAK; OREHOVACKI, 2018).

Para desenvolvimento das classes que determinam os comportamentos dos *game objects* presentes no EstradaDriver, foi utilizada a linguagem C# baseada na classe básica *MonoBehaviour* da Unity3D.

Como ferramenta de edição de código-fonte, foi utilizado o *Visual Studio Code* para escrita dos códigos em C#, uma vez que o mesmo é integrado ao ambiente de

desenvolvimento da Unity.

Para criação dos modelos 3D das cidades, cenários, semáforos, placas de trânsito, elementos de ambiente como árvores e vegetação e modelos de veículos controlados pelo usuário como veículos de tráfego controlados por inteligência artificial foi utilizado o software Blender, que possui licença gratuita de uso para fins pessoais e comerciais.

A criação e edição de imagens foi realizada utilizando o software Inkscape, que é gratuito e assim como o Blender, possui licença gratuita de uso para fins pessoais e comerciais.

Além disso, foram utilizados modelos 3D de repositórios gratuitos como o *BlendSwap* (<[www.blendswap.com](http://www.blendswap.com)>), *Turbo Squid* (<[www.turbosquid.com](http://www.turbosquid.com)>) e *Archive 3D* (<[archive3D.net](http://archive3D.net)>). Os arquivos de áudio foram adquiridos em repositórios gratuitos com licença *royalty-free*, como o *FreeSound* (<[www.freesound.org](http://www.freesound.org)>) e *Audioblocks* (<[www.audioblocks.com](http://www.audioblocks.com)>) e o *Youtube Audio Library* (<[www.youtube.com/audiolibrary/music](http://www.youtube.com/audiolibrary/music)>).

Também foram implementados no projeto pacotes de *assets* disponibilizados na *Unity Asset Store*, além de pacotes customizados em formato de módulos já supracitados. O capítulo 5 abordará a implementação de recursos no *EstradaDriver* de forma mais detalhada.

#### 4.2.5 Integração e Teste

Os módulos responsáveis pelos *assets*, como scripts, modelos 3D e texturas 2D foram integrados em um projeto da Unity 3D, e a partir disso, uma versão executável de teste do *EstradaDriver* foi compilada e construída.

Então, o simulador foi testado em computador com sistema operacional Windows, sendo controlado por teclado e mouse e em seguida por controlador de jogo *Xbox 360 Controller for Windows* em suas funcionalidades. Após essa fase, o *EstradaDriver* enquanto *software* mostrou-se pronto para uso.

#### 4.2.6 Execução

Na fase de execução, o *EstradaDriver* pode ser jogado em suas funcionalidades básicas, como seleção e direção dos veículos no cenário 3D, como mostrado na figura 14.

Figura 14 – Imagem do simulador EstradaDriver em execução



Fonte: Autoria Própria

No entanto, para avaliar se o EstradaDriver possui boa usabilidade e fidelidade na simulação de direção veicular, fez-se necessário testá-lo com usuários para realizar a validação e acreditação do simulador, conforme previsto na metodologia aplicada neste trabalho.

#### 4.2.7 Avaliação dos resultados

Para validar o EstradaDriver quanto a sua usabilidade pelo usuário, foi elaborado um questionário dividido em duas partes: a primeira com dez questões baseadas no método SUS e a segunda com cinco questões baseadas no trabalho de ROCHA; BITTENCOURT; ISOTANI (2015), no qual os autores avaliam a experiência do usuário no simulador *GLPSobControle* no treinamento de bombeiros na manipulação de substâncias voláteis, e no trabalho de SCHULTHEIS et al. (2007) que avalia a usabilidade de simuladores de direção em realidade virtual.

O questionário, resultados e discussões sobre os resultados obtidos são discorridos em maiores detalhes no capítulo Resultados e Discussão.

### 4.3 USO DE REALIDADE VIRTUAL

O uso da realidade virtual no presente trabalho visa primordialmente ampliar a experiência dos usuários com o EstradaDriver para criar um ambiente de treinamento mais verossímil. Maiores detalhes são abordados no capítulo 6, que aborda especificamente como foi implementada a realidade virtual neste trabalho.

## 5 RECURSOS IMPLEMENTADOS NO ESTRADADRIVER

Este capítulo destina-se a apresentar os recursos de multimídia utilizados no EstradaDriver. São modelos 3D, texturas 2D, imagens aplicadas na interface gráfica, recursos de áudio e *scripts* desenvolvidos para implementação de renderização, física, mecânicas de *gameplay*, regras do jogo e inteligência artificial.

Os recursos implementados no EstradaDriver foram definidos na fase de Projeto na metodologia utilizada e se dividem em módulos, que são os seguintes: Rules, World, Car, TrafficAI e UI. Cada módulo é responsável por armazenar e gerenciar componentes e funcionalidades presentes no EstradaDriver.

Os *scripts* responsáveis pelas funcionalidades de regras, para verificar possíveis acertos e infrações de trânsito do usuário no jogo estão contidos no módulo Rules; os modelos 3D, texturas 2D e sons ambiente responsáveis por gerar o cenário do *game* estão no módulo World; os modelos 3D, texturas 2D, sons do carro (como o som do motor) e *scripts* implementados na física de jogo, visualização do ambiente através do sistema de câmeras de jogo, além do controle dos carros controlados pelo jogador estão no módulo Car; o módulo TrafficAI é responsável pela implementação de classes de *scripts* responsáveis pela inteligência artificial do tráfego, dos modelos 3D de carros não-jogáveis e do áudio desses carros; o módulo UI traz os recursos utilizados nos menus e no textitfeedback ao usuário, além dos recursos visuais interativos.

A integração desses módulos forma o simulador EstradaDriver enquanto textitsoftware.

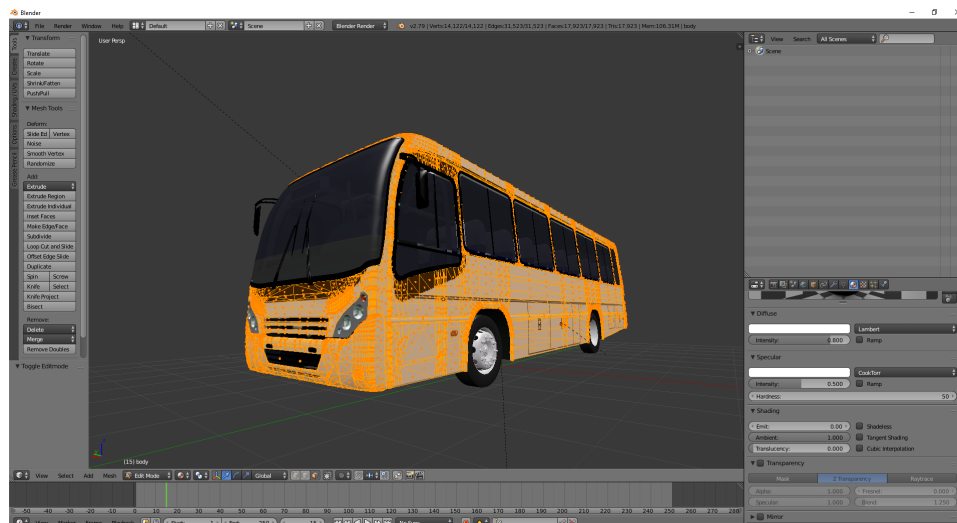
### 5.1 CONSTRUÇÃO DOS *PLAYERS* DE JOGO - MÓDULO CAR

O módulo Car é responsável pelos *assets* que constituirão a parte jogável do EstradaDriver. São modelos 3D, texturas 2D, arquivos de áudio e *scripts* que compõem o módulo. As seções a seguir discutirão acerca de cada tipo de dado presente neste conjunto de *assets*.

#### 5.1.1 Desenvolvimento de modelos de carros em 3D

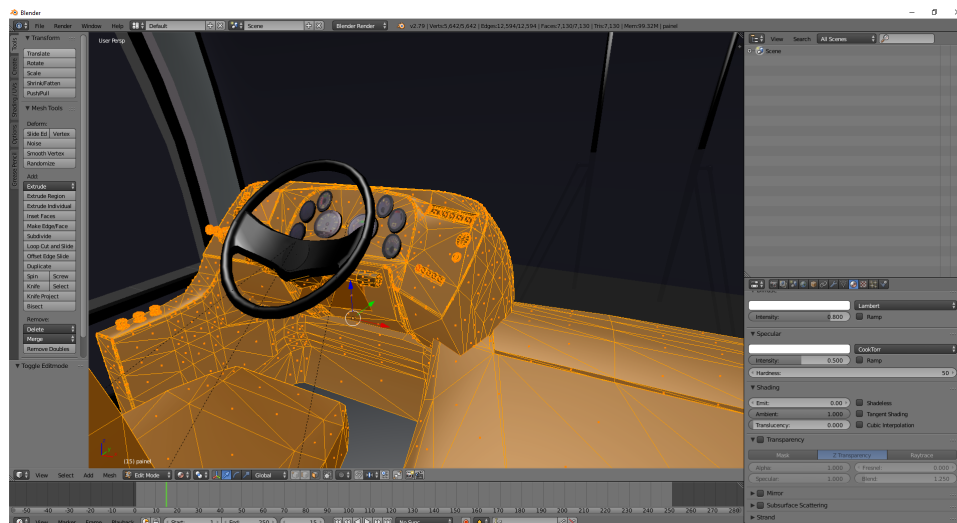
Para criação dos objetos 3D de carros jogáveis, foi utilizado o *software* Blender para modelagem com base em veículos reais. A figura 15 mostra a visão externa de um modelo 3D de ônibus em desenvolvimento no ambiente de desenvolvimento deste *software* e a figura 16 mostra imagem do mesmo ônibus em edição em seu interior.

Figura 15 – Imagem da edição da parte externa de ônibus no textitsoftware Blender



Fonte: Autoria Própria

Figura 16 – Imagem da edição da parte interna (cabine e painel) de ônibus no software Blender



Fonte: Autoria Própria

No Blender, também são aplicadas texturas utilizando mapeamento UV no modelo 3D de ônibus.

Após a edição, o modelo 3D é exportado para o formato FBX com as texturas 2D aplicadas e importadas no projeto na Unity. A figura 17 mostra o modelo 3D editado no Blender importado na *scene view* na Unity.



Figura 17 – Imagem do modelo 3D do ônibus com texturas 2D importado na Unity



Fonte: Autoria Própria

### 5.1.2 Implementação de física veicular na Unity3D

O sistema de física dos veículos controlados pelo usuário é determinado pela classe *Wheel Collider*, baseada na API *PhysX* e que herda da classe *MonoBehaviour*.

A classe *Wheel Collider* permite simular a física de veículos através de componentes denominados *Wheels* que controlam os seguintes atributos: massa, raio, suspensão e centro de gravidade da roda.

Além disso, essa classe possui dois atributos declarados como *motorTorque* e *brakeTorque*, que controlam a velocidade do veículo. Tais valores de atributos podem ser manipulados em tempo de execução pelo usuário através da classe *Input*, que recebe os dados de entrada dos periféricos conectados ao dispositivo, como teclados, mouses e controladores de jogo.

Para auxiliar no desenvolvimento do sistema de física dos veículos jogáveis, foi utilizado um sistema de física de veículos open-source aplicável em projetos na Unity: o *Randomation Vehicle Physics*, disponível no GitHub<sup>1</sup> e no site do desenvolvedor<sup>2</sup>.

O *Randomation Vehicle Physics* auxilia o desenvolvedor disponibilizando gratuitamente os sons dos veículos e de colisão, *scripts* que utilizam a classe *Wheel Collider*, implementando inclusive um sistema de transmissão veicular realística.

<sup>1</sup> Disponível em: <https://github.com/JustInvoke/Randomation-Vehicle-Physics>, acesso em 30 nov. 2018, licenciado através da *MIT License*

<sup>2</sup> Disponível em: <https://justinvoke.com/game-assets/#randomation-vehicle-physics>, acesso em 22 jun. 2018

### 5.1.3 Câmera de jogo

A Unity possui a classe *Camera* para a renderização da cena, que no EstradaDriver - onde há a implementação de realidade virtual - possui visualização em primeira pessoa, como se o jogador estivesse na cabine do motorista em frente ao volante. A figura 18 mostra a visão interior do veículo na perspectiva do usuário.

Figura 18 – Visão do jogador no EstradaDriver



Fonte: Autoria Própria

## 5.2 IMPLEMENTAÇÃO DE REGRAS DE JOGO - MÓDULO RULES

O módulo Rules é o responsável pelas funcionalidades de verificação de acertos e erros do usuário durante a execução do simulador. Nesse módulo, foram desenvolvidos *scripts* que identificam o veículo que o usuário está controlando na cena através do atributo *tag* do componente básico *Game Object* através da função *FindGameObjectWithTag(string tag)*.

Os *game objects* que contêm os *scripts* responsáveis por identificar infrações de trânsito cometidas pelo jogador contêm *box colliders*, que funcionam como *triggers* e incrementam ou decrementam o valor de pontuação do jogador de acordo com as normas previstas na CTB.

No EstradaDriver, a detecção das quatro seguintes infrações é prevista:

- Avanço do sinal vermelho: Infração grave com decremento de 5 pontos;
- Direção na contramão: Infração grave com decremento de 5 pontos;
- Velocidade maior que a permitida: Infração grave com decremento de 5 pontos;

- Colisão com placas de sinalização, edifícios, outros veículos e demais elementos do ambiente de simulação: notificação sonora e em texto na tela;

O sistema do módulo Rules ainda detecta a progressão do usuário no trajeto indicado, retornando as seguintes mensagens de *feedback* para o usuário:

- “Velocidade muito baixa” em caso de velocidade que possa atrapalhar o fluxo de veículos;
- “Mantenha a velocidade” caso a velocidade esteja dentro da sinalizada para a via em trânsito;
- “Você passou da metade do trajeto” caso o usuário ultrapasse mais de 50% do trajeto predeterminado e;
- “Estacione na área indicada para concluir o trajeto” ao final do trajeto.

A figura 19 mostra uma via sinalizada com placas de advertência e indicação de parada no semáforo. A figura mostra ainda como o detector de avanço ao sinal vermelho é implementado na Unity 3D.

Figura 19 – Sinalização viária e implementação de detecção de sinal vermelho na Unity3D

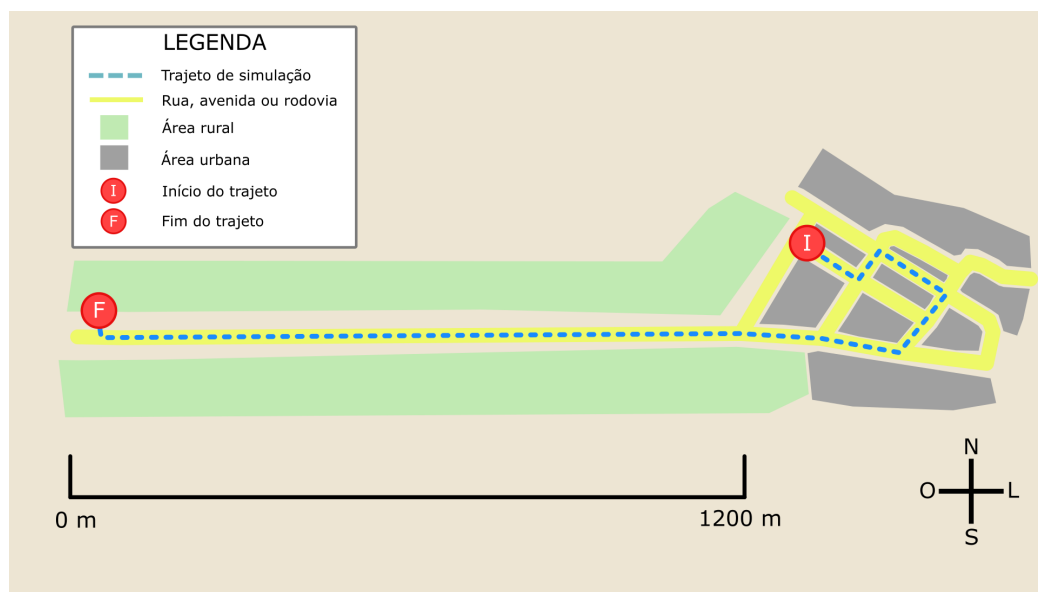


Fonte: Autoria Própria

## 5.3 CONSTRUÇÃO DO *LEVEL DESIGN* - MÓDULO WORLD

### 5.3.1 Criação e desenvolvimento de cenários 3D

O projeto do mapa do cenário do EstradaDriver foi desenvolvido no *software* de vetorização digital Inkscape. A figura 20 mostra como o cenário foi planejado.

Figura 20 – Mapa do cenário criado no *software* Inkscape

Fonte: Elaborado pelo autor

O círculo vermelho com a letra "I" indica o início do trajeto, e o outro círculo vermelho com a letra "F" contida indica o final do trajeto, que está indicado pela linha tracejada em azul. O mapa foi baseado na cidade de Timon, através da utilização do *OpenStreetMap*<sup>3</sup>, conforme mostrado na figura

Figura 21 – Mapa de Timon capturado no OpenStreetMap que serviu de base para criação do cenário do EstradaDriver



Fonte: Elaborado pelo autor

<sup>3</sup> OpenStreetMap é um repositório gratuito de mapas *online*.  
<https://www.openstreetmap.org/search?query=timon>, acesso em 14 out. 2018

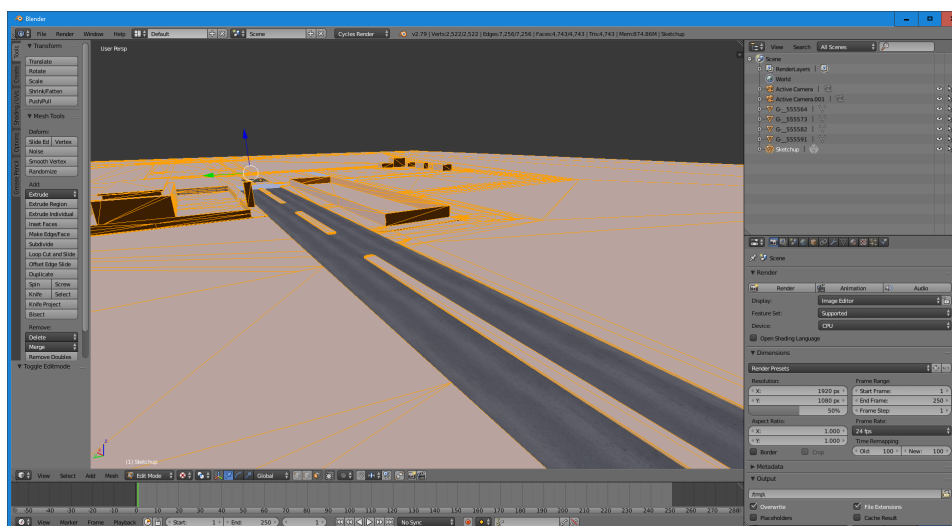
Disponível em:



Na construção dos cenários de cidades, foram modeladas ruas, calçadas, edificações como muros, casas, empresas, postes de iluminação, postos de gasolina entre outros elementos que compõem uma cidade.

A figura 22 mostra um modelo 3D de via urbana sendo modelada no Blender.

Figura 22 – Vias urbanas sendo modeladas no Blender



Fonte: Autoria Própria

Assim como os veículos, os modelos 3D de cidades foram importados para a Unity3D. A figura 23 mostra como esses modelos foram implementados na *game engine*.

Figura 23 – Implementação de modelos 3D de cidades na Unity3D



Fonte: Autoria Própria

## 5.4 CONSTRUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DOS NPC'S - MÓDULO TRAFFICAI

### 5.4.1 Desenvolvimento de inteligência artificial de tráfego

Os carros utilizados no tráfego são instanciados em cena através de mecânica de *spawn*, que consiste em posicionar os objetos em cena em tempo de execução. Esses carros são *spawnados* em um local inacessível ao usuário e são armazenados em *prefabs*.

Cada objeto referente a um veículo de tráfego segue um caminho pré-definido em um *game object* pai chamado de *path*, com vários objetos filhos chamados de *waypoints*, cada um possuindo apenas um componente *transform* para indicar os pontos por onde os veículos de tráfego devem seguir.

A rota inicial que os veículos de tráfego devem percorrer é declarada em uma classe denominada *iaCarro* que é implementada em cada veículo. Em cruzamentos, os carros podem mudar de rota. Em caso de colisão entre dois veículos de tráfego, ambos são movidos para um local invisível ao jogador e consequentemente são destruídos.

Caso o veículo do jogador colida com um veículo de tráfego, é emitida na tela uma notificação de aviso, indicando que houve uma colisão, gerando perda de pontos na avaliação do usuário.

Existem também *box colliders* que atuam como *triggers* para diminuir a velocidade ou parar esses veículos controlados por IA, em pontos como cruzamentos de ruas ou em semáforos.

Ao final do caminho, os veículos são destruídos através do método *Destroy()* da classe *MonoBehaviour* para evitar que haja acúmulo de objetos na cena.

A figura 24 apresenta um veículo controlado por IA com os *waypoints* no caminho.

Figura 24 – Veículo de tráfego com representações gráficas de *waypoints* na *scene view*



Fonte: Autoria Própria

## 5.5 INTERFACE GRÁFICA - MÓDULO UI

A interface gráfica do EstradaDriver utiliza o componente *Canvas* para criar os elementos de interação gráfica com o usuário.

Estão presentes três informações atualizadas em tempo de execução: a pontuação do usuário de acordo com sua conduta no trânsito, a marcha e a velocidade desenvolvida pelo veículo. A figura 25 mostra como essas informações são apresentadas no simulador.

Figura 25 – Informações apresentadas ao usuário na interface gráfica do EstradaDriver



Fonte: Autoria Própria

Além disso, o sistema de interface gráfica também retorna mensagens notificando o usuário sobre erros que ele cometeu, como mostra a figura 26.

Figura 26 – Notificação de infração cometida pelo usuário



Fonte: Autoria Própria



## 6 IMPLEMENTAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL

Neste capítulo, será abordada a implementação de realidade virtual no EstradaDriver. Optou-se pela utilização de soluções de baixo custo, como transmissão das imagens geradas do computador para o celular através do aplicativo Trinus VR, que atua como cliente no *smartphone* e como servidor, que faz conexão diretamente com o simulador.

### 6.1 HEADSETS DE REALIDADE VIRTUAL PARA SMARTPHONES

Foram cogitados dois headsets de realidade virtual para implementação da realidade virtual neste trabalho: o Google Cardboard e o VR Box.

O Google Cardboard possui baixíssimo custo, por ser fabricado em papelão, porém por isso apresenta baixa resistência a umidade e o suor, o que não ocorre com o VR Box por possuir um corpo de plástico. O Google Cardboard apresenta também a desvantagem de ser desconfortável para utilizações mais longas. Já o VR Box possui bordas acolchoadas para que o contato com o rosto não cause desconforto físico.

A figura 27 mostra o Google Cardboard e a figura 28 mostra o VR Box e o *smartphone*.

Figura 27 – Google Cardboard utilizado neste trabalho



Fonte: Autoria Própria

Figura 28 – VR Box e o *smartphone* utilizados neste trabalho

Fonte: Autoria Própria

## 6.2 STREAMING PC-SMARTPHONE

O equipamento de realidade virtual escolhido para a realização dos testes foi o VR Box por apresentar maior conforto e controle focal das lentes.

Como mencionado anteriormente, o aplicativo utilizado neste trabalho foi o Trinus VR, que apresentou resultados satisfatórios em sua implementação como aplicativo de integração para realidade virtual em trabalhos anteriores do autor desta monografia.

Os dados de imagem do computador são enviados ao *smartphone* em tempo de execução para viabilizar a jogabilidade do simulador através de conexão Wi-Fi estabelecida entre o aplicativo cliente no sistema operacional Android e o servidor integrado ao EstradaDriver através de um pacote de *assets* disponibilizado gratuitamente pela Trinus para este fim.

O computador e o *smartphone* onde foram realizados testes de execução do EstradaDriver possuem as seguintes configurações, conforme as tabelas 5 e 6, respectivamente:

Tabela 5 – Especificações do computador utilizado nos testes de execução do EstradaDriver

| Especificações      |                        |
|---------------------|------------------------|
| Sistema Operacional | Windows 10             |
| Processador         | Core i3-4005u 1.6 Ghz  |
| GPU                 | Intel HD Graphics 4400 |
| Memória RAM         | 4 GB RAM DDR 3         |
| Monitor/Display     | 1366x768 pixels        |

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 6 – Especificações do *smartphone* utilizado nos testes de execução do EstradaDriver

| Especificações      |                                 |
|---------------------|---------------------------------|
| Sistema Operacional | Android Oreo 8.0                |
| Processador         | Cortex A-53 Samsung Exynos 7870 |
| GPU                 | Mali-T830                       |
| Memória RAM         | 2 GB                            |
| Monitor/Display     | 1480x720 pixels                 |

Fonte: Elaborado pelo autor

O Trinus VR faz a divisão estereoscópica da imagem, portanto a visualização do mesmo sem a utilização do VR Box ou Google Cardboard no *smartphone* é conforme mostrada na figura 29.

Figura 29 – Imagem capturada do *smartphone* durante execução do EstradaDriver

Fonte: Autoria Própria

Após a conclusão do desenvolvimento da versão de testes EstradaDriver e da definição do equipamento de realidade virtual a ser aplicado, foram realizados os testes com usuários, que serão explanados no capítulo seguinte.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo discorre sobre os resultados e a análise dos dados obtidos durante as fases de execução e avaliação de resultados na aplicação dos testes para avaliar a usabilidade do EstradaDriver e da solução de realidade virtual implementada.

### 7.1 PROCEDIMENTO DE TESTES

Para avaliar a usabilidade do EstradaDriver enquanto simulador de direção e para validá-lo nas etapas de execução e avaliação de resultados na metodologia aplicada neste trabalho, foram realizados testes com usuários voluntários.

Os testes com o EstradaDriver foram realizados 14 (quatorze) voluntários, que utilizaram óculos de realidade virtual e responderam os dois questionários após a realização do teste nos cenários desenvolvidos. O procedimento de testes foi realizado com alunos do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal do Piauí Campus Teresina Central, que consistiu nas seguintes etapas: contextualização, teste de execução e *feedback* de usuário.

#### 7.1.1 Contextualização

Na contextualização, os voluntários foram esclarecidos quanto à proposta do simulador EstradaDriver enquanto ferramenta de auxílio à educação no trânsito e a utilização de realidade virtual através do VR Box como interface de usuário.

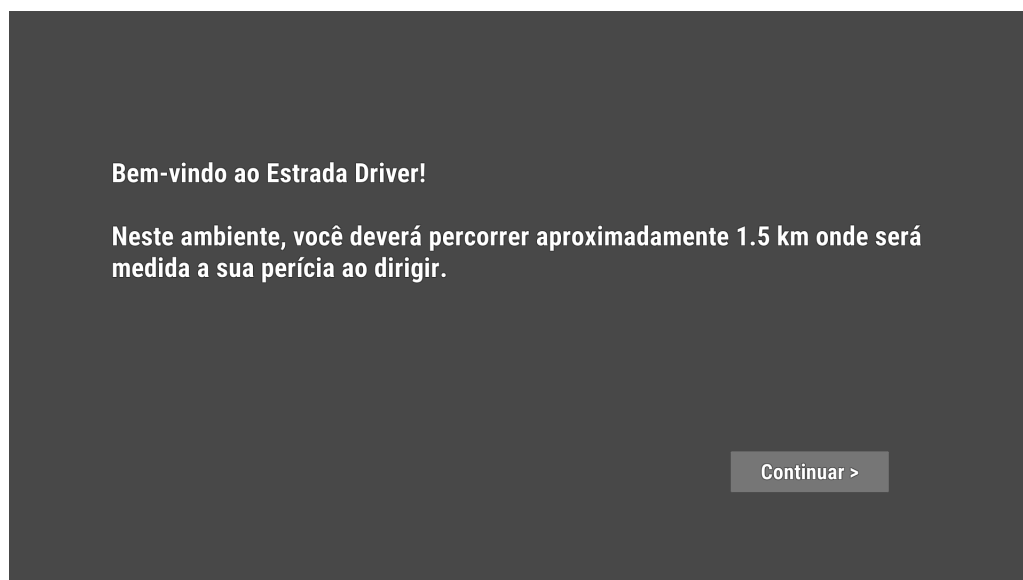
Além disso, os voluntários foram orientados a comunicar quaisquer intercorrências advindas da utilização de realidade virtual. Essas orientações foram realizadas antes do teste de execução.

#### 7.1.2 Teste de Execução

Na etapa de teste de execução, os voluntários, um a um foram convidados a jogar o simulador EstradaDriver através do controlador de jogo *Xbox 360 Controller for Windows*, fones de ouvido extra-auriculares e o óculos de realidade virtual VR Box conectados ao computador no qual o simulador estava sendo executado.

A primeira tela do simulador dá as boas-vindas ao usuário, como mostra a figura 30.

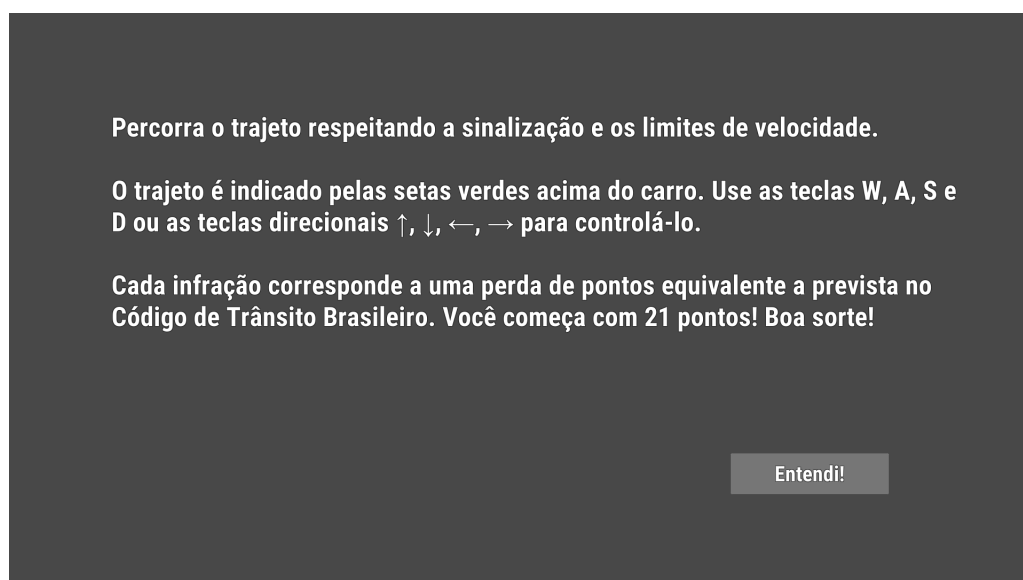
Figura 30 – Tela inicial do EstradaDriver



Fonte: Autoria Própria

Em seguida, o simulador fornece orientações a respeito das regras do simulador no trajeto a ser percorrido e sobre os controles de jogo para computador, conforme a figura 31.

Figura 31 – Orientações para usuário no EstradaDriver



Fonte: Autoria Própria

Após a apresentação das duas primeiras telas, o usuário pode iniciar o trajeto controlando o veículo em trajeto predeterminado indicado através do próprio simulador através de setas verdes semitransparentes sob o veículo, como mostrado na figura 32.

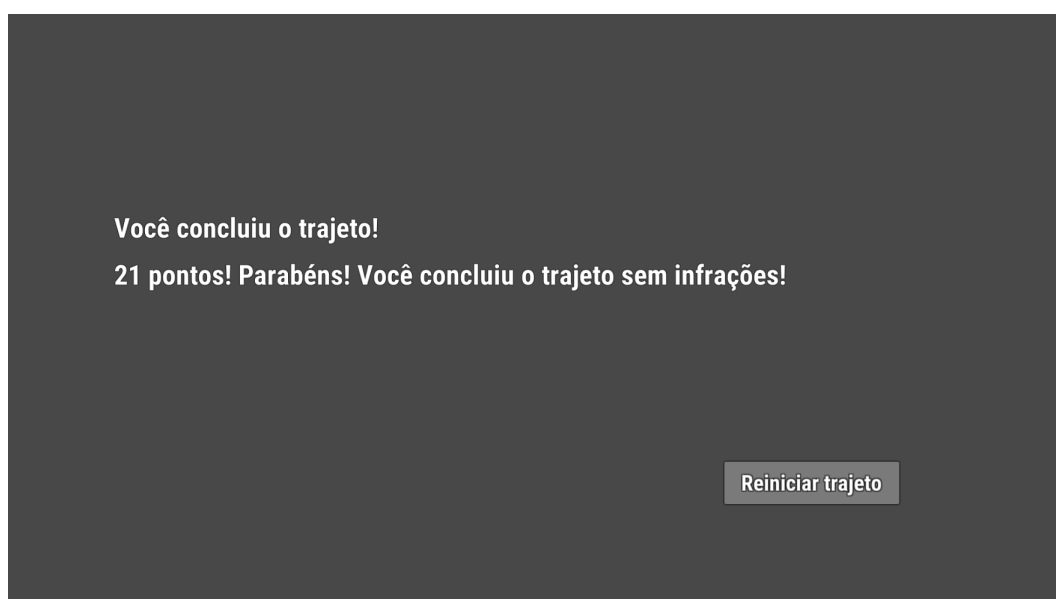
Figura 32 – Captura de tela do EstradaDriver com setas indicando o trajeto a ser percorrido.



Fonte: Autoria Própria

Ao concluir o trajeto, o simulador retorna uma tela indicando a quantidade de pontos que o usuário possui, assim como uma mensagem relativa ao seu desempenho na direção do veículo no trajeto, conforme a figura 33.

Figura 33 – Tela de *feedback* ao usuário ao final do teste de execução



Fonte: Autoria Própria

A figura 34 mostra um voluntário realizando o teste de execução com fones de ouvido extra-auriculares, óculos de realidade virtual e controlador de jogo.



Figura 34 – Voluntário durante o teste de execução



Fonte: Autoria Própria

### 7.1.3 *Feedback de usuário*

Após o teste de execução, os voluntários foram convidados a responder a um questionário eletrônico de quinze questões dividido em dois aspectos: avaliação de usabilidade e avaliação da simulação e uso de realidade virtual. A avaliação de usabilidade consistiu em dez questões baseadas no método SUS (BROOKE, 1986) e a avaliação de simulação em cinco questões que se basearam nos trabalhos de ROCHA; BITTENCOURT; ISOTANI (2015) e SCHULTHEIS et al.(2007).

A ferramenta utilizada para aplicação de coleta de dados via questionário foi o *Google Forms*.

A avaliação de usabilidade teve como objetivo mensurar a qualidade da experiência de usuário oferecida pelo EstradaDriver. A avaliação de simulação visou mensurar a eficiência do EstradaDriver enquanto jogo sério, além de avaliar a utilização de realidade virtual como interface de usuário.

A seção 7.2 aborda em maiores detalhes como o questionário foi aplicado.



## 7.2 QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO

O primeiro momento do questionário consistiu em dez questões baseadas no método SUS criado por BROOKE (1986), listadas abaixo:

- Eu acho que gostaria de usar o simulador com frequência.
- Eu acho o simulador desnecessariamente complexo.
- Eu achei o simulador fácil de usar.
- Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o simulador.
- Eu acho que as várias funções do simulador estão muito bem integradas.
- Eu acho que o simulador apresenta muita inconsistência.
- Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar o simulador rapidamente.
- Eu achei o simulador atrapalhado de usar.
- Eu me senti confiante ao usar o simulador.
- Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o simulador.

Os voluntários respondem todas as perguntas atribuindo notas de 1 a 5, sendo 1 equivalente a “discordo completamente” e 5 equivalente a “concordo completamente” de acordo com a escala Likert.

O segundo momento do questionário consistiu em cinco questões baseadas no trabalho de ROCHA; BITTENCOURT; ISOTANI (2015), listadas abaixo:

- O uso da realidade virtual tornou a experiência mais realista.
- Senti algum desconforto ao utilizar realidade virtual.
- O uso de realidade virtual no EstradaDriver melhorou a minha percepção e aprendizado das regras de trânsito.
- O uso de realidade virtual permite uma maior imersão no ambiente de treinamento do EstradaDriver.
- O uso de realidade virtual dificulta o controle do carro no simulador.

## 7.3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após os testes de execução e aplicação do questionário, os seguintes resultados foram obtidos. Para fins de organização, a primeira parte do questionário, relativa à avaliação de usabilidade e a segunda parte, relativa à implementação de realidade virtual na simulação serão apresentadas e analisadas separadamente.

### 7.3.1 Avaliação de usabilidade

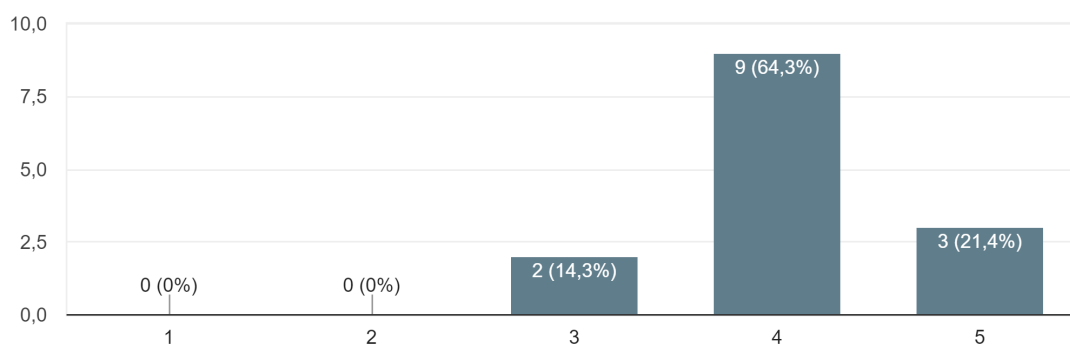
Na primeira questão na qual os voluntários foram submetidos, eles foram indagados se gostariam de usar o simulador EstradaDriver com frequência. 64,3% dos participantes atribuíram nota 4 a essa questão, enquanto 21,4% atribuíram nota 5 e os demais 14,3% atribuíram nota 3.

Doze dos quatorze participantes, ao atribuírem nota 4 ou 5 concordam ou concordam totalmente que gostariam de utilizar o simulador EstradaDriver com frequência, indicando que o EstradaDriver oferece recursos que estimulam os usuários a jogar o simulador novamente. A figura 35 mostra o gráfico relacionando a nota à quantidade de usuários que a escolheram relativo à primeira questão.

Figura 35 – Primeira questão da avaliação de usabilidade

Eu acho que gostaria de usar o simulador com frequência.

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

Na segunda questão, os participantes da pesquisa foram perguntados se acharam o EstradaDriver desnecessariamente complexo. 71,4% dos participantes atribuíram nota 1 a essa questão, enquanto 21,4% atribuíram nota 2 e os demais 7,1% atribuíram nota 3.

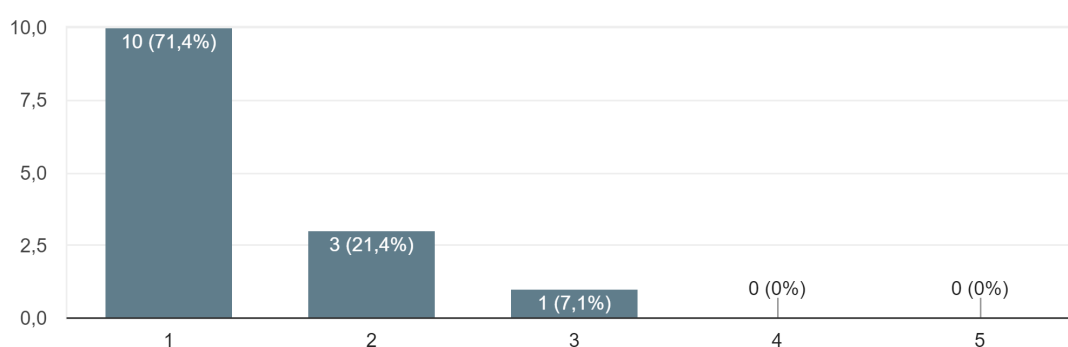
Esse resultado indica que a utilização do EstradaDriver não se mostrou uma experiência que exigiu dos participantes da pesquisa conhecimentos específicos ou uma tarefa complicada, de modo que não houve ocorrência de notas 1 e 2.

A figura 36 mostra o gráfico relacionando a nota à quantidade de usuários que a escolheram relativo à segunda questão.

Figura 36 – Segunda questão da avaliação de usabilidade

Eu acho o simulador desnecessariamente complexo.

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

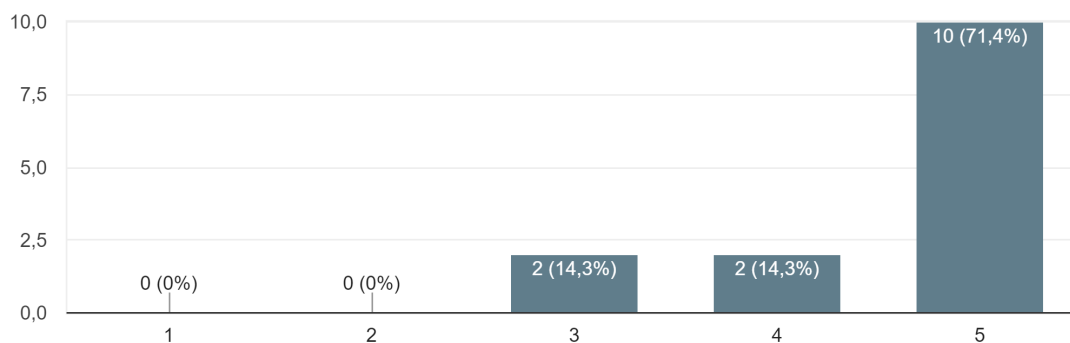
Na terceira questão, os participantes foram indagados se acharam o simulador fácil de se usar. 71,4% dos participantes atribuíram nota 5 a essa questão, enquanto 14,3% atribuíram nota 4 e 14,3% dos voluntários atribuíram nota 3, conforme mostra a figura 37.

O resultado obtido nessa questão ratifica os dados coletados da questão anterior, já que o mesmo número de voluntários que discordam completamente que acham o simulador desnecessariamente complexo concordam completamente que acharam o simulador fácil de usar.

Figura 37 – Terceira questão da avaliação de usabilidade

Eu achei o simulador fácil de usar.

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

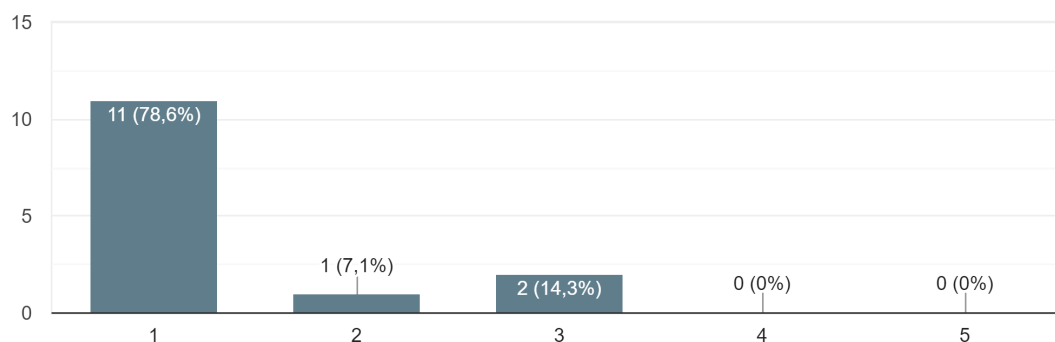
Na quarta questão, foi realizada pergunta aos voluntários se eles precisariam de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o simulador. 78,6% dos participantes atribuíram nota 1, 14,3% atribuíram nota 3 e 7,1% dos voluntários atribuíram nota 2, como mostra a figura 38.

Os voluntários indicaram em mais um ponto abordado que não sentiram dificuldades na experiência de utilização do EstradaDriver, uma vez que onze dos quatorze participantes atribuíram nota 1 a essa questão.

Figura 38 – Quarta questão da avaliação de usabilidade

Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o simulador.

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

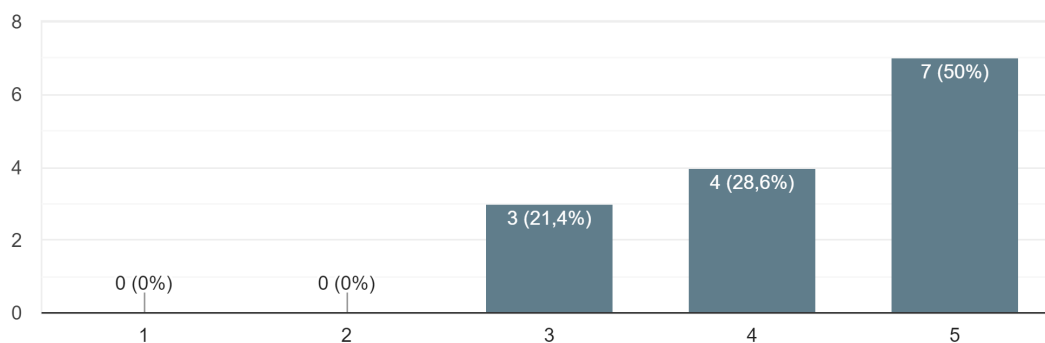
Os voluntários foram perguntados na quinta questão se eles achavam que as diversas funções como controles, movimentação do carro, interações físicas do simulador estavam muito bem integradas. 50% atribuíram valor 5 a esse questionamento, 28,6% deram nota 4 e 21,4%, nota 3, conforme mostrado pela figura 39.

Nessa questão, a quantidade de pessoas que atribuíram nota 5, ou seja, que concordaram totalmente diminuiu, representando metade dos participantes, o que indica que a integração das funções do EstradaDriver deve ser revisada.

Figura 39 – Quinta questão da avaliação de usabilidade

Eu acho que as várias funções do simulador estão muito bem integradas.

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

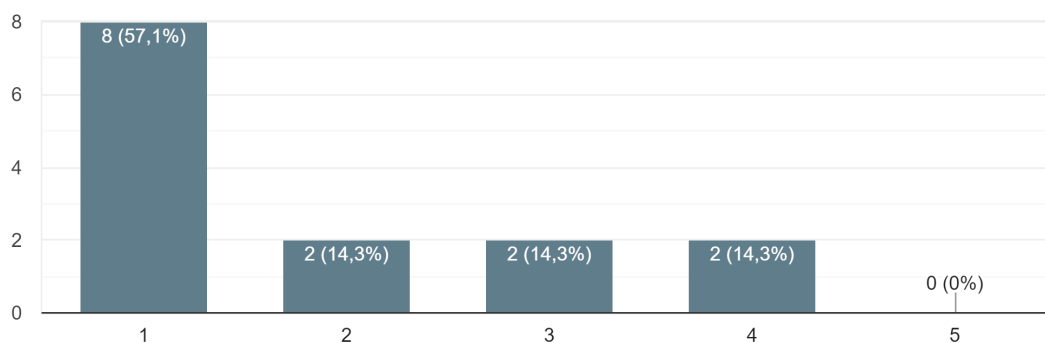
Na sexta interrogação do questionário, os voluntários foram questionados se achavam que o simulador apresenta muita inconsistência, como atrasos nos comandos por controle ou eventos que de alguma forma atrapalharam a experiência de uso. 57,1% dos participantes atribuíram nota 1, 14,3% atribuíram nota 2, 14,3% atribuíram nota 3 e 14,3%, nota 4.

Oito dos quatorze participantes acham que o EstradaDriver não apresenta muita inconsistência, representando 57,1% dos resultados, porém 2 participantes acham que o simulador apresenta muita inconsistência, o que vai de encontro a discussão levantada na quinta questão do questionário, mostrando que o simulador pode possuir problemas em aspectos como jogabilidade ou simulação de tráfego. Essas informações são apresentadas na figura 40.

Figura 40 – Sexta questão da avaliação de usabilidade

Eu acho que o simulador apresenta muita inconsistência.

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

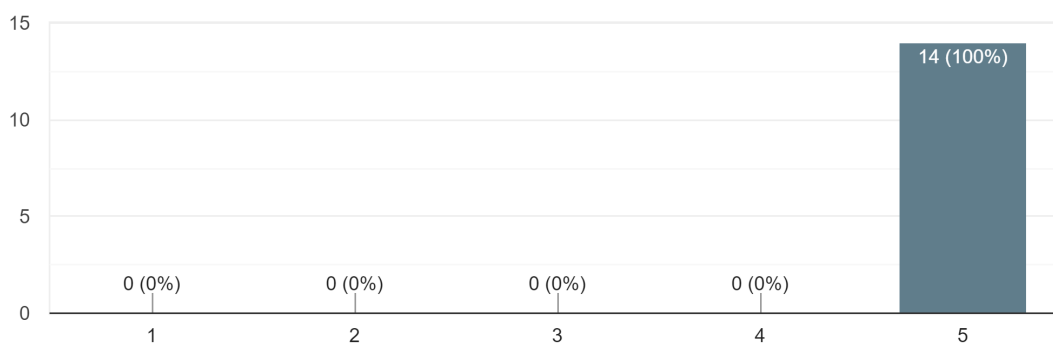
Na sétima pergunta, os voluntários foram questionados se imaginavam que as pessoas aprenderiam como usar o simulador rapidamente. 100% dos voluntários atribuíram nota 5 a esse questionamento, como mostrado na figura 41.

Houve uma unanimidade entre os participantes da pesquisa: todos concordaram totalmente que o EstradaDriver será um *software* simples de ser aprendido rapidamente, indicando um sinal positivo sobre futuras implementações do EstradaDriver.

Figura 41 – Sétima questão da avaliação de usabilidade

Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar o simulador rapidamente.

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

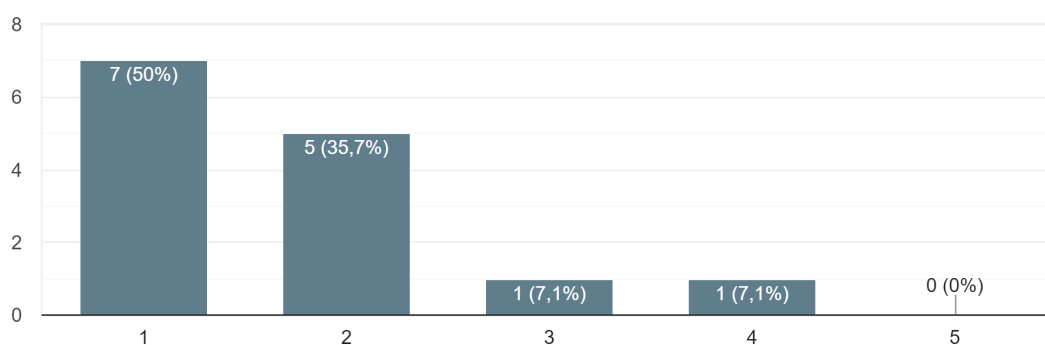
Os participantes na oitava questão foram perguntados se acharam o simulador atrapalhado de usar. 50% atribuíram nota 1, 35,7% atribuíram nota 2, 7,1% responderam com nota 3 e os demais 7,1%, nota 4, conforme apresentado na figura 42.

A oitava questão apresentou resultados semelhantes a quinta questão. Metade dos participantes não acharam o simulador atrapalhado de usar, porém uma pessoa concordou parcialmente ao atribuir nota 4, o que indica que possíveis inconsistências na utilização do EstradaDriver podem ser um empecilho na experiência de uso do simulador.

Figura 42 – Oitava questão da avaliação de usabilidade

Eu achei o simulador atrapalhado de usar.

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

Na nona questão, os participantes da pesquisa foram indagados se eles se sentiram confiantes ao usar o simulador. 78,6% responderam com nota 5, 14,3% com nota 3 e 7,1%, nota 4.

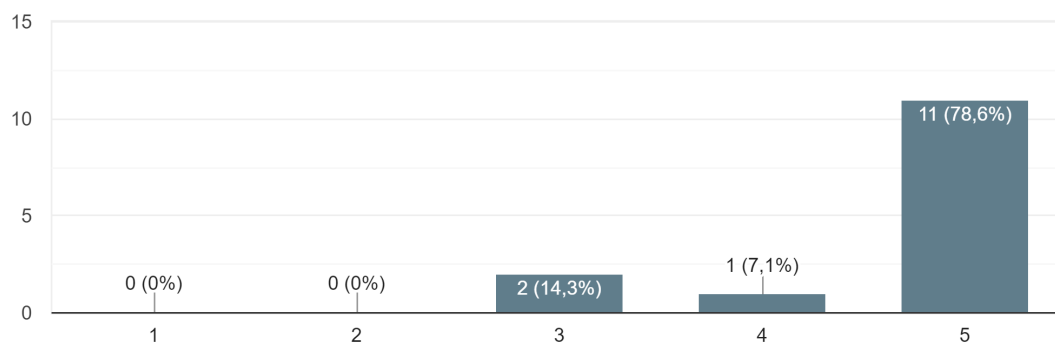
Os resultados da nona questão se mostraram similares aos coletados na quarta questão, na qual os participantes da pesquisa foram indagados se precisariam de ajuda técnica para usar o EstradaDriver. A autoconfiança dos usuários se mostrou coincidente com a desnecessidade de ajuda técnica para utilização do EstradaDriver. A figura 43 apresenta o gráfico que demonstra esses dados.



Figura 43 – Nona questão da avaliação de usabilidade

Eu me senti confiante ao usar o simulador.

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

Os voluntários na décima questão foram perguntados se precisaram aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o simulador. 71,4% dos participantes deram nota 5 a esse questionamento, 21,4% atribuíram nota 3 e 7,1% atribuíram nota 5, conforme demonstra a figura 44.

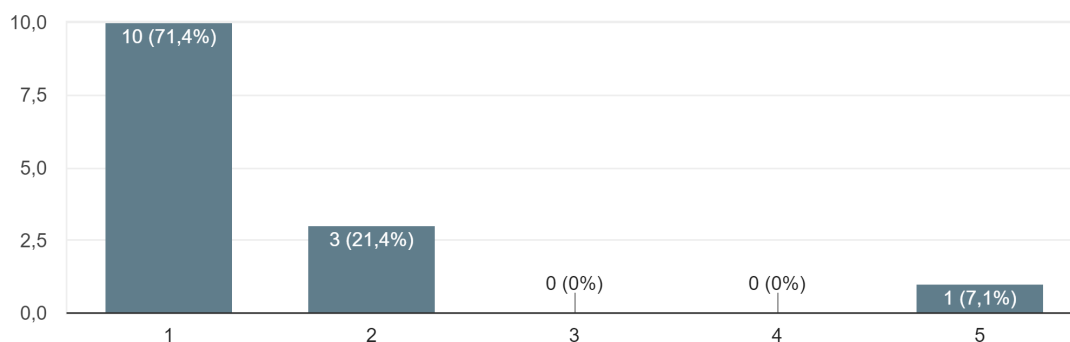
Os voluntários em sua maioria relataram através dos resultados obtidos que não precisaram aprender várias coisas novas antes do uso do EstradaDriver. No entanto, houve um participante que atribuiu nota 5, relatando que precisou sim aprender diversas coisas novas antes do uso do simulador.

Isso demonstra que existe a possibilidade de usuários enfrentarem dificuldades na experiência de uso do EstradaDriver ao necessitarem de diversas instruções prévias em um sistema que tem fins lúdicos.

Figura 44 – Décima questão da avaliação de usabilidade

Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o simulador.

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

Cada um dos 14 participantes dos testes e questionário teve a pontuação individual calculada de acordo com o método SUS. A tabela 7 mostra as pontuações designadas ao EstradaDriver após avaliação dos voluntários.

Tabela 7 – Tabela mostrando os resultados de pontuação SUS obtidos com o *feedback* dos voluntários via questionário

| Pontuação SUS do sistema por voluntário |      |
|-----------------------------------------|------|
| Questionário 01                         | 85   |
| Questionário 02                         | 92,5 |
| Questionário 03                         | 80   |
| Questionário 04                         | 90   |
| Questionário 05                         | 70   |
| Questionário 06                         | 97,5 |
| Questionário 07                         | 97,5 |
| Questionário 08                         | 92,5 |
| Questionário 09                         | 72,5 |
| Questionário 10                         | 100  |
| Questionário 11                         | 85   |
| Questionário 12                         | 80   |
| Questionário 13                         | 90   |
| Questionário 14                         | 85   |

Fonte: Elaborado pelo autor

As pontuações variaram entre 70 e 100, que é o valor máximo previsto no

sistema SUS, o que demonstra que para os participantes, a experiência de uso do EstradaDriver pode ser definida entre “boa” e “melhor possível” considerando a escala de BANGOR; KORTUM; MILLER (2009).

A pontuação geral do sistema no método SUS é indicada pela média aritmética de todas as pontuações obtidas. Na escala SUS que é medida em um intervalo de 0 a 100, o EstradaDriver alcançou uma pontuação de 86,96, como mostra a tabela 8. Ainda aplicando a escala de classificação de BANGOR; KORTUM; MILLER para o sistema SUS, a usabilidade do EstradaDriver é excelente, o que indica que o EstradaDriver entrega uma ótima experiência de uso dentro das amostras coletadas.

Tabela 8 – Resultado da avaliação de usabilidade do EstradaDriver

| Resultado       |       |
|-----------------|-------|
| Pontuação média | 86,96 |

Fonte: Elaborado pelo autor

### 7.3.2 Avaliação da simulação com realidade virtual

No segundo momento do questionário, os voluntários responderam cinco questões a respeito da implementação da realidade virtual e como ela afetou a experiência de uso na simulação de direção.

Na primeira questão, os usuários foram questionados se acharam que o uso de realidade virtual tornou a experiência de simulação do EstradaDriver mais próxima do real. 78,6% responderam com nota 5, 14,3% responderam com nota 4 e 7,1% com nota 3.

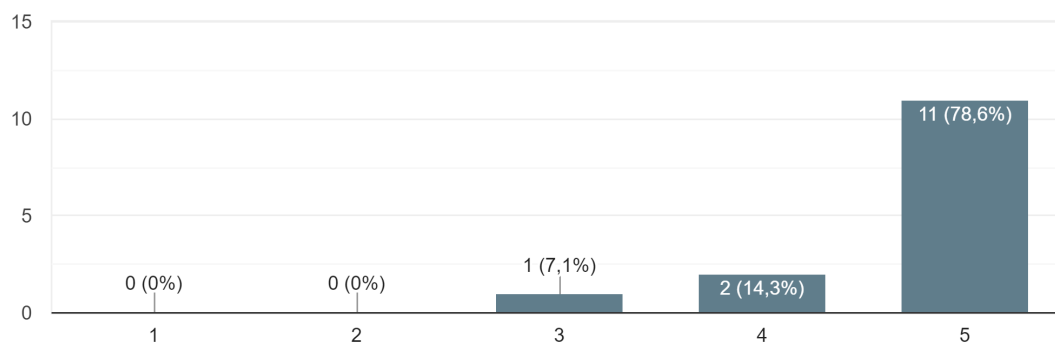
Observou-se que os usuários sentiram maior realismo na simulação com a utilização da realidade virtual, o que demonstra a potencialidade da implementação de realidade virtual na sensação de realidade na simulação de direção de veículos.

A figura 45 mostra o gráfico relativo a coleta de dados relativa a essa questão.

Figura 45 – Primeira questão da avaliação de simulação com realidade virtual

## O uso da realidade virtual tornou a experiência mais realista

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

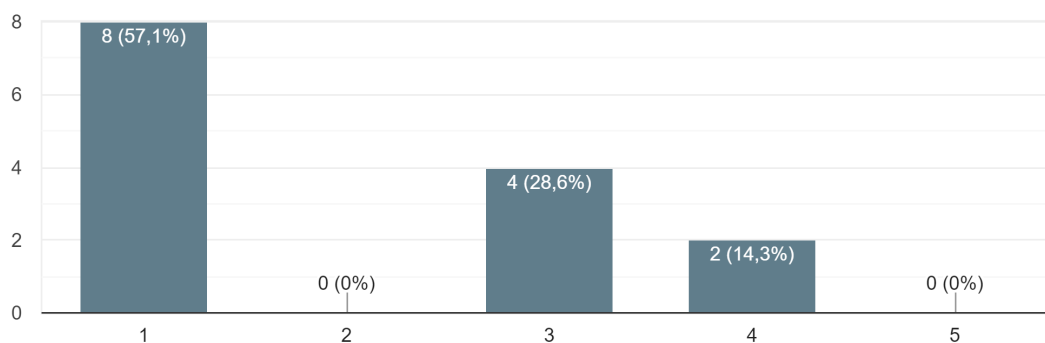
Os participantes da pesquisa na segunda questão foram indagados sobre algum desconforto que possam ter sentido durante a utilização dos óculos de realidade virtual. 57,1% dos voluntários atribuíram nota 1, 28,6% atribuíram nota 3 e 14,3% nota 4, como mostra a figura 46.

A utilização de realidade virtual pode trazer alguns efeitos colaterais, como já relatado na literatura, como levantado no trabalho de NODARI et al. (2017). Deve ser observado em futuras implementações maneiras de minimizar sintomas da implementação de realidade virtual na simulação do EstradaDriver, mesmo que neste trabalho, apenas uma minoria tenha sentido algum desconforto.

Figura 46 – Segunda questão da avaliação de simulação com realidade virtual

## Senti algum desconforto ao utilizar realidade virtual

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

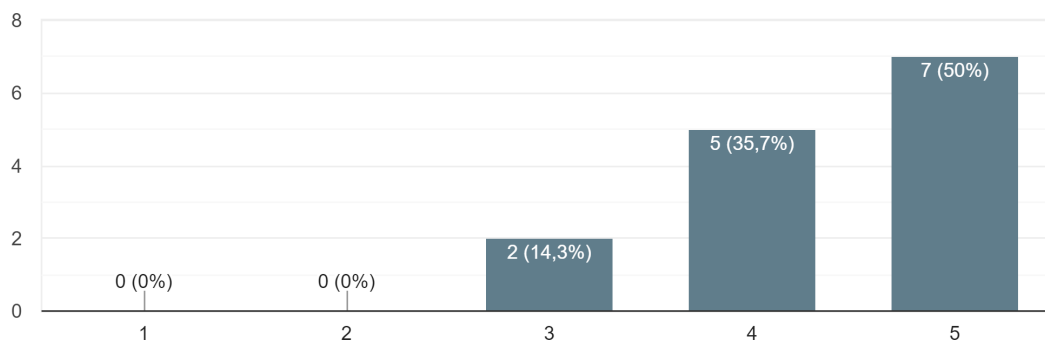
Na terceira indagação do questionário, os voluntários foram questionados se o uso da realidade virtual no EstradaDriver melhorou a percepção e o aprendizado das regras de trânsito. 50% dos voluntários na pesquisa atribuíram nota 5, 35,7% atribuíram nota 4 e 14,3% atribuíram nota 3.

Os usuários se dividiram entre “concordo” e “concordo totalmente”, mostrando que o aprendizado das regras de trânsito abordadas no EstradaDriver é eficaz, mas é necessário observar e possivelmente revisar o *feedback* mostrado pela interface gráfica do EstradaDriver, para que se possa verificar em detalhes como o sistema interage no processo de ensino-aprendizagem das regras de trânsito. A figura 47 apresenta gráficos dos resultados coletados nessa questão.

Figura 47 – Terceira questão da avaliação de simulação com realidade virtual

O uso de realidade virtual no EstradaDriver melhorou a minha percepção e aprendizado das regras de trânsito

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

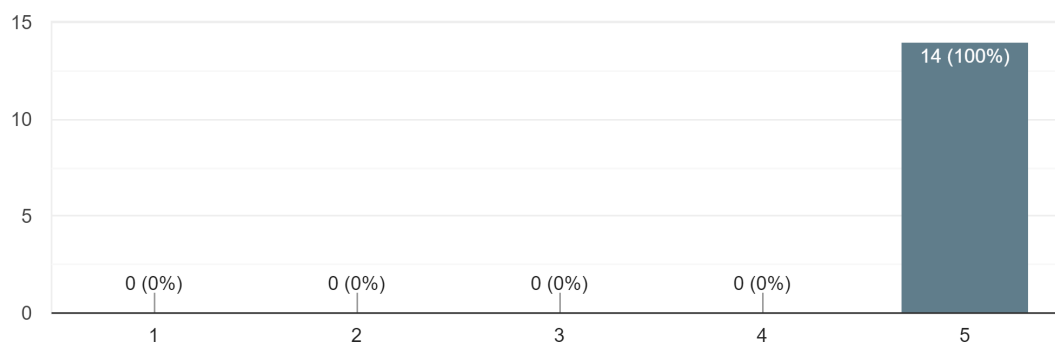
Na quarta questão, os participantes foram perguntados se a aplicação de realidade virtual permite uma maior imersão no ambiente de treinamento do EstradaDriver. 100% dos participantes atribuíram nota 5 a essa indagação, como mostrado na figura 48.

Houve uma unanimidade quanto a opinião a respeito ao nível de imersão que a realidade virtual oferece no treinamento de direção de veículos, uma vez que todos os participantes concordaram totalmente que a realidade virtual oferece maior imersão, o que é estritamente importante para que os usuários possam manter o foco no simulador, evitando dispersões e minimizando possíveis interferências exteriores.

Figura 48 – Quarta questão da avaliação de simulação com realidade virtual

O uso de realidade virtual permite uma maior imersão no ambiente de treinamento do EstradaDriver

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

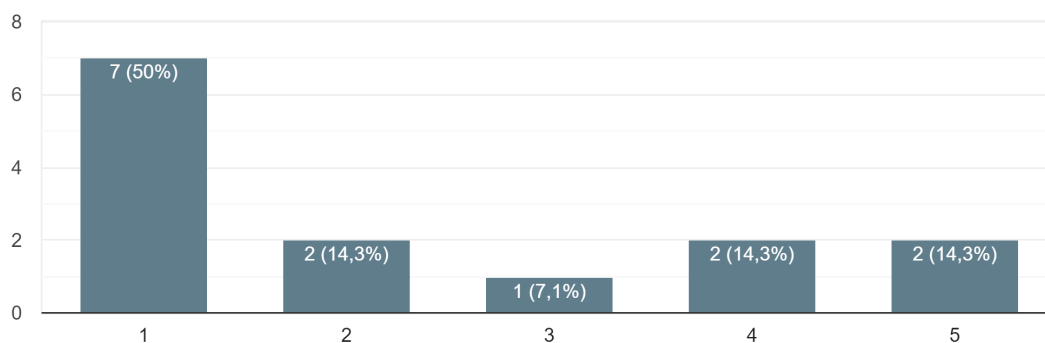
Na última questão do formulário, os usuários foram questionados se o uso da realidade virtual dificulta o controle do carro no simulador, uma vez que não é possível visualizar o controle durante a utilização dos óculos de realidade virtual. Neste ponto, houve uma maior dispersão de opiniões. 50% discordaram completamente, 14,3% discordaram um pouco, 7,1% se mantiveram neutros, 14,3% concordaram parcialmente e os demais 14,3% concordaram completamente. Nota-se que para 28,6% dos usuários, a implementação de realidade virtual mostrou-se um empecilho para um controle eficaz do veículo no trajeto simulado.

A figura 49 apresenta os resultados obtidos na coleta de dados desse questionamento.

Figura 49 – Quinta questão da avaliação de simulação com realidade virtual

O uso de realidade virtual dificulta o controle do carro no simulador

14 respostas



Fonte: Autoria Própria

Na avaliação de usabilidade, o EstradaDriver obteve um excelente resultado dentro das amostras coletadas, indicando assim um *software* que oferece a usuário uma experiência de uso satisfatória.

Quanto a avaliação de simulação com realidade virtual, os resultados apontaram que a utilização de realidade virtual no simulador amplia o realismo e a imersão dos usuários no ambiente de treinamento, mas o controle do veículo para alguns voluntários ficou comprometido, pois não era possível visualizar o controle de jogo durante a utilização dos óculos de realidade virtual.



## 8 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o simulador EstradaDriver, um *serious game* para auxílio no ensino de regras básicas de trânsito na direção de veículos automotores. Para ampliar a imersão dos usuários, foi utilizada a realidade virtual como interface usuário-máquina. Para a validação do simulador, foram realizados testes com alunos do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas do IFPI, mediante a aplicação de um questionário que avaliou a usabilidade e a aplicação de realidade virtual no simulador.

Observou-se que o sistema tem excelente usabilidade, e a implementação de realidade virtual teve boa aceitação de acordo com os testes realizados. Conclui-se que o EstradaDriver pode ser aplicado como ferramenta lúdica para ensino de regras de trânsito no aspecto de direção de veículos e tenta, a partir da implementação de realidade virtual, ser imersivo e pedagógico, colaborando assim com o aprendizado de regras de trânsito, no intuito de auxiliar no aprendizado de motoristas mais prudentes.

Posteriormente, serão implementadas mais funcionalidades no EstradaDriver para aumentar a abrangência de regras de trânsito verificadas, como detecção de sinalização de setas na conversão de vias. Além disso, pretende-se também ampliar o sistema de avaliação do usuário que está utilizando o sistema, adicionando novos parâmetros além da pontuação relativa ao respeito as regras de tráfego, como cálculo de danos do veículo ocasionados por colisão.

Pretende-se também testar o EstradaDriver com outros controladores de jogo, como volantes e pedais para minimizar as dificuldades apontadas na utilização de joystick como controlador de jogo do simulador.

Em seguida, planeja-se também o firmamento de parcerias com instituições estratégicas como auto-escolas e escolas de ensino regular para testar em uma gama maior de usuários e implementar o EstradaDriver como ferramenta auxiliar de educação no trânsito, assim como novas pesquisas com usuários para identificar a variação da percepção de usabilidade e aprendizado de regras de trânsito em diversos grupos de pessoas, objetivando o aprimoramento do trabalho para publicações futuras.

## REFERÊNCIAS

- AMBEV S.A, FALCONI Consultores de Resultados, CLP - Centro de Liderança Pública, TRANSIT. *Retrato da Segurança Viária*. 2017. Disponível em: <[https://www.ambev.com.br/conteudo/uploads/2017/09/Retrato-da-Seguran%C3%A7a-Vi%C3%A1ria\\_Ambev\\_2017.pdf](https://www.ambev.com.br/conteudo/uploads/2017/09/Retrato-da-Seguran%C3%A7a-Vi%C3%A1ria_Ambev_2017.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- BALADEZ, F. O passado, o presente e o futuro dos simuladores. *FaSCi-Tech*, v. 1, n. 1, 2016. Citado na página 19.
- BANGOR, A.; KORTUM, P.; MILLER, J. Determining what individual sus scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, Usability Professionals' Association, v. 4, n. 3, p. 114–123, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 76.
- BARROS, M. P.; ARAÚJO, F. A. de. Implementação de realidade virtual em um simulador veicular utilizando google cardboard. *Anais dos Simpósios de Informática do IFNMG-Campus Januária*, n. 2, 2016. Citado na página 19.
- BARROS, M. P.; ARAUJO, F. A. de. Utilização de realidade virtual em simulador de ônibus com google cardboard (pôsteres e demonstrações). *BDBComp - Biblioteca Digital Brasileira de Computação*, 2016. Citado na página 37.
- Blender Organization. blender.org - home of the blender project - free and open 3d creation software. 2018. Disponível em: <<https://www.blender.org>>. Acesso em: 23 jul. 2018. Citado na página 31.
- BOSNJAK, M.; OREHOVACKI, T. Measuring quality of an indie game developed using unity framework. In: IEEE. *2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*. [S.l.], 2018. Citado na página 45.
- BRASIL. *Lei 12.760/12, de 20 de dezembro de 2012*. Diário Oficial da União - D.O.U de 21/12/2012, P. 1, 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12760.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12760.htm)>. Acesso em: 13 jun. 2018. Citado na página 15.
- BRASIL, C. d. T. B. *Código de trânsito brasileiro: instituído pela Lei nº 9.503*. [S.l.], 2008. Citado na página 16.
- BROOKE, J. System usability scale (sus): a quick-and-dirty method of system evaluation user information. *Reading, UK: Digital Equipment Co Ltd*, p. 43, 1986. Citado 3 vezes nas páginas 22, 65 e 66.
- CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. *Relatório Gerencial: Pesquisa CNT de Rodovias 2016*. 2016. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relatorio-gerencial>>. Acesso em: 13 jun. 2018. Citado na página 15.
- CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. *Resolução nº 543, de 15 de julho de 2015*. 2015. Altera a Resolução CONTRAN nº 168, de 14 de dezembro de 2004, com a redação dada pela Resolução CONTRAN nº 493, de 05 de junho de 2014, que

- trata das normas e procedimentos para a formação de condutores de veículos automotores e elétricos. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/images/Resolucoes/Resolucao5432015.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2018. Citado na página 17.
- CZERWONKA, M. *Legislação de Trânsito*. 2012. Disponível em: <<http://portaldotransito.com.br/noticias/legislacao-de-transito/>>. Acesso em: 27 jun. 2018. Citado na página 15.
- DENATRAN. *Frota de veículos 2018*. 2018. DENATRAN. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/images/Estatistica/RENAVAM/2018/Outubro/Frota\\_por\\_UF\\_e\\_Tipo\\_OUT\\_2018.xls](http://www.denatran.gov.br/images/Estatistica/RENAVAM/2018/Outubro/Frota_por_UF_e_Tipo_OUT_2018.xls)>. Acesso em: 12 jan. 2019. Citado na página 14.
- FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. 2002. Citado na página 22.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. *São Paulo*, v. 5, n. 61, p. 16–17, 2002. Citado na página 22.
- Google. Google cardboard – google vr. 2018. Disponível em: <<https://vr.google.com/cardboard/>>. Acesso em: 22 jul. 2018. Citado na página 33.
- HTC. Vive™ | discover virtual reality beyond imagination. 2018. Disponível em: <<https://www.vive.com>>. Acesso em: 22 jul. 2018. Citado na página 32.
- INKSCAPE. 2019. Disponível em: <<https://inkscape.org/pt-br/>>. Acesso em: 07 jan. 2019. Citado na página 31.
- JÚNIOR, D. R. A. *Trânsito, Fenômeno Social e de Saúde Pública*. Av. Hercílio Luz, 639 - Centro, Florianópolis - SC: MONATRAN - Movimento Nacional de Educação no Trânsito, 2015. Citado na página 14.
- LEE, P.-W. et al. Transection: hand-based interaction for playing a game within a virtual reality game. In: ACM. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.], 2015. p. 73–76. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 31.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*, 1932. Citado na página 22.
- Loox VR. Loox vr | vrglass.com - Óculos de realidade virtual, software e conteúdo 3d / 360°. 2018. Disponível em: <[www.looxvr.com/home/pb/](http://www.looxvr.com/home/pb/)>. Acesso em: 22 jul. 2018. Citado na página 33.
- LUCAS, F. R. et al. Uso de simuladores de direção aplicado ao projeto de segurança viária. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 19, n. 2, 2013. Citado na página 17.
- MACIUSZEK, D.; WEICHT, M.; MARTENS, A. Seamless integration of game and learning using modeling and simulation. In: IEEE. *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2012 Winter*. [S.l.], 2012. p. 1–10. Citado na página 20.
- Microsoft Corporation. Visual studio code - code editing. redefined. 2018. Disponível em: <<https://code.visualstudio.com>>. Acesso em: 22 jul. 2018. Citado na página 30.
- MOGNON, J. F.; RUEDA, F. J. M. Avaliação da personalidade no contexto do trânsito: revisão de literatura. *Avaliação Psicológica*, Instituto Brasileiro de Avaliação Psicológica, v. 15, 2016. Citado na página 35.

NANDO; FEGHALI, R. *Chama*. [S.l.]: In: Roupas Nova. Luz. RCA Records (Sony Music), 1988. Citado na página 6.

NODARI, C. et al. Avaliação do realismo e da sensação de mal-estar (simulator sickness) no uso de simulador imersivo de direção. In: *Anais do XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. [S.l.: s.n.], 2017. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 77.

Oculus VR. Oculus rift. 2018. Disponível em: <<https://www.oculus.com/rift>>. Acesso em: 22 jul. 2018. Citado na página 32.

PASSOS, E. B. et al. Tutorial: Desenvolvimento de jogos com unity 3d. In: *VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–30. Citado na página 27.

PESSANHA, M. E. d. A. A estereoscopia: o mundo em terceira dimensão. *Rio de Janeiro: MEA Pessanha*, 1991. Citado na página 32.

PIAGET, J.; GUIMARÃES, F. M. *Biologia e conhecimento*. [S.l.: s.n.], 1978. Citado na página 17.

Portal do Trânsito Brasileiro. *Acidentes - Causas*. 2013. Disponível em: <[http://www.transitobr.com.br/index2.php?id\\_conteudo=8](http://www.transitobr.com.br/index2.php?id_conteudo=8)>. Acesso em: 13 jun. 2018. Citado na página 14.

ROCHA, R.; ARAUJO, R. Metodologia de design de jogos sérios para treinamento: Ciclo de vida de criação, desenvolvimento e produção. *XII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames 2013)*, p. 1–10, 2013. Citado 7 vezes nas páginas 20, 21, 38, 39, 40, 41 e 42.

ROCHA, R. V. da; BITTENCOURT, I. I.; ISOTANI, S. Avaliação de jogos sérios: questionário para autoavaliação e avaliação da reação do aprendiz. 2015. Citado 3 vezes nas páginas 47, 65 e 66.

ROSSETTI, M. D. *Simulation modeling and Arena*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015. Citado na página 19.

Samsung BR. Gear vr (2017). 2017. Disponível em: <<https://www.samsung.com/br/wearables/gear-vr-2017/>>. Acesso em: 22 jul. 2018. Citado na página 32.

SANTANA, A. D.; TRONTO, I. F. de B.; SOUSA, P. M. de. 02) jogo educativo para auxílio na educação no trânsito. *Revista Brasileira de Educação e Cultura| RBEC| ISSN 2237-3098*, n. 17, p. 25–45, 2018. Citado na página 35.

SARAIVA, A. A. et al. Virtual interactive environment for low-cost treatment of mechanical strabismus and amblyopia. *Information*, MDPI AG, v. 9, n. 7, p. 175, jul 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/info9070175>>. Citado na página 31.

SCHULTHEIS, M. T. et al. Examining the usability of a virtual reality driving simulator. *Assistive Technology*, Taylor & Francis, v. 19, n. 1, p. 1–10, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 47 e 65.

SEGURADORA LÍDER-DPVAT. *Relatório Anual Seguradora Líder-DPVAT 2017*. 2017. Disponível em: <[https://www.seguradoralider.com.br/Documents/boletim-estatistico/Relatorio%20AnualSeguradora%20L%C3%ADder-DPVAT%202017\\_Versao\\_02.pdf](https://www.seguradoralider.com.br/Documents/boletim-estatistico/Relatorio%20AnualSeguradora%20L%C3%ADder-DPVAT%202017_Versao_02.pdf)>. Acesso em: 30 mai. 2018. Citado na página 14.

SEGURADORA LÍDER-DPVAT. *Boletim Estatístico Seguradora Líder-DPVAT Outubro de 2018*. 2018. Disponível em: <<https://www.seguradoralider.com.br/Documents/boletim-estatistico/BOLETIM-VOL10-OUTUBRO-2018.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2019. Citado na página 14.

SILVEIRA, S. R. Estudo de uma ferramenta de autoria multimídia para a elaboração de jogos educativos. 1999. Citado na página 17.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. *Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada*. [S.l.]: Editora SBC, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

TORRES, R. D. Desenvolvendo um jogo para ensinar física com unity 3d. 2016. Citado na página 23.

Trinus. Trinus virtual reality. 2018. Disponível em: <<https://www.trinusvirtualreality.com>>. Acesso em: 22 jul. 2018. Citado na página 33.

Unity Technologies. *Games made with the Unity engine - Unity*. 2019. Disponível em: <<https://unity3d.com/pt/games-made-with-unity>>. Acesso em: 13 jan. 2019. Citado na página 26.

Unity Technologies. *Products - Unity*. 2019. Disponível em: <<https://unity3d.com/pt/unity>>. Acesso em: 13 jan. 2019. Citado na página 26.

Unity Technologies. Unity - manual. 2019. Disponível em: <<https://docs.unity3d.com/Manual>>. Acesso em: 13 jan. 2019. Citado na página 28.

Unity Technologies. *Unity Public Relations*. 2019. Disponível em: <<https://unity3d.com/pt/public-relations>>. Acesso em: 13 jan. 2019. Citado na página 26.

Unity Technologies. *Unity Store*. 2019. Disponível em: <<https://store.unity.com/pt>>. Acesso em: 13 jan. 2019. Citado na página 26.

VALENTE, J. A. O uso do computador na inclusão da criança deficiente. *A integração de pessoas com deficiência*. São Paulo: Memnon Edições Científicas, p. 51–56, 1997. Citado na página 17.

WARD, J. What is a game engine. *GameCareerGuide*, 2008. Disponível em: <[http://www.gamecareerguide.com/features/529/what\\_is\\_a\\_game.php](http://www.gamecareerguide.com/features/529/what_is_a_game.php)>. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Global status report on road safety 2015*. [S.l.]: World Health Organization, 2015. Citado na página 14.

ZYDA, M. From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, IEEE, v. 38, n. 9, p. 25–32, 2005. Citado na página 20.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE USABILIDADE E SIMULAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL

15/01/2019

Formulário de usabilidade - EstradaDriver - Para usuários de realidade virtual

### Formulário de usabilidade - EstradaDriver - Para usuários de realidade virtual

O formulário a seguir visa avaliar a usabilidade do simulador EstradaDriver utilizando o método SUS (BROOKE, 1986), com dez questões para avaliar a efetividade, eficiência e satisfação do usuário, além de cinco questões para avaliar a simulação e a utilização de realidade virtual no EstradaDriver.

\* Required

**1. Eu acho que gostaria de usar o simulador com frequência. \***

Mark only one oval.

|                        |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**2. Eu acho o simulador desnecessariamente complexo. \***

Mark only one oval.

|                        |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**3. Eu achei o simulador fácil de usar. \***

Mark only one oval.

|                        |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o simulador. \***

Mark only one oval.

|                        |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**5. Eu acho que as várias funções do simulador estão muito bem integradas. \***

Mark only one oval.

|                        |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**6. Eu acho que o simulador apresenta muita inconsistência. \***

Mark only one oval.

|                        |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

15/01/2019

Formulário de usabilidade - EstradaDriver - Para usuários de realidade virtual

**7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar o simulador rapidamente. \****Mark only one oval.*

|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**8. Eu achei o simulador atrapalhado de usar. \****Mark only one oval.*

|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**9. Eu me senti confiante ao usar o simulador. \****Mark only one oval.*

|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o simulador. \****Mark only one oval.*

|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**11. O uso da realidade virtual tornou a experiência mais realista \****Mark only one oval.*

|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**12. Senti algum desconforto ao utilizar realidade virtual \****Mark only one oval.*

|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**13. O uso de realidade virtual no EstradaDriver melhorou a minha percepção e aprendizado das regras de trânsito \****Mark only one oval.*

|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

15/01/2019

Formulário de usabilidade - EstradaDriver - Para usuários de realidade virtual

**14. O uso de realidade virtual permite uma maior imersão no ambiente de treinamento do EstradaDriver***Mark only one oval.*

|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

**15. O uso de realidade virtual dificulta o controle do carro no simulador \****Mark only one oval.*

|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Discordo completamente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Concordo completamente |

Powered by  
 Google Forms