

JOGO DE SIMULAÇÃO DE ESTACIONAMENTO EM REALIDADE VIRTUAL: UMA REPRESENTAÇÃO INTERATIVA DO CAMPUS UNIVERSITÁRIO COM CONTROLE POR VOLANTE

Gustavo Baroni Bruder, Dalton Solano dos Reis – Orientador

Curso de Bacharel em Ciência da Computação

Departamento de Sistemas e Computação

Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Blumenau, SC – Brasil

gbruder@furb.br, dalton@furb.br

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um jogo de simulação de direção em realidade virtual cujo objetivo é recriar o ambiente do campus da FURB para aprimorar a percepção espacial e as habilidades de manobra do usuário. A metodologia envolveu a modelagem 3D do campus, a implementação do simulador na engine Unity, o uso do SDK da Logitech para integração do conjunto Logitech G29 com volante e pedais e a definição de mecânicas de estacionamento. Foram realizados testes com usuários familiarizados com direção e algum contato com realidade virtual, avaliando imersão, controle e fidelidade espacial. Os resultados indicaram que o simulador proporcionou uma experiência convincente de direção, com boa responsividade do volante e adequada percepção do ambiente virtual. Conclui-se que a solução demonstra potencial para aplicações futuras em treinamento de motoristas, com potencial para expansão com mecânicas mais fiéis ao comportamento real de um veículo e novas funcionalidades que tornem a simulação ainda mais completa e realista.

Palavras-chave: Simulador de direção. Estacionamento. Jogos educativos. Realidade virtual.

1 INTRODUÇÃO

O trânsito urbano é um cenário complexo que envolve riscos frequentes, especialmente em manobras de baixa velocidade, como estacionamento e circulação em áreas restritas. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2020), aproximadamente 1,3 milhão de pessoas morrem anualmente em acidentes de trânsito, sendo que falhas de percepção espacial e de manobra estão entre as causas recorrentes em colisões de baixa gravidade. No contexto brasileiro, o Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV, 2022) aponta que mais de 20% dos acidentes registrados em áreas urbanas envolvem erros de manobra, incluindo estacionamento inadequado, falta de controle em baixas velocidades e desatenção do condutor. Além disso, relatórios da Secretaria Nacional de Trânsito (Senatran, 2023) indicam que motoristas iniciantes demonstram maior dificuldade em tarefas como baliza, controle de distância lateral e posicionamento do veículo em vagas, reforçando a importância de ferramentas educacionais voltadas à prática segura dessas habilidades.

A Realidade Virtual (RV) tem despontado como uma tecnologia eficaz para apoiar processos de treinamento, visualização e imersão em ambientes tridimensionais. De acordo com Carroll (2021), a RV possibilita experiências altamente envolventes ao permitir que o usuário interaja com cenários digitais de forma natural, aproximando a vivência virtual de situações reais. Tal tecnologia tem sido amplamente utilizada em áreas como educação, medicina, indústria e entretenimento, oferecendo oportunidades para simulações seguras, testes de competências e aprendizado baseado em experimentação. No âmbito dos jogos digitais, a RV potencializa o realismo por meio de ambientes responsivos e interação direta, contribuindo para a aprendizagem prática e a tomada de decisão.

A utilização da RV abre espaço para o desenvolvimento de simuladores de direção que proporcionam ao usuário uma experiência imersiva dentro de um veículo virtual. Segundo Bock *et al.* (2019), os simuladores de direção que utilizam visualização tridimensional e respostas interativas permitem que condutores treinem habilidades motoras sem os riscos associados à condução real, tornando a tecnologia uma ferramenta importante tanto para entretenimento quanto para instrução. A combinação entre ambiente digital, interatividade e imersão visual permite reproduzir cenários de trânsito ou situações específicas, como manobras de estacionamento e condução em baixa velocidade, que são essenciais para o aprendizado e aperfeiçoamento de motoristas iniciantes.

Para ampliar o realismo desses simuladores, a integração de dispositivos físicos de entrada desempenha papel fundamental. Entre esses equipamentos, destacam-se volantes com force feedback, pedais e alavancas de marcha, que simulam a resistência, vibração e comportamento mecânico de um veículo real. Como discutem Bock *et al.* (2019), tais dispositivos aumentam a sensação de presença do usuário e permitem que a prática virtual se aproxime das condições reais de direção. A adoção desses periféricos em simuladores de direção favorece a compreensão espacial, o controle motor e a precisão nos movimentos, características essenciais para a prática segura da condução.

Diante dessas oportunidades, observa-se a possibilidade de aplicar a RV e a simulação veicular ao contexto acadêmico, por meio da criação de um ambiente virtual que represente fielmente locais reais. A reprodução de áreas de estacionamento da Universidade Regional de Blumenau (FURB) oferece um cenário familiar aos estudantes, favorecendo a identificação com o ambiente e a motivação para a prática. Assim, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um jogo de simulação de direção em realidade virtual, com suporte a volante e pedais, que recria o campus universitário para fins de entretenimento e potencial treinamento de condutores. Além de proporcionar uma experiência imersiva, essa proposta busca demonstrar como a integração entre computação gráfica, RV e simulação pode contribuir para atividades educativas, práticas e tecnológicas.

O problema abordado concentra-se na ausência de ferramentas que permitam a prática de manobras de estacionamento em um ambiente virtual que seja ao mesmo tempo realista, imersivo e representativo do cotidiano dos estudantes da FURB. O desenvolvimento de um simulador que une fidelidade visual, interatividade e controle por volante físico oferece uma forma segura, acessível e envolvente de treinar habilidades essenciais para o trânsito urbano. A partir desse cenário, busca-se explorar o potencial da RV como alternativa para a prática de direção em espaços restritos, com foco na familiaridade do ambiente e na imersão proporcionada pelos periféricos físicos.

Assim, o objetivo principal deste trabalho é desenvolver um jogo de simulação de direção em realidade virtual que represente o campus universitário da FURB, permitindo ao jogador explorar áreas de estacionamento e praticar manobras com suporte a volante físico, promovendo uma experiência imersiva. Os objetivos específicos contemplaram: (i) realizar uma representação tridimensional das principais áreas de estacionamento do campus da FURB; (ii) implementar a mecânica de direção e estacionamento com suporte a volante compatível com o jogo; (iii) desenvolver um sistema de desafios que defina vagas de estacionamento aleatórias ao jogador; (iv) analisar as possíveis aplicações do jogo em contextos como treinamento de motoristas e simulações urbanas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentados os conceitos que fundamentam o simulador desenvolvido. Fundamentos sobre realidade virtual (subseção 2.1). Concepções sobre simuladores de direção (subseção 2.2). Explanação sobre dispositivos de interação e volantes com feedback tátil (subseção 2.3). Por fim, a apresentação dos trabalhos correlatos (subseção 2.4).

2.1 REALIDADE VIRTUAL

A Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia que possibilita ao usuário a interação com ambientes tridimensionais simulados, promovendo a sensação de presença e imersão. Segundo Skarbez (2021), a RV integra um contínuo de virtualidade que abrange desde o ambiente físico até representações totalmente digitais, sendo caracterizada pela capacidade de substituir ou complementar estímulos sensoriais reais através de dispositivos computacionais. Esses estímulos são percebidos por meio de monitores, óculos VR, sensores de movimento, controladores manuais e sistemas de rastreamento corporal, que atuam conjuntamente para reforçar a naturalidade da interação.

Para McGowin (2024), a sensação de presença, definida como a percepção psicológica de estar fisicamente inserido em um ambiente virtual, é influenciada por fatores como fidelidade gráfica, responsividade da interação e coerência sensorial. Em ambientes virtuais voltados para simulação, a presença desempenha papel fundamental, pois contribui para que o usuário execute ações de forma intuitiva e realista. Interfaces físicas, como volantes, pedais e dispositivos tátiles, reforçam a imersão ao aproximar a experiência digital de situações reais.

A aplicação da RV tem se expandido além do entretenimento, abrangendo áreas como educação, psicologia, saúde e treinamento profissional. Sherman e Craig (2019) destacam que ambientes virtuais permitem a criação de cenários seguros, repetíveis e controlados, ideais para a prática de habilidades complexas. No contexto da formação de motoristas, essa tecnologia possibilita simular situações de trânsito, condições climáticas adversas e ambientes urbanos específicos, oferecendo um espaço de aprendizagem sem os riscos inerentes à condução real. Dessa forma, a RV demonstra potencial significativo como ferramenta para estudos, capacitação e desenvolvimento de competências motoras e cognitivas.

2.2 SIMULADORES DE DIREÇÃO

Simuladores de direção são sistemas capazes de reproduzir, com diferentes níveis derealismo, a experiência de conduzir um veículo. Engström *et al.* (2005) ressaltam que esses simuladores se destacam pela capacidade de replicar situações potencialmente perigosas em ambientes seguros, sendo amplamente utilizados em pesquisas sobre comportamento de condutores e em treinamentos que envolvem direção defensiva.

Esses sistemas podem ser classificados em baixa, média e alta fidelidade, de acordo com McGehee *et al.* (2004). Simuladores de alta fidelidade, geralmente utilizados em centros especializados, incorporam plataformas de movimento, sistemas visuais avançados, sons ambientais e dispositivos de feedback haptico, oferecendo transferências de aprendizado mais robustas. Já simuladores de média e baixa fidelidade são comuns em ambientes acadêmicos e domésticos, apresentando menor custo, menor complexidade técnica e maior acessibilidade ao público geral.

Com o avanço da Realidade Virtual, simuladores de direção passaram a incorporar ambientes tridimensionais imersivos, ampliando o realismo da experiência. Guo *et al.* (2016) enfatizam que a combinação entre RV e simulação veicular melhora a capacidade do usuário de desenvolver habilidades específicas, como manobras de estacionamento e controle fino do volante. Isso ocorre porque o ambiente virtual fornece uma percepção espacial mais natural, enquanto o simulador permite a repetição ilimitada de situações sem gerar riscos ou custos operacionais.

A simulação de direção tem sido amplamente adotada em pesquisas acadêmicas, treinamento militar, capacitação de motoristas profissionais e no desenvolvimento de sistemas de assistência veicular (ADAS). A possibilidade de replicar com fidelidade ambientes reais, como o campus de uma instituição de ensino, amplia ainda mais o escopo dessas aplicações, permitindo avaliações em cenários personalizados.

2.3 DISPOSITIVOS DE INTERAÇÃO E VOLANTES COM FEEDBACK TÁTIL

A interação física é fundamental para reforçar a imersão em simuladores de direção. Dispositivos como volantes, pedais e câmbios elevam a naturalidade da experiência ao replicar comportamentos mecânicos encontrados em veículos reais. Stanney, Hale e Nahmens (2014) apontam que sistemas de retorno tático (force feedback) intensificam a sensação de presença ao fornecer respostas físicas ao usuário, como resistência ao giro, vibrações do terreno e impacto em colisões. Esse tipo de interação é especialmente relevante para simuladores de direção, pois contribui para a precisão das manobras e melhora o engajamento.

O Logitech G29, um dos dispositivos mais utilizados nesse contexto, inclui dois motores dedicados ao feedback de força, pedais com resistência variável e botões configuráveis, sendo compatível com *engines* como Unity e Unreal Engine (Logitech, 2023). Para sua integração, podem ser utilizadas bibliotecas específicas como Logitech SDK, que fornece acesso direto às funcionalidades avançadas do dispositivo, incluindo a aplicação programática de forças, leitura de eixos analógicos e configuração de perfis personalizados.

Pesquisas como a de Silva e Rocha (2021) demonstram que a utilização de volantes com feedback tático em simuladores baseados em RV melhora significativamente a qualidade da simulação, especialmente em atividades que exigem precisão, como estacionamento e curvas fechadas. O uso desses dispositivos permite simular sensações do mundo real, como a resistência do volante com o veículo desligado, vibrações em colisões e diferenças tátiles em terrenos variados. Assim, a combinação de Realidade Virtual com hardware especializado fortalece a proposta de simuladores mais imersivos e eficazes.

2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Os trabalhos de Kuhn (2019), Fonseca (2022) e Gervasio (2021) exploram elementos em comum, como o uso de realidade virtual, simulação de ambientes, gamificação e suporte a dispositivos de entrada como volantes. Esses estudos ressaltam a importância da tecnologia voltada para o mundo digital no ambiente educacional e promovem meios seguros e responsáveis para práticas de treinamentos de condução veicular. O primeiro trabalho (Quadro 1) descreve o desenvolvimento de simulador automotivo utilizando realidade virtual capaz de imitar a sensação de dirigir um veículo off-road (Kuhn, 2019). O segundo trabalho (Quadro 2) apresenta a implementação de um simulador 3D de empilhadeira do tipo Reach Stacker para treinamento e reciclagem de operadores (Fonseca, 2022). Já o terceiro trabalho (Quadro 3) trata da criação de um simulador automotivo em realidade virtual voltado para o aprendizado de condução de veículos (Gervasio, 2021).

Quadro 1 – Desenvolvimento de um simulador automotivo em realidade virtual para a modalidade Baja

Referência	Kuhn (2019).
Objetivos	Desenvolver um simulador automotivo em realidade virtual, voltado à preparação de pilotos para o Baja.
Principais funcionalidades	Simulação de direção off-road, ambiente imersivo em realidade virtual, interação com volante.
Ferramentas de desenvolvimento	Unity 3D, Unity Asset Store, VR Box, volante X360, Visual Studio e JoyToKey.
Resultados e conclusões	Protótipo promissor para treinamento de pilotos; feedback positivo sobre imersão e conforto; necessidade de melhorias gráficas; integração futura com cockpit físico sugerida; testes com 93 usuários (técnicos e não técnicos) indicaram utilidade prática do sistema.

Fonte: elaborado pelo autor.

O trabalho “Desenvolvimento de um simulador automotivo em Realidade Virtual para modalidade Baja”, desenvolvido na UNIVATES, tem como foco a construção de um simulador em realidade virtual destinado a apoiar o treinamento de estudantes participantes da competição Baja SAE. O principal objetivo é fornecer uma ambientação imersiva que simule com fidelidade a experiência de dirigir um veículo off-road, promovendo o preparo dos pilotos antes das competições.

A aplicação foi desenvolvida utilizando a ferramenta Unity 3D, voltada para dispositivos móveis, em conjunto com acessórios como o VR Box, volante X360, e integração com JoyToKey, oferecendo ao usuário uma experiência de controle mais realista. A simulação inclui interação com o cenário virtual, que reproduz um ambiente off-road, e os testes foram realizados com um público diverso, totalizando 93 usuários.

Entre os pontos fortes do projeto, destacam-se: a imersão proporcionada pelo uso da realidade virtual, a aplicabilidade prática no treinamento dos pilotos e o bom nível de aceitação entre os avaliadores. Como pontos de melhoria, o autor cita a necessidade de gráficos mais realistas e de maior integração com dispositivos físicos, como volante, pedais e sistema de amortecimento real do veículo (cockpit). Essas evoluções foram sugeridas como possíveis desdobramentos futuros do projeto.

O trabalho de Kuhn (2019) é relevante para o desenvolvimento do projeto proposto neste estudo, pois também trata do uso de realidade virtual em simulações automotivas voltadas ao treinamento. As semelhanças incluem o uso de Unity 3D, a proposta de simulação imersiva e o suporte ao uso de volante, embora o foco do trabalho analisado seja em um cenário off-road competitivo, enquanto o projeto atual foca no ambiente de estacionamento do campus universitário e em habilidades de manobra. Essa diferença evidencia uma nova aplicação prática da RV em um contexto mais cotidiano e educacional.

Quadro 2 – Implementação de um sistema de fases e tarefas utilizando o simulador 3D de empilhadeira do tipo Reach Stacker para treinamento e reciclagem de operadores

Referência	Fonseca (2022).
Objetivos	Implementar um simulador 3D de empilhadeira Reach Stacker com fases e tarefas para treinamento e reciclagem de operadores.
Principais funcionalidades	Simulação da empilhadeira com modelo 3D realista, sistema de fases e tarefas, cockpit com volante e pedais, interface com indicadores e cronômetro e feedback das tarefas realizadas.
Ferramentas de desenvolvimento	Unity3D, 3DS Max, Visual Studio, cockpit VE.3, volante e pedal Logitech G29.
Resultados e conclusões	O simulador apresentou resultados satisfatórios, permitindo aprendizado e interação realista com o equipamento. Apontou-se potencial para melhorias com IA e testes mais extensos com operadores reais.

Fonte: elaborado pelo autor.

O trabalho de Fonseca (2022) desenvolveu um simulador 3D da empilhadeira Reach Stacker com o objetivo de treinar e reciclar operadores através de um sistema de fases e tarefas. Utilizando Unity3D para o desenvolvimento, 3DS Max para modelagem 3D e um cockpit equipado com volante e pedal (Logitech G29), o simulador visa replicar as principais funcionalidades do equipamento real em um ambiente virtual imersivo.

Dentre suas funcionalidades, destacam-se a simulação realista da empilhadeira, com movimentações típicas do equipamento, o sistema de tarefas que oferece feedback ao usuário e a interface com indicadores úteis à operação. O sistema de fases foi implementado para proporcionar uma curva de aprendizado acessível, principalmente aos operadores iniciantes.

Como resultados, o trabalho mostrou que o simulador cumpriu satisfatoriamente seu papel de ensino e prática, sendo capaz de substituir parcialmente o treinamento prático com a máquina real. Entre os pontos fortes estão a fidelidade visual, a integração com hardware realista (volante e pedais) e o impacto positivo no aprendizado. Os pontos fracos envolvem a complexidade de desenvolvimento com a Unity e a modelagem 3D, além da necessidade de testes com operadores experientes para validar a experiência simulada.

A relação com o projeto proposto neste trabalho se dá na utilização de um ambiente virtual 3D imersivo para fins educacionais, com foco em habilidades práticas, como controle veicular e manobras. Ambos os projetos utilizam o Unity3D e dispositivos de entrada realistas (como o volante Logitech G29) para aumentar a imersão e realismo, destacando o potencial da realidade virtual na capacitação de usuários e profissionais.

Quadro 3 – Simulador automotivo em realidade virtual aplicada para o aprendizado de condução de veículos

Referência	Gervasio (2021).
Objetivos	Criar um simulador de direção para ensino prático em ambiente virtual controlado, especialmente durante a pandemia de COVID-19.
Principais funcionalidades	Simulação de direção com troca de marchas e pedais, cenários diversos (urbano, suburbano e rural) com elementos básicos de trânsito, carros autônomos com lógica de tráfego, feedback de movimentação com motores e sensores.

Ferramentas de desenvolvimento	Unreal Engine, Arduino Mega 2560, volante, pedais e câmbio Logitech, modelo 3D de veículos, Módulo BTS7960 e Óculos VR (não utilizado por incompatibilidade).
Resultados e conclusões	Estrutura mecânica resistente com baixo erro angular (0.183°) e simulação avaliada como realista por usuários. Imersão limitada pela ausência de VR. Sugestões de melhorias: VR, controle PID e melhores motores.

Fonte: elaborado pelo autor.

O trabalho intitulado “Realidade Virtual Aplicada ao Ensino de Direção” propôs o desenvolvimento de um simulador automotivo com o objetivo de proporcionar uma alternativa ao ensino presencial de direção durante o período da pandemia. Utilizando a Unreal Engine e acessórios como volante, câmbio e pedais da Logitech, o projeto focou na criação de um ambiente virtual controlado que simulasse a experiência real de condução. Entre as funcionalidades implementadas, destacam-se a simulação de pedais e marchas, ambientes diversos (urbano, rural e suburbano), veículos autônomos com rotas e sensores, e a integração de elementos de trânsito como placas e semáforos.

Do ponto de vista técnico, a estrutura de hardware envolveu microcontroladores Arduino Mega 2560 e motores com *encoders*, permitindo a comunicação entre o ambiente virtual e os movimentos físicos de um cockpit. Os testes realizados comprovaram a eficácia do sistema, que apresentou um erro angular médio de apenas 0.183° , indicando alta precisão de resposta. A avaliação qualitativa por usuários habilitados também apontou que a experiência simulada foi considerada próxima da realidade.

Apesar do sucesso técnico, o projeto não conseguiu implementar a funcionalidade de realidade virtual devido à incompatibilidade do Oculus Rift DK2 com os sistemas operacionais e *engine* utilizados, o que limitou o grau de imersão desejado. Entre os pontos fortes, estão a fidelidade da simulação e o uso de controles físicos realistas. Como limitações, destacam-se a ausência de VR, o uso de controle On-Off (em vez de PID) e a durabilidade limitada do motor utilizado.

Esse trabalho correlato é relevante para este projeto proposto, pois compartilha objetivos semelhantes, como o uso de simulação de direção em ambientes virtuais com suporte a volante. A principal diferença está na proposta do projeto em utilizar realidade virtual de forma funcional focando na ambientação específica do campus universitário, além de simplificar o escopo para tarefas como estacionamento em locais designados aleatoriamente, o que pode permitir maior direcionamento na mecânica de manobra e percepção espacial.

3 DESCRIÇÃO DO SIMULADOR

A presente subseção reúne uma explicação geral do funcionamento do sistema, detalhando como o simulador foi desenvolvido, sendo dividido em duas categorias: especificação e implementação. A especificação (subseção 3.1) abrange os Requisitos Funcionais (RFs) e Requisitos Não Funcionais (RNFs) além de explicações sobre aspectos funcionais. A implementação (subseção 3.2) que detalha as ferramentas utilizadas, dificuldades encontradas e decisões técnicas durante o desenvolvimento.

3.1 ESPECIFICAÇÃO

A seguir são apresentados os RF e os RNF do simulador, respectivamente no Quadro 4 e no Quadro 5, organizados para refletir o comportamento esperado da aplicação, orientar o desempenho, a tecnologia e as limitações do sistema.

Quadro 4 – Requisitos Funcionais

RF01	O simulador deve possuir um menu principal para seleção do carro jogável.
RF02	O simulador deve permitir a seleção entre diferentes fases de estacionamento (1, 2 ou 3).
RF03	O simulador deve sortear aleatoriamente a vaga onde o usuário deverá estacionar.
RF04	O simulador deve gerar carros estacionados aleatoriamente, compondo o ambiente.
RF05	O simulador deve sincronizar o volante virtual com o volante físico.
RF06	O simulador deve apresentar um cronômetro durante a realização do estacionamento.
RF07	O simulador deve registrar e exibir o número de colisões realizadas pelo usuário.
RF08	O simulador deve apresentar um sistema de espelho retrovisor.
RF09	O simulador deve apresentar velocímetro e conta-giros.
RF10	O simulador deve implementar um sistema de cinto de segurança (colocar e retirar).
RF11	O simulador deve implementar um sistema de motor (ligar e desligar).
RF12	O simulador deve implementar um sistema de freio de mão (puxado/solto).
RF13	O simulador deve disponibilizar o sistema de marchas (R, N, 1 a 5).

RF14	O simulador deve ler individualmente pedais de embreagem, freio e acelerador.
RF15	O simulador deve oferecer modos de câmera em primeira e terceira pessoa.
RF16	O simulador deve permitir movimentação da câmera (POV) pelo DPAD do volante.
RF17	O simulador deve aplicar feedback de volante travado quando o carro estiver desligado.
RF18	O simulador deve aplicar feedback de direção assistida quando o carro estiver ligado.
RF19	O simulador deve aplicar feedback diferenciado para pista de barro.
RF20	O simulador deve aplicar feedback diferenciado para pista escorregadia.
RF21	O simulador deve aplicar feedback diferenciado ao ocorrer uma colisão durante o estacionamento.
RF22	O simulador deve apresentar notificações de ações realizadas pelo usuário.
RF23	O simulador deve contabilizar o estacionamento corretamente quando o usuário realizar o fluxo de desligamento do veículo dentro da vaga correta.
RF24	O simulador deve disponibilizar ao jogador o mapa de controles.

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 5 – Requisitos Não Funcionais

RNF01	O simulador deve ser desenvolvido utilizando Unity.
RNF02	O simulador deve ser desenvolvido na linguagem de programação C#.
RNF03	O simulador deve utilizar o controle Logitech G29 (volante e pedais) como dispositivo de entrada.
RNF04	O simulador deve executar em computadores.
RNF05	O simulador deve apresentar frame rate estável para garantir imersão e evitar desconforto.
RNF06	O simulador deve representar visualmente o campus da FURB por meio de modelagem 3D.
RNF07	O simulador deve disponibilizar uma experiência imersiva, incluindo elementos de física e interação.

Fonte: elaborado pelo autor.

O simulador inicia no menu principal, onde o usuário pode selecionar qual carro deseja utilizar entre as opções disponíveis. Além disso, é possível escolher a fase de estacionamento, que pode ser a Fase 1, Fase 2 ou Fase 3, cada uma apresentando diferentes níveis de complexidade, distribuição de vagas e organização espacial. O menu foi projetado para oferecer um fluxo simples e intuitivo, permitindo que o jogador configure rapidamente sua experiência de simulação antes de ingressar no ambiente virtual.

A seguir, a Figura 1 e Figura 2 ilustram dois exemplos de seleção de veículos, demonstrando como o usuário pode visualizar diferentes modelos antes de iniciar a simulação, bem como a disposição das opções de fases de estacionamento diretamente na interface.

Figura 1 – Menu principal com carro 2 selecionado



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 2 – Menu principal com carro 3 selecionado



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao iniciar uma fase, o usuário é posicionado dentro do veículo previamente selecionado e recebe todas as instruções visuais necessárias para iniciar o fluxo correto de operação. Nesse momento, o carro encontra-se completamente desligado, exigindo que o jogador execute o procedimento adequado para ligá-lo: manter o veículo parado, afivelar o cinto de segurança, acionar o motor, soltar o freio de mão e engatar uma marcha válida (ilustrado pela Figura 10 do Apêndice A). Caso qualquer etapa seja realizada incorretamente, o simulador exibe notificações informando o erro, garantindo que o usuário aprenda e respeite a sequência realista de operação automotiva.

Assim que a fase é carregada, o sistema realiza automaticamente o sorteio da vaga de estacionamento que deverá ser utilizada pelo jogador. Além disso, o cenário é preenchido com veículos estacionados de forma aleatória, criando obstáculos dinâmicos e aumentando a complexidade da manobra. Esses elementos contribuem para tornar cada tentativa única, simulando situações reais encontradas em estacionamentos urbanos, como espaços reduzidos, carros previamente posicionados e trajetórias de manobra mais desafiadoras.

As imagens da Figura 3, Figura 4 e Figura 5 a seguir representam visualmente cada uma das fases, evidenciando o posicionamento inicial do veículo do jogador, a ambientação do estacionamento e a geração aleatória de veículos que compõem o cenário de cada nível.

Figura 3 – Fase de estacionamento 1



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 4 – Fase de estacionamento 2



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 5 – Fase de estacionamento 3



Fonte: elaborado pelo autor.

Durante a condução, o usuário pode acompanhar em tempo real informações essenciais exibidas na interface, como cronômetro da fase, quantidade de colisões ocorridas, marcha engatada, velocidade atual e rotação do motor. Esses elementos auxiliam no controle do veículo e orientam o jogador a desenvolver uma condução mais precisa. O simulador monitora qualquer impacto com objetos ou veículos do ambiente, somando ao contador de colisões, o que reforça a importância de conduzir com cautela e contribui para a avaliação de desempenho do usuário na tarefa de estacionamento.

Ao estacionar completamente dentro da vaga sorteada, o jogador deve executar o fluxo correto de desligamento do veículo para concluir o objetivo da fase. Esse processo envolve colocar a marcha em neutro, puxar o freio de mão, desligar o motor e, por fim, retirar o cinto de segurança (ilustrado pela Figura 10 do Apêndice A). Quando todos os passos são realizados adequadamente, o simulador interrompe o cronômetro e apresenta uma mensagem de sucesso, indicando que a manobra foi concluída corretamente. Esse procedimento reforça práticas reais de encerramento de condução, promovendo uma simulação fiel às rotinas de estacionamento.

Além disso, o usuário pode alternar livremente entre câmeras em primeira e terceira pessoa (Figura 6 e Figura 7, respectivamente) durante a simulação, proporcionando diferentes perspectivas da condução. O sistema também permite utilizar o movimento de câmera baseado no DPAD do volante (POV), possibilitando ao jogador olhar ao redor do ambiente e ampliar sua percepção espacial, o que é fundamental para manobras complexas. Complementando esse conjunto de funcionalidades, o simulador conta com um espelho retrovisor funcional, que oferece ao jogador informações

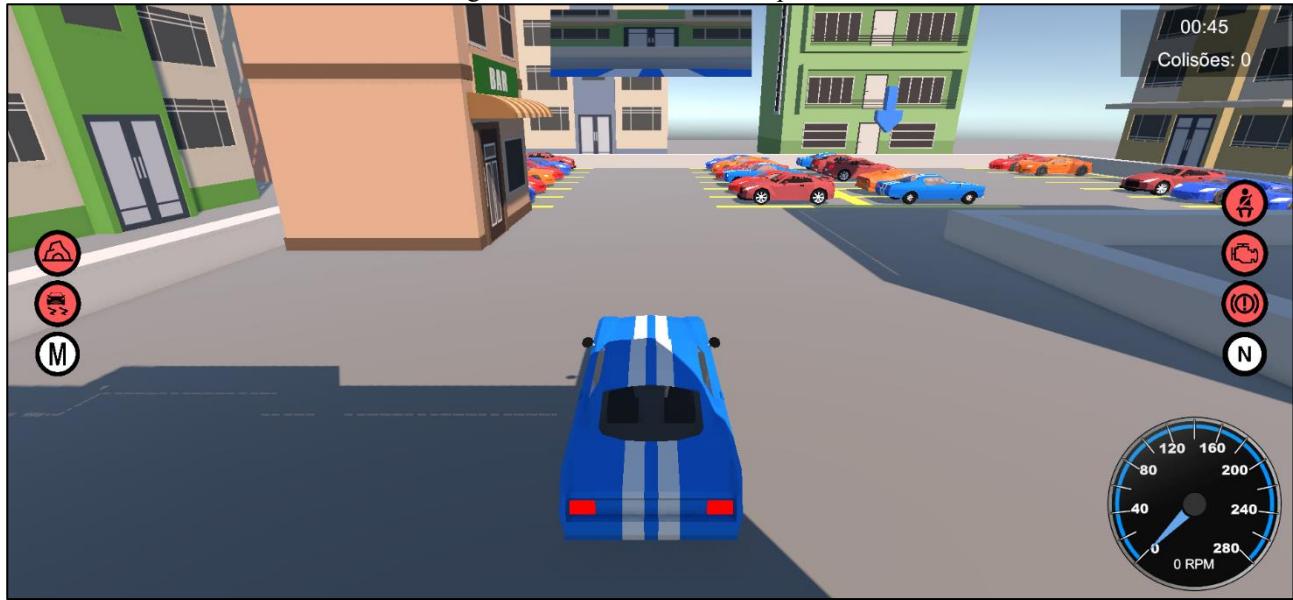
do que acontece atrás do veículo, auxiliando na execução de ré, alinhamentos e verificações de segurança durante o estacionamento.

Figura 6 – Câmera em primeira pessoa



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 7 – Câmera em terceira pessoa



Fonte: elaborado pelo autor.

O simulador também incorpora um sistema de force feedback no volante, projetado para aumentar a imersão e reforçar a relação entre o comportamento do veículo e as sensações transmitidas ao jogador. Quando o carro está desligado, o volante permanece travado, simulando a resistência natural encontrada em veículos reais com o motor inoperante; ao ligar o carro, o volante é automaticamente destravado. Durante a condução, entra em ação o sistema que simula a direção eletrônica: em baixas velocidades, o volante torna-se mais leve para facilitar manobras, enquanto em velocidades mais altas ele gradualmente enrijece, representando o aumento da resistência e proporcionando maior estabilidade.

Ademais, dois modos adicionais ampliam a experiência: o modo estrada de barro, que gera um tremor constante no volante, variando sua intensidade conforme a velocidade e o modo estrada escorregadia, que oferece um feedback de leveza contínua, igualmente modulada pela velocidade do veículo. Além disso, quando há uma colisão envolvendo o carro do jogador e qualquer objeto do cenário, é aplicado um feedback de tremor ao volante. Esses recursos combinados contribuem para tornar a simulação mais imersiva, aproximando as sensações do ambiente virtual às de uma direção real.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO

O desenvolvimento do simulador foi realizado utilizando o Unity (6000.0.29f1) como motor de jogos. A programação dos scripts C# da aplicação foram desenvolvidos através do JetBrains Rider (2024.3.2). Para a comunicação com o hardware do volante Logitech G29, foram utilizados o Logitech G HUB (2025.8.789376) e o Logitech Gaming SDK (2025), disponibilizado na Unity Asset Store, permitindo acesso aos eixos, botões e recursos de force feedback. Durante a implementação, contudo, o SDK apresentou um erro interno relacionado à sua *DLL* (Dynamic Link Library) responsável pela comunicação com o volante. A correção exigiu seguir o procedimento apresentado no canal de Maximilian Senten (2025), que fornece um passo a passo para substituir e configurar corretamente os arquivos do SDK, garantindo o funcionamento da integração com o volante.

A leitura dos inputs dos periféricos Logitech é realizada por meio do SDK oficial da marca, permitindo acessar o estado bruto de todos os eixos analógicos e botões do dispositivo. Os valores referentes ao volante, embreagem, freio e acelerador são obtidos e, em seguida, passam por um processo de normalização, convertendo faixas como -32.768 a 32.767 (volante) ou 32.767 a -32.768 (pedais) para intervalos padronizados entre -1 e 1 ou 0 e 1, garantindo consistência ao aplicar esses valores na física do carro. A lógica de tratamento ao pressionar os botões do volante identifica quando um botão foi pressionado apenas no momento atual, evitando múltiplas ativações involuntárias. Esses botões permitem controlar funcionalidades, como cinto de segurança, motor, freio de mão, câmeras, marchas e modos especiais, como estrada de barro e estrada escorregadia. O mapeamento dos botões está disponível na Figura 11 do Apêndice B.

A rotação física do volante Logitech G29 também é convertida para o volante virtual do carro dentro da simulação. Após a leitura e normalização do eixo de direção, o valor já convertido para a faixa -1 a 1 é utilizado como parâmetro para calcular o ângulo de rotação do volante interno do veículo. O script dedicado (Quadro 6) aplica esse valor multiplicando-o por um limite configurado de 450°, e então rotaciona o modelo 3D por meio de transformações, preservando a rotação inicial do objeto quando necessário. Esse procedimento garante que qualquer deslocamento físico realizado pelo jogador no volante real seja imediatamente refletido no volante virtual, fortalecendo a imersão e garantindo coerência visual e funcional entre o dispositivo físico e o ambiente em realidade virtual.

Quadro 6 – Trecho de código responsável pela rotação do volante virtual

```
public void AtualizarVolante(float anguloVolante)
{
    if (volanteComRotacaoInicial)
    {
        var rotacaoY = anguloVolante * anguloMaxVolante;
        var quaternionEuler = Quaternion.Euler(0f, rotacaoY, 0f);
        volante.localRotation = _rotacaoInicialVolante * quaternionEuler;
    }
    else
    {
        var rotacaoZ = anguloVolante * anguloMaxVolante;
        volante.localRotation = Quaternion.Euler(0f, 0f, -rotacaoZ);
    }
}
```

Fonte: elaborado pelo autor.

A simulação de força no volante Logitech G29 desempenha um papel essencial na imersão do sistema, permitindo reproduzir sensações reais de direção, sua implementação está detalhada conforme o Quadro 7. No estado em que o motor do carro está desligado, o jogo aplica uma força de travamento do volante utilizando o recurso Spring Force do SDK, impedindo que o jogador o gire livremente, comportamento inspirado em veículos reais nos quais a direção permanece rígida sem assistência. Quando o motor é ligado, esse travamento é desativado e passa a ser aplicado um efeito de direção elétrica, no qual a rigidez aumenta de acordo com a velocidade do veículo. Isso é realizado através da manipulação da Damper Force, que recebe uma intensidade interpolada dinamicamente entre valores baixos e altos conforme a velocidade cresce, simulando o aumento natural da resistência do volante.

Além do comportamento padrão de direção, o sistema também implementa dois modos especiais que ampliam a experiência: estrada de barro e estrada escorregadia. Quando ativados pelo jogador, esses modos aplicam efeitos dedicados do SDK, Dirt Road Effect e Slippery Road Effect, respectivamente, os quais introduzem vibrações e oscilações características de cada tipo de superfície. Ambos os efeitos têm sua intensidade ajustada proporcionalmente à velocidade do carro, reforçando a sensação de instabilidade e irregularidade. Caso o modo seja desabilitado, o efeito correspondente é imediatamente interrompido para evitar interferências nas demais forças aplicadas ao volante. Com isso, o jogo combina diferentes camadas de *force feedback* para representar condições de direção, aumentando experiência sensorial da simulação.

Quadro 7 – Trecho de código responsável por aplicar efeitos de feedback no volante

```

private void AplicarEfeitosVolante(float velocidade)
{
    if (carroMotor.MotorLigado)
    {
        var forcaEfeito = Mathf.RoundToInt(Mathf.Lerp(10, 75, velocidade));
        LogitechGSDK.LogiStopSpringForce(0);
        LogitechGSDK.LogiPlayDamperForce(0, forcaEfeito);
    }
    else
    {
        LogitechGSDK.LogiPlaySpringForce(0, 0, 100, 100);
        LogitechGSDK.LogiStopDamperForce(0);
    }
}

private void AplicarEfeitoEstradaBarroVolante(float velocidade)
{
    if (_estradaBarroHabilitada)
    {
        var forcaEfeito = Mathf.RoundToInt(Mathf.Lerp(25, 75, velocidade));
        LogitechGSDK.LogiPlayDirtRoadEffect(0, forcaEfeito);
    }
    else
    {
        LogitechGSDK.LogiStopDirtRoadEffect(0);
    }
}

private void AplicarEfeitoEstradaEscorregadiaVolante(float velocidade)
{
    if (_estradaEscorregadiaHabilitada)
    {
        var forcaEfeito = Mathf.RoundToInt(Mathf.Lerp(25, 75, velocidade));
        LogitechGSDK.LogiPlaySlipperyRoadEffect(0, forcaEfeito);
    }
    else
    {
        LogitechGSDK.LogiStopSlipperyRoadEffect(0);
    }
}

```

Fonte: elaborado pelo autor.

Para simular o comportamento de rodas em veículos, utilizou-se o componente físico especializado Wheel Collider, permitindo que forças de tração, frenagem e direção sejam aplicadas de forma satisfatória. No contexto deste trabalho, destaca-se de três funcionalidades: ângulo de esterçamento aplicado às rodas direcionais, força de tração enviada pelo motor às rodas motrizes e intensidade da frenagem aplicada. Além dessas, o Wheel Collider oferece diversos outros parâmetros nativos para ajustar o resultado final da simulação, como definição da massa da roda que influencia sua inércia, o raio físico da roda utilizado no contato com o solo, o amortecimento da rotação para reduzir oscilações indesejadas e distância da suspensão, afetando diretamente o conforto e a estabilidade do veículo.

Além do mais, foi implementado o princípio da geometria de Ackermann (Figura 12 do Apêndice C) para ajustar corretamente o esterçamento das rodas dianteiras do veículo virtual. Diferentemente de um esterçamento simples, em que ambas as rodas dianteiras giram pelo mesmo ângulo, o modelo de Ackermann considera que, durante uma curva, cada roda descreve um arco de raio diferente. Para isso, o algoritmo calcula inicialmente a distância entre eixos e a largura da dianteira a partir da posição dos Wheel Colliders do modelo. Em seguida, ao receber o valor de direção proveniente do volante, o método estima o raio da curva e determina dois ângulos distintos: um para a roda interna e outro para a roda externa, usando relações trigonométricas baseadas no modelo clássico de Ackermann. Esses ângulos são então aplicados individualmente às rodas esquerda e direita, respeitando o limite máximo de esterçamento definido de 40°.

Essa abordagem garante que as rodas dianteiras girem em direções geometricamente coerentes com a trajetória esperada de um carro real, reduzindo comportamentos artificiais, como deslizamentos exagerados ou curvas com raio incorreto. O resultado é um comportamento de direção mais natural, consistente e próximo de um sistema automotivo real, reforçando a fidelidade física do simulador implementado.

Em relação a lógica de detecção de estacionamento correto, iniciou-se pela identificação da entrada e saída do veículo na área da vaga por meio de *triggers*. O script monitora os eventos OnTriggerEnter e OnTriggerExit, comparando o *collider* acionado com o *collider* da vaga sorteada pelo sistema. Quando o carro entra no *trigger* associado à vaga, um sinal interno é ativado indicando que o veículo está dentro da área geral de detecção. No entanto, estar dentro do *trigger* não garante que o carro esteja posicionado corretamente, e por isso o sistema realiza uma verificação geométrica (Quadro 8): obtém todos os oito vértices do BoxCollider do carro (derivados dos pontos mínimos e máximos do *bounds*) e verifica individualmente se cada ponto está contido dentro do BoxCollider da vaga. Essa verificação é feita avaliando se os limites mínimos do carro são maiores que os limites mínimos da vaga e se os limites máximos do carro são menores que os limites máximos da vaga em todos os três eixos. Somente quando todos os vértices estão contidos, evitando casos em que parte do carro invade áreas externas, o sistema considera que o veículo está completamente posicionado dentro dos limites da vaga, podendo ser visualizado através da Figura 8 e Figura 9.

Quadro 8 – Trecho de código responsável pela verificação geométrica de estacionamento na vaga

```
private bool CarroEstaDentroDaVaga()
{
    if (!_carroEstaDentroDaVagaTrigger)
        return false;

    return PontosDoCarroEstaoTodosDentroDaVaga();
}

private bool PontosDoCarroEstaoTodosDentroDaVaga()
{
    var carroBounds = carroCollider.bounds;
    var vagaBounds = gerenciadorVagas.BoxColliderVagaEstacionamento.bounds;

    var dentroX =
        carroBounds.min.x >= vagaBounds.min.x &&
        carroBounds.max.x <= vagaBounds.max.x;
    var dentroY =
        carroBounds.min.y >= vagaBounds.min.y &&
        carroBounds.max.y <= vagaBounds.max.y;
    var dentroZ =
        carroBounds.min.z >= vagaBounds.min.z &&
        carroBounds.max.z <= vagaBounds.max.z;

    return dentroX && dentroY && dentroZ;
}
```

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8 – Carro fora da área da vaga de estacionamento



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 9 – Carro dentro da área da vaga de estacionamento



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a confirmação da posição espacial correta, o algoritmo prossegue para validar o estado do veículo antes de concluir que o estacionamento foi concluído com sucesso. Primeiramente, o sistema verifica se o carro está completamente parado, analisando se a velocidade do carro está abaixo de um limite definido. Em seguida, verifica se o freio de mão está puxado, garantindo que o carro não se move após estacionar. Outra condição necessária é o motor desligado, simulando o procedimento real de encerramento da condução. Além disso, exige-se ainda que o jogador não esteja utilizando o cinto de segurança, reforçando uma etapa pedagógica para incentivar a retirada do cinto ao finalizar a condução, simulando o comportamento cotidiano pós-estacionamento. Somente quando todas essas condições são atendidas, posição correta, veículo parado, freio de mão ativado, motor desligado e cinto desatado, o sistema registra o estacionamento como bem-sucedido, encerra o cronômetro e exibe uma notificação de sucesso ao jogador.

4 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos do simulador desenvolvido. Sendo subdividida em duas subseções, testes com usuários (subseção 4.1) e a comparação com trabalhos correlatos (subseção 4.2).

4.1 TESTES COM USUÁRIOS

Os primeiros testes de validação do projeto ocorreram de forma iterativa e contínua ao longo do desenvolvimento. Cada funcionalidade criada passava pelo ciclo composto por especificação, implementação, testes práticos e melhorias, permitindo identificar rapidamente inconsistências e aprimorar o comportamento do jogo. Esses testes iniciais foram realizados principalmente em residência (ilustrado pela Figura 13 no Apêndice D), tanto individualmente quanto com o auxílio de amigos e familiares, que contribuíram experimentando o simulador e relatando suas impressões e problemas durante a condução.

Posteriormente, foram conduzidos testes com um grupo mais amplo e variado de usuários. Para isso, foi levado o computador de desenvolvimento, o volante Logitech G29, pedais e demais periféricos até o escritório da empresa onde o autor trabalha (ilustrado pela Figura 13 no Apêndice D), permanecendo durante um dia inteiro com a estação de testes montada. Colegas de diferentes áreas puderam experimentar o simulador livremente, fornecendo percepções sobre interface, dirigibilidade, sensação de realismo e usabilidade geral. Essa etapa foi essencial para identificar ajustes necessários a partir de um público não familiarizado com o desenvolvimento do projeto.

Após essa sessão no ambiente corporativo, foi realizado uma nova rodada de testes complementares em residência. Durante dois dias, foi organizado e agendado horários específicos com amigos e pessoas próximas interessadas em testar o projeto, replicando as mesmas condições e os mesmos objetivos dos testes realizados no escritório. Novamente, essas sessões foram fundamentais para observar o comportamento de diferentes perfis de usuários, validar correções aplicadas e identificar novos pontos de melhoria.

Por fim, o recolhimento sistemático dos feedbacks foi realizado por meio de uma pesquisa elaborada pelo autor e disponibilizada via Google Forms. O formulário conteve 22 perguntas, sendo 21 objetivas e apenas 1 descritiva. As questões iniciais tinham como foco a análise do perfil dos participantes como idade, familiaridade com direção e com jogos virtuais, para contextualizar os resultados (Quadro 9). As perguntas seguintes abordavam a experiência prática com

o simulador, avaliando aspectos como interface, funcionalidades, qualidade visual, dirigibilidade, realismo e relevância do projeto (Quadro 10). Ao todo, foram obtidas 15 respostas válidas, além de vários feedbacks complementares fornecidos pessoalmente, de forma verbal, durante as sessões de teste.

Quadro 9 – Perguntas e respostas relacionadas ao perfil dos usuários

Pergunta	Resposta	Quantidade
Qual sua idade?	Menos de 20 anos 20–25 anos 26–30 anos 31–40 anos 41–50 anos Mais de 50 anos	0% 60% 6,7% 6,7% 26,7% 0%
Você possui CNH?	Sim Não	86,7% 13,3%
Há quanto tempo você dirige?	Não dirijo Menos de 1 ano 1–3 anos 3–5 anos 5–10 anos Mais de 10 anos	13,3% 6,7% 6,7% 26,7% 13,3% 33,3%
Com que frequência você dirige?	Nunca Raramente Algumas vezes por mês Algumas vezes por semana Todos os dias	13,3% 6,7% 26,7% 0% 53,3%
Você costuma jogar jogos virtuais?	Não Raramente Sim, ocasionalmente Sim, frequentemente	20% 13,3% 33,3% 33,3%
Qual seu nível de familiaridade com jogos virtuais?	Nenhuma Baixa Média Alta Muito alta	6,7% 13,3% 20% 13,3% 46,7%
Você costuma jogar jogos de carro?	Nunca Raramente Sim, ocasionalmente Sim, frequentemente	20% 46,6% 20% 13,3%

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise do perfil dos participantes revelou que a amostra foi majoritariamente composta por jovens adultos, com predominância da faixa de 20 a 25 anos (60%), seguida pelos grupos de 41 a 50 anos (26,7%) e pequenas representações de outras faixas etárias. Observou-se também que a maioria absoluta dos respondentes possui Carteira Nacional de Habilitação (86,7%) e já conduz veículos há vários anos, sendo que 33,3% dirigem há mais de 10 anos e 26,7% entre 3 e 5 anos. Além disso, uma parcela significativa dos participantes dirige diariamente (53,3%), o que indica familiaridade real com a prática de condução. Esses dados mostram que boa parte da amostra possui experiência consolidada no trânsito, trazendo percepções valiosas para a avaliação do realismo e da utilidade do simulador.

No que diz respeito ao grau de afinidade virtual dos usuários, os resultados demonstram uma diversidade relevante. Enquanto 20% afirmaram não jogar jogos virtuais, a maioria possui algum nível de contato com jogos, seja ocasional (33,3%) ou frequente (33,3%). Ademais, quase metade dos respondentes (46,7%) declarou ter “muita alta” familiaridade com jogos, indicando que a amostra inclui um número expressivo de usuários habituados a tecnologias interativas. Entretanto, quando analisamos a prática específica com jogos de carro, percebe-se que 46,6% jogam raramente e 20% nunca jogam, revelando que muitos jogadores não possuíam experiência prévia com simuladores automotivos. Essa variedade de perfis enriquece a avaliação, permitindo observar como diferentes níveis de experiência influenciaram a interação com o simulador.

Quadro 10 – Perguntas e respostas relacionadas a experiência no simulador

Pergunta	Resposta	Quantidade
Qual o nível de clareza da interface na seleção do carro?	Muito confusa Confusa Considerável Clara Muito clara e intuitiva	0% 0% 0% 6,7% 93,3%

Qual o nível de clareza da interface na escolha das fases de estacionamento?	Muito confusa Confusa Considerável Clara Muito clara e intuitiva	0% 0% 0% 13,3% 86,7%
Qual o nível de dificuldade geral das fases de estacionamento?	Muito fácil Fácil Adequado Difícil Muito difícil	0% 0% 73,3% 6,7% 20%
Qualidade geral do ambiente 3D e disposição das vagas de estacionamento:	Muito ruim Ruim Adequado Bom Muito bom	0% 0% 0% 40% 60%
As vagas de estacionamento eram facilmente identificáveis?	Sim Parcialmente Não	93% 6,7% 0%
Realismo da física do veículo:	Muito ruim Ruim Adequado Bom Muito bom	0% 0% 6,7% 20% 73,3%
Aceleração, frenagem e dirigibilidade:	Muito ruim Ruim Adequado Bom Muito bom	0% 0% 6,7% 6,7% 86,7%
Resposta do volante Logitech:	Muito ruim Ruim Adequado Bom Muito bom	0% 0% 0% 6,7% 93,3%
O retrovisor ajudou na direção?	Sim Parcialmente Não	60% 33,3% 6,7%
Visibilidade dos indicadores visuais (cronômetro, colisões, cinto de segurança, motor, freio de mão, marcha, velocímetro, conta-giros e modos de jogo):	Muito ruim Ruim Adequado Bom Muito bom	0% 0% 6,7% 6,7% 86,7%
Você conseguiu ligar/desligar o carro corretamente?	Sim, sem ajuda Sim, com ajuda Não	66,7% 33,3% 0%
O processo de ligar/desligar o carro (cinto de segurança, motor, freio de mão e marcha) foi:	Muito fácil Fácil Adequado Difícil Muito difícil	26,7% 40% 33,3% 0% 0%
Você considera que o jogo contribui para o treinamento de condução e manobragem de veículos?	Não contribui Contribui muito pouco Contribui moderadamente Contribui bastante Contribui de forma muito significativa	0% 6,7% 13,3% 40% 40%
Sua satisfação geral com o jogo foi:	Muito baixa Baixa Média Alta Muito alta	0% 0% 0% 20% 80%

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados relacionados à experiência dentro do simulador demonstraram alto nível de aceitação e clareza na interface. A navegação inicial foi amplamente bem avaliada: 93,3% dos usuários classificaram a seleção de carro como “muito clara e intuitiva”, enquanto 86,7% atribuíram essa mesma avaliação à escolha das fases de estacionamento. A

percepção de dificuldade das fases também foi equilibrada, com 73,3% considerando o nível adequado, embora 20% tenham achado “muito difícil”, o que indica que o simulador oferece desafios proporcionais, mas ainda pode ser calibrado para melhor adequação a usuários inexperientes. A qualidade visual do ambiente 3D foi elogiada, sendo classificada como “muito boa” por 60% e “boa” por 40%, além de 93% afirmarem que as vagas estavam facilmente identificáveis.

No quesito mecânicas e realismo, as respostas foram predominantemente positivas. A física do veículo foi considerada “muito boa” por 73,3%, e a dirigibilidade, incluindo aceleração e frenagem, recebeu avaliação “muito boa” de 86,7% dos participantes. A integração com o volante Logitech teve destaque, com 93,3% avaliando sua resposta como “muito boa”. Os elementos da interface de telemetria e indicadores visuais também foram bem recebidos, com 86,7% classificando-os como “muito bons”. Além disso, 100% dos participantes conseguiram ligar e desligar o carro, ainda que 33,3% tenham necessitado de ajuda, reforçando a importância de orientações mais explícitas. Por fim, a percepção de utilidade do simulador para treinamento de condução foi elevada: 80% afirmaram que ele contribui “bastante” ou “de forma muito significativa”, e a satisfação geral atingiu níveis excelentes, com 80% classificando-a como “muito alta”.

Durante as sessões de teste, observou-se que usuários inexperientes apresentaram evolução progressiva em sua coordenação motora, especialmente no controle simultâneo entre volante, pedais e observação do ambiente. Essa adaptação ficou evidente à medida que mais tentativas eram realizadas, demonstrando que o simulador possui potencial não apenas para avaliação, mas também para aprendizagem ativa de habilidades motoras relacionadas à direção.

Outro ponto relevante foi o desempenho de usuários com pouca familiaridade com jogos virtuais ou controles físicos. Apesar da inexperiência inicial, esses participantes demonstraram rápida capacidade de memorizar os botões e funções essenciais, indicando que a disposição dos controles e o design das interações são intuitivos o suficiente para facilitar a curva de aprendizado. Isso reforça a adequação do projeto tanto para jogadores quanto para indivíduos sem histórico prévio com simuladores.

O sistema de feedback tátil do volante, incluindo resistência da direção, travamento, simulação de diferentes tipos de terreno e tremores de colisão, recebeu avaliações extremamente positivas. Os participantes relataram que esses efeitos estavam “condizentes e imersivos”, contribuindo diretamente para o realismo da simulação. Esse retorno confirma a eficácia da integração entre o ambiente virtual e o periférico físico.

Por outro lado, tanto motoristas experientes quanto iniciantes relataram insegurança na noção espacial frontal, traseira e lateral quando a câmera estava em primeira pessoa, sugerindo a necessidade de melhorias nos retrovisores e a implementação de uma função de “olhar para trás”, importante sobretudo para manobras de ré. Esse feedback reforça que as percepções espaciais no ambiente virtual ainda podem ser refinadas para ampliar a confiança do usuário.

Também se registraram dificuldades em trocas de marcha quando o volante estava esterçado, consequência do uso obrigatório dos *paddle shifts* devido à ausência de um câmbio físico dedicado. Essa limitação de hardware impactou o conforto de alguns usuários e indica um possível ponto de expansão futura do projeto para suportar periféricos adicionais.

Por fim, observou-se que vários participantes não percebiam intuitivamente que deveriam desligar o carro após estacionarem corretamente, o que exigiu orientação direta. Isso revela a necessidade de instruções mais claras dentro do jogo, possivelmente por meio de mensagens, ícones ou tutoriais que comuniquem os procedimentos obrigatórios para finalizar a fase.

4.2 COMPARAÇÃO COM TRABALHOS CORRELATOS

O trabalho de Kuhn (2019), apresenta um simulador automotivo em realidade virtual voltado ao treinamento de pilotos da modalidade Baja, com foco na imersão e na simulação de um ambiente off-road competitivo. Assim como este trabalho, ele utiliza Unity 3D e dispositivos físicos de entrada, incluindo volante, para proporcionar maior realismo ao usuário. No entanto, enquanto Kuhn enfatiza desafios de condução extrema e preparação para competições, o presente estudo direciona a experiência para um contexto mais cotidiano e educacional, abordando o ato de estacionar em um campus universitário. Essa diferença evidencia uma contribuição distinta, uma vez que aplica realidade virtual não apenas para desafios de direção, mas para aprimorar habilidades de manobra e percepção espacial em situações reais do dia a dia. Além disso, o trabalho atual busca superar limitações citadas no estudo correlato, como baixa integração com dispositivos físicos e falta de fidelidade visual, adotando o Logitech SDK para feedback tátiles.

O projeto de Fonseca (2022) também apresenta semelhanças importantes com este trabalho desenvolvido, especialmente no uso do Unity3D e de dispositivos de controle realistas, como o volante Logitech G29. Sua proposta de criar um simulador de empiladeira Reach Stacker com fins de treinamento destaca-se pela fidelidade operacional e pela estrutura de tarefas progressivas que auxiliam na curva de aprendizado dos operadores. Embora o foco seja distinto, centrado em operações logísticas e controle de maquinário industrial, a abordagem educacional baseada em simulação aproxima os dois estudos. A principal diferença está no escopo: enquanto o simulador de empiladeira busca replicar procedimentos específicos de carga e descarga, o presente projeto concentra-se em habilidades de direção e manobras automotivas em um ambiente cotidiano, simplificando a dinâmica operacional, mas ampliando a aplicabilidade para

públicos mais variados. A comparação evidencia como ambos os trabalhos reforçam a utilidade de simuladores 3D imersivos para aprimoramento prático, mas em contextos com demandas distintas.

Por fim, o trabalho de Gervasio (2021) apresenta uma proposta mais ampla de simulação automotiva, utilizando a Unreal Engine e um conjunto complexo de periféricos integrados a um cockpit físico. Embora compartilhe com este projeto o uso de volante, pedais e simulação de ambientes de trânsito, sua abordagem visou substituir parcialmente o ensino presencial durante a pandemia, abrangendo múltiplos cenários e veículos autônomos com sensores. Semelhante a esse estudo correlato, que enfrentou limitações técnicas relacionadas à realidade virtual imersiva, o atual projeto encarou dificuldades relacionadas à integração com o SDK Logitech para simular efeitos táticos a fim de garantir maior imersão e foco em uma única tarefa principal: o estacionamento em áreas similares ao do campus universitário. A comparação evidencia uma simplificação estratégica do escopo, permitindo maior precisão na mecânica de manobra, além de destacar que a aplicação de realidade virtual imersiva em um contexto real e específico pode resultar em uma experiência mais direcionada e eficiente.

5 CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos nas etapas de teste demonstrou que o simulador cumpriu satisfatoriamente seus objetivos principais, oferecendo uma experiência de condução envolvente, funcional e capaz de gerar aprendizado prático aos usuários. As três fases de testes, residenciais, corporativas e complementares, permitiram validar de forma consistente a usabilidade, o realismo da dirigibilidade e a responsividade do sistema com o volante Logitech G29. Os dados coletados por meio da pesquisa evidenciaram avaliações amplamente positivas em relação à interface, às mecânicas de direção, à física do veículo e ao feedback tático, reforçando a efetividade do projeto. Além disso, a diversidade de perfis dos participantes contribuiu para observar como diferentes níveis de familiaridade com jogos e direção influenciaram a adaptação ao simulador, destacando seu potencial tanto para entretenimento quanto para iniciação prática no ato de dirigir.

Os resultados também trouxeram à tona pontos importantes de melhoria, que contribuíram para uma compreensão mais madura sobre o estado atual do projeto. Questões como a percepção espacial durante manobras, a necessidade de instruções mais claras dentro do jogo e limitações impostas pela ausência de um câmbio físico foram observadas de forma recorrente, demonstrando que, embora o simulador já ofereça uma experiência sólida, ainda há espaço para expansão e refinamento. Observou-se ainda que usuários inexperientes apresentaram progressos perceptíveis em coordenação motora e familiarização com os controles, indicando que o projeto possui potencial pedagógico, especialmente para simulações de baixa velocidade e manobras de estacionamento.

A utilização do Unity como principal ferramental para o desenvolvimento do simulador de direção mostrou-se extremamente satisfatória, tanto pela versatilidade da plataforma quanto pela robustez de seus recursos nativos. A ampla documentação disponível e a facilidade de integração com bibliotecas e extensões permitiram um fluxo de trabalho fluido e eficiente, potencializando a criação de um ambiente virtual imersivo. Além disso, o SDK da Logitech utilizado no projeto, embora tenha apresentado desafios relacionados a incompatibilidades de *DLLs* e versões, cumpriu plenamente seu papel ao proporcionar suporte ao volante e aos pedais, garantindo o funcionamento adequado desses dispositivos ao longo do desenvolvimento.

A proposta do simulador destacou-se como um projeto envolvente, sobretudo pelo uso do hardware do volante e dos pedais, o que agrega realismo e desperta maior interesse no público. A combinação entre um trabalho acadêmico e elementos de entretenimento tornou o projeto não apenas tecnicamente relevante, mas também divertido e instigante. Essa abordagem híbrida favorece o engajamento, atrai a curiosidade de novos participantes e amplia o alcance da iniciativa, fortalecendo seu impacto dentro e fora do contexto acadêmico.

Por fim, é importante reconhecer que o projeto ainda possui limitações e abre espaço para evoluções significativas. A seguir, são apresentadas as principais possibilidades de melhoria e expansão identificadas ao longo do desenvolvimento:

- a) aumentar a fidelidade do ambiente em realidade virtual, aproximando ainda mais o cenário do campus real da FURB;
- b) implementar suporte para realidade virtual imersiva com a utilização de óculos de realidade virtual;
- c) inserir mais elementos e obstáculos no ambiente, como pedestres, semáforos e sinalizações diversas;
- d) implementar novas funcionalidades automotivas, como setas, pisca-alerta, faróis e feedbacks sonoros como motor e buzina;
- e) expandir o número de participantes nas sessões de teste para obter novas perspectivas, validações e oportunidades de aprimoramento.

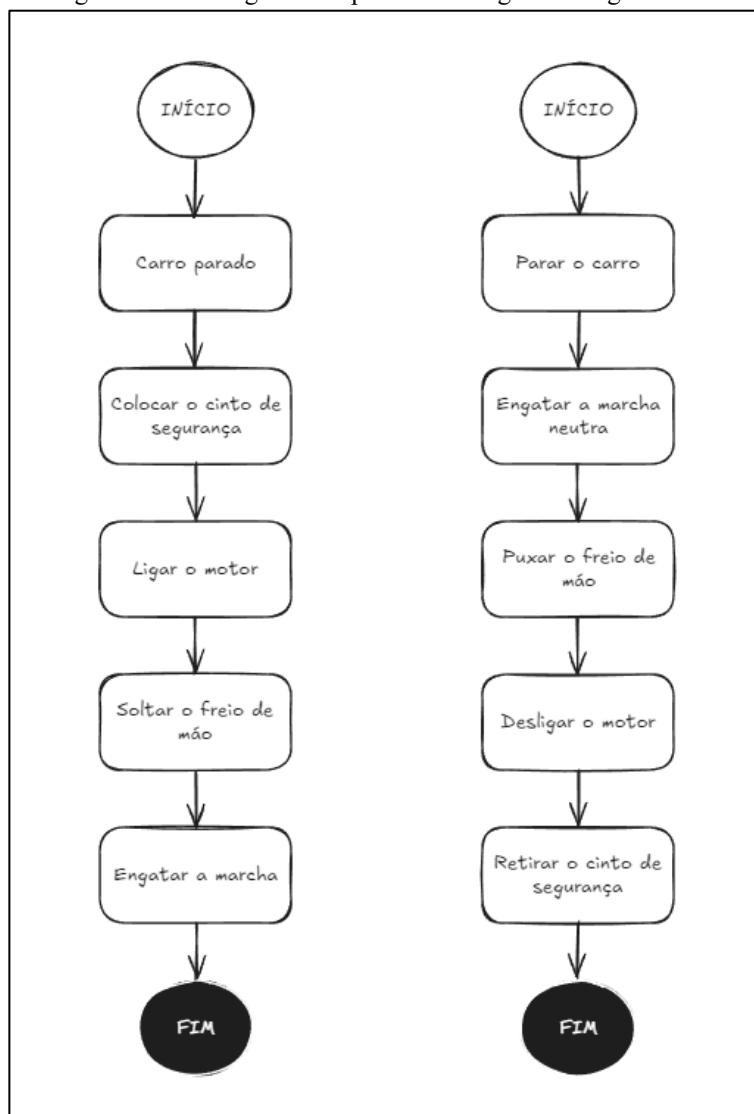
REFERÊNCIAS

- BOCK, O. et al. **An experimental paradigm for the assessment of realistic human multitasking.** Virtual Reality (Springer). 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-018-0342-7>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- CARROLL, M.; Osborne, E.; Yildirim, C. **Effects of VR Gaming and Game Genre on Player Experience.** 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2105.10754>. Acesso em: 01 dez 2025.
- ENGSTRÖM, J.; JOHANSSON, E.; ÖSTLUND, J. **Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving.** Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, v. 8, n. 2, p. 97–120, 2005.
- FONSECA, Hermes, Fabricio Simões. **Implementação de um sistema de fases e tarefas utilizando o simulador 3D de empilhadeira do tipo Reach Stacker para treinamento e reciclagem de operadores.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Itajaí, Itajaí, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2633>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- GERVASIO, Nikolas Ribeiro. **Realidade virtual aplicada ao ensino de direção.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2021. Disponível em: <https://repositorio.maua.br/handle/MAUA/270>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- GUO, F. et al. **Evaluation of a virtual reality driving simulator using eye tracking.** Transportation Research Record, v. 2602, p. 9–16, 2016.
- KUHN, Maryhana Laizza Gasparotto. **Desenvolvimento de um simulador automotivo em realidade virtual para a modalidade Baja.** 2019. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade do Vale do Taquari – Univates, Lajeado, 4 dez. 2019. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/items/9f7b908a-a5e9-4104-8036-227b92a22161/full>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- LOGITECH. Logitech G29 Driving Force Racing Wheel – **Specifications and Setup Guide.** 2023. Disponível em: <https://www.logitech.com>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- LOGITECH GAMING SDK. **Program,** 2025. Disponível em:
<https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/logitech-gaming-sdk-6630>. Acesso em: 01 dez 2025.
- MAXIMILIAN SENTEN. **Logitech Gaming SDK Steeringwheel dll Fix for Unity,** 2022. Disponível em:
https://www.youtube.com/watch?v=2PGa0DV_a08. Acesso em: 01 dez. 2025.
- MCGEHEE, D. V. et al. **An overview of a driving simulator validation study.** Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, v. 48, n. 19, p. 2260–2264, 2004.
- MCGOWIN, G., & Fiore, S. M. **Mind the Gap! Advancing Immersion in Virtual Reality—Factors, Measurement, and Research Opportunities.** Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/10711813241278833>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA. **Relatório ONSV 2022 – 25.7.** 2022. Disponível em: https://www.onsv.org.br/source/files/originals/Relatorio_ONSV_2022_25.7_internet-089959.pdf. Acesso em: 01 dez. 2025.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Segurança no trânsito.** OPAS / OMS. s.d. Disponível em:
<https://www.paho.org/pt/topics/seguranca-no-transito>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- SECRETARIA NACIONAL DE TRÂNSITO. **Anuário Senatran 2023.** 2023. Disponível em:
<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/senatran/anuario-senatran-2023.pdf>. Acesso em 01 dez 2025.
- SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design.** 2. ed. Burlington: Morgan Kaufmann, 2019.
- SILVA, J. H.; ROCHA, D. P. **Desenvolvimento de simuladores de direção em realidade virtual com integração de hardware físico.** Revista de Computação Aplicada, v. 13, n. 2, p. 45–58, 2021.
- SKARBEZ, R.; SMITH, M.; WHITTON, M. **Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum.** Frontiers in Virtual Reality, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/virtual-reality/articles/10.3389/frvir.2021.647997/full>. Acesso em 01 dez 2025.
- STANNEY, K. M.; HALE, K. S.; NAHMENS, I. **Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications.** 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

APÊNDICE A – FLUXOGRAMAS PARA LIGAR E DESLIGAR O CARRO

Esse apêndice consta a Figura 10, onde é demonstrado os fluxogramas do processo correto de ligar e desligar o carro dentro do simulador, respectivamente o da esquerda e da direita. O retângulo representa uma ação de usuário, os círculos brancos são os pontos de início e os círculos pretos são os fins dos processos.

Figura 10 – Fluxograma do processo de ligar e desligar o carro



Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE B – MAPEAMENTO DOS BOTÕES NO VOLANTE E PEDAIS

A Figura 11 detalha a seguir o mapeamento dos botões e suas respectivas funções dentro do simulador por meio de legendas. Auxiliando o entendimento e interpretação dos usuários sobre quais ações são possíveis e como realiza-las no ambiente virtual.

Figura 11 – Mapeamento dos botões no volante e pedais

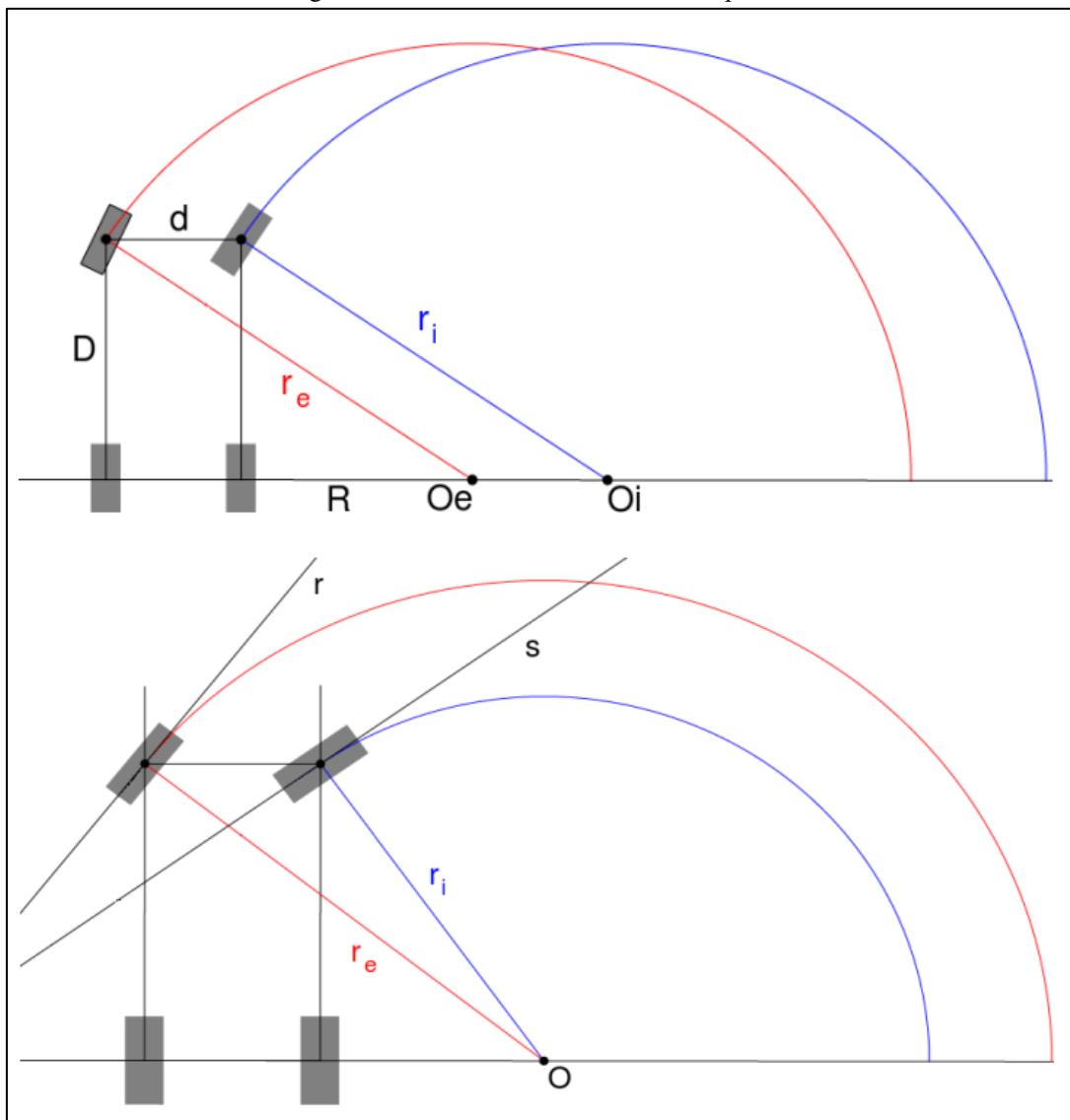


Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE C – GEOMETRIA DE ACKERMANN

A Figura 12 apresenta a diferença de percurso das rodas dianteiras sem aplicar o princípio e, logo após, aplicando o princípio. Na parte superior, um sistema de direção aplicando um mesmo ângulo comum em ambas as rodas dianteiras. Na parte inferior, um sistema de direção aplicando o arranjo geométrico de Ackermann nas rodas dianteiras.

Figura 12 – Geometria de Ackermann na prática



Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE D – ESTRUTURA DOS AMBIENTES DE TESTES

A Figura 13 apresenta a estrutura dos ambientes de testes com os equipamentos montados para este projeto. Na parte esquerda está exposto o ambiente residencial utilizado para os testes, já na parte direita está exposto o ambiente laboral.

Figura 13 – Estrutura dos ambientes de testes com os equipamentos montados



Fonte: elaborado pelo autor.