

VIRTUALIZAÇÃO DE ELEMENTOS DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA PARA PROJETOS DE EXPERIMENTOS EM SIMULADOR DE DIREÇÃO VEICULAR

Thales Mezzacasa Brum

Daniel Sergio Presta García

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN)

Gustavo Di Rado

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

Carlos José Campos

Instituto Superior de Engenharia de Porto (ISEP), Portugal

RESUMO

Simuladores de direção veicular desempenham um papel importante na redução dos custos de pesquisa e na oferta de uma experiência mais realista, dinâmica e controlável comparada com experimentos reais. Este artigo apresenta uma metodologia baseada em ferramentas de código aberto, gratuitas ou de uso comum para criar cenários virtuais. O principal objetivo deste trabalho é identificar o procedimento de virtualização de elementos de engenharia rodoviária para projetos de experimentos em simuladores de direção veicular. A automação pode reduzir a complexidade e o tempo necessário para criar esses ambientes. O estudo de caso no artigo ilustra a aplicação dessa metodologia na criação de um cenário virtual a partir de um projeto de rodovias em tempo reduzido, demonstrando a viabilidade e a transformação de um estudo em uma experiência imersiva e realista.

ABSTRACT

Vehicle driving simulators play an important role in reducing research costs and providing a more realistic, dynamic, and controllable experience compared to real experiments. This paper presents a methodology based on open source, free, or common-use tools to create virtual scenarios. The main objective of this work is to identify the procedure for virtualizing road engineering elements for experiments in vehicle driving simulators. Automation can reduce the complexity and time required to create these environments. The case study in the paper illustrates the application of this methodology in the creation of a virtual scenario from a highway project in a reduced time, demonstrating the feasibility and transformation of a study into an immersive and realistic experience.

1. INTRODUÇÃO

Os simuladores de direção têm se tornado cada vez mais populares como ferramentas de pesquisa (Shechtman *et al.*, 2009). Isso se deve às inúmeras vantagens que oferecem em comparação com metodologias de testes presenciais em rodovias (Brooks *et al.*, 2010; Godley *et al.*, 2002; Grasso *et al.*, 2010; Reimer *et al.*, 2006). Ademais, a crescente fidelidade dos simuladores de direção e a redução de custos de aquisição e utilização destes os tornaram cada vez mais acessíveis (McGehee *et al.*, 2000).

Para Dols (2016), a simulação pode ser descrita como um método de reproduzir uma situação semelhante à realidade, mas controlável. Para alcançar esse objetivo, é necessário reproduzir um ambiente com estímulos idênticos a uma situação real. Essa característica transforma um simulador em uma ferramenta flexível de pesquisa científica - auxiliando experimentos laboratoriais que podem ser caros, perigosos ou impossíveis de repetir no mundo real. Isso possibilita uma análise mais aprofundada e precisa dos resultados, além de permitir que os experimentos sejam facilmente repetidos (Meuleners & Fraser, 2015; Taheri *et al.*, 2017).

Grande parte da funcionalidade necessária para criar um ambiente virtual já está implementada em *engines* de jogos comuns, o que ajuda a reduzir os custos envolvidos. Uma *engine* é uma plataforma ou estrutura de *software* complexa usada para ajudar *designers* e desenvolvedores na criação de jogos. Essas *engines* fornecem ambientes estáveis e confiáveis e extensivamente testados, que geralmente incluem ferramentas que podem ser reutilizadas (Bille *et al.*, 2014).

Nos últimos anos, a Realidade Virtual (RV) tornou-se popular em várias aplicações, graças ao desenvolvimento de dispositivos de alto desempenho e baixo custo, como os headsets de RV Oculus Rift e plataformas de *software* que permitem a criação de ambientes virtuais altamente realistas e interativos, como Unity e Unreal (Saito *et al.*, 2020). Além do emprego do Simulador de Direção Veicular (SDV), a percepção de imersão em um ambiente de realidade virtual pode ser otimizada com a utilização dos *headsets* de RV, proporcionando aos usuários uma experiência plena de envolvimento em um ambiente virtual.

Os óculos de RV apresentam uma tela embutida que exibe imagens em 3D com uma alta taxa de atualização para uma experiência visual mais realista. Os dispositivos são equipados com sensores de movimento que rastreiam a posição da cabeça e dos olhos do usuário em tempo real, permitindo que o ambiente simulado seja ajustado de acordo com o movimento da cabeça. Este trabalho propõe a criação de um cenário virtual realístico baseado em um projeto acadêmico, que visa o desenvolvimento de um projeto geométrico de uma rodovia.

Com a utilização de uma *engine* para criação de jogos, é possível criar um ambiente virtual que simule em três dimensões os elementos geométricos do projeto. Essa simulação permitirá aos usuários terem uma experiência imersiva, possibilitando a visualização detalhada do trabalho. A tecnologia de realidade virtual, através do uso dos Oculus Rift, poderá ser incorporada, elevando ainda mais a sensação de realismo dentro do cenário.

O objetivo principal deste estudo é do **procedimento para virtualização de elementos de engenharia rodoviária para projetos de experimentos em simulador de direção veicular**, utilizando uma abordagem ágil e sistematizada. Como objetivos secundários têm-se: (i) identificar *softwares* de acesso livre e/ou de uso comum para manipulação e edição de dados; (ii) estruturar o processo para a confecção dos cenários estáticos e (iii) identificar os tempos necessários para elaboração de um cenário de até 10 km de extensão. Para isso, serão adotados programas como SAEPRO, Excel, Blender e Unity, cujas etapas serão automatizadas para reduzir o tempo necessário para criar o cenário virtual. O propósito é que o projeto esteja pronto para ser executado no simulador em um curto espaço de tempo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste trabalho, a revisão da literatura foi dividida em três seções, sendo a primeira delas dedicada ao assunto mais amplo de realidade virtual, em que são discutidos os dispositivos VR e sua importância na imersão do usuário em um ambiente virtual. Restringindo um pouco, a segunda seção trata sobre simuladores de direção veicular, abordando conceitos fundamentais e sendo apresentados alguns cenários nos quais a simulação pode ser útil. Por fim, na terceira seção, é explorado o uso de *engines* para a criação de simulações mais complexas e realistas, discutindo-se sobre as plataformas mais comuns no mercado como Unity e Unreal.

2.1 Realidade Virtual

Mihelj (2014) define realidade virtual como sendo composta por uma simulação interativa por computador, que detecta o estado e operação do usuário e substitui ou aumenta as informações de feedback sensorial em um ou mais sentidos de forma que o usuário obtenha uma sensação de imersão na simulação (ambiente virtual). Pode-se, assim, identificar quatro elementos básicos da realidade virtual: o ambiente virtual, a presença virtual, o feedback sensorial (como resposta às ações do usuário) e a interatividade.

Goedicke (2018) descreve os *headsets* de RV como uma opção acessível e frequentemente utilizada para proporcionar aos participantes uma experiência imersiva em ambientes virtuais. Esse método pode ser aplicado em pesquisas automotivas, colocando um volante físico e pedais na frente do participante enquanto visualiza modelos simulados. Os *headsets* de RV permitem a modificação de elementos de interface, como telas e controles, no mundo virtual, em vez de serem alterados na realidade física, possibilitando uma ampla gama de experimentações.

A popularidade da Realidade Virtual pode ser buscada em sua capacidade de estimular simultaneamente múltiplos sentidos, como visão, audição ou até mesmo toque e sensação de calor. Ao mesmo tempo, ela oferece um ambiente de treinamento seguro com riscos de tratamento minimizados (Vankov & Jankovszky, 2021).

Esses autores definem Realidade Virtual como a tecnologia que oferece experiências imersivas por meio de um *headset*. A experiência é considerada imersiva quando um usuário pode entrar em um mundo gerado por computador de imagens e sons. Uma imersão completa permitiria que o usuário usasse controladores para se mover e manipular objetos no ambiente de RV.

2.2 Simuladores de Direção Veicular

Os simuladores surgiram na década de 1930 e são comumente utilizados por pesquisadores para investigar comportamentos de motoristas. Isso inclui os efeitos de tecnologias, dispositivos e infraestrutura rodoviária, desde sinais de mensagem variável e sistemas embarcados em veículos até o uso de telefones móveis e veículos automatizados (Wynne *et al.*, 2019).

Os simuladores de direção permitem aulas de condução seguras em diferentes condições (chuva, gelo, congestionamentos) ou testes de novos carros. Em um ambiente virtual, é possível alterar qualquer uma das características do automóvel (tanto estéticas quanto funcionais) e depois observar como os motoristas reais reagem às mudanças. A simulação permite, assim, que os carros projetados sejam testados antes de construir um protótipo (Mihelj *et al.*, 2014).

Em relação à segurança viária e simuladores de direções, Dols (2021) relata que a segurança rodoviária é fundamental no design de estradas. Cumprir as diretrizes não é suficiente para garantir os níveis mais elevados de segurança, por isso muitas delas incentivam os projetistas a recriarem e testarem virtualmente suas estradas, aproveitando a evolução dos simuladores de direção nos últimos anos.

Já em relação a treinamentos em SDV, Chin (2018) menciona que alunos de pilotagem podem adquirir habilidades e conhecimentos em um ambiente de aprendizado muito mais propício e com baixa pressão, com guias de treinamento adequados e materiais de aprendizagem.

2.3 Uso de *Engines*

Para Marks (2007), uma *engine* de jogo é um sistema de *software* complexo necessário para desenvolver e jogar. Dois jogos diferentes com a mesma *engine* subjacente diferem pelo conteúdo do jogo, ou seja, gráficos, sons, enredo. As *engines* constroem uma ponte entre o jogo e o *hardware*. Com a ajuda de uma camada de abstração do sistema operacional, o mesmo conteúdo de jogo pode ser executado em diversas plataformas, por exemplo, Windows, Linux e XBox sem mudanças notórias.

Esse autorrelata, também, que *engine* gráfica carrega, exibe, manipula e gerencia todos os dados relacionados ao conteúdo gráfico e efeitos visuais. Modelos 3D de objetos, paisagens, edifícios, animais e jogadores podem ser carregados, texturizados, iluminados e animados. Efeitos adicionais (por exemplo, desfoque, distorção de lente, profundidade de campo) podem ser adicionados para aumentar o realismo visual. Sistemas de partículas são utilizados para simular fogo, fumaça, bolhas, sangue, etc.

Atualmente, o *software* moderno de motores de jogos pode criar um "jogo sério" com alta precisão visual e física em uma fração do tempo e com um custo muito menor, já que a maioria das plataformas está disponível como *open-source*. O termo "jogo sério" refere-se a programas educacionais que oferecem conhecimentos ou habilidades específicas (Chin *et al.*, 2018).

Zyda (2005) define "jogo sério" como "Um desafio mental, jogado com um computador de acordo com regras específicas, que usa entretenimento para promover treinamento governamental ou corporativo, educação, saúde, políticas públicas e objetivos de comunicação estratégica." A autora segue dizendo que a equipe de arte fornece a aparência e sensação do jogo. A equipe de programação desenvolve o código que implementa recursos de interface, *scripts* de IA, alterações de mecanismo de jogo e praticamente tudo o que o esforço de desenvolvimento inteiro requer em termos técnicos ou programáticos.

No mercado de desenvolvimento de jogos, as *engines* mais populares são a Unreal Engine e a Unity. Ambas oferecem um conjunto de ferramentas para a criação de jogos, incluindo recursos como física, efeitos visuais e sonoros, além de suporte para diversas plataformas, como *desktop*, *mobile* e *consoles*. A Unreal Engine é conhecida por sua capacidade de criar jogos com gráficos extremamente realistas, enquanto a Unity é reconhecida por sua facilidade de uso e sua melhor adaptabilidade a headsets de realidade virtual.

3. METODOLOGIA

A metodologia consiste em criar um cenário estático, no qual inclui o terreno, corpo estradal, sinalização horizontal e vertical. Para que o simulador funcione corretamente, é necessário incluir uma dinâmica veicular. Com o intuito de realizar este processo, foi utilizada a plataforma de jogos Unity e *softwares* auxiliares, como Blender para modelagem 3D, SAEPRO para cálculo de engenharia rodoviária e Excel para manipulação de planilhas. Por fim, gerou-se um relatório de saída de dados, contendo parâmetros do motorista, os quais podem ser utilizados em futuros estudos. No entanto, este trabalho tem algumas limitações, como a falta de eventos envolvendo condições climáticas e ciclo dia-noite, e a interface do simulador.

3.1. Definição da macroestrutura de um SDV para projetos de experimento

Para criar um projeto de experimento completo e realista em um SDV, é necessário seguir três principais etapas. A primeira delas é a configuração, que deve ser realizada por meio de uma interface amigável e intuitiva que permita ajustar os parâmetros de maneira fácil. Em seguida, ocorre a etapa de execução, que envolve a dinâmica veicular, eventos e cenários estáticos - sendo este último a principal área de enfoque deste trabalho. Por fim, é essencial gerar uma saída de dados e criar relatórios com as informações coletadas durante a simulação, que poderão ser utilizados em futuros estudos ou para aprimorar o próprio simulador. Vale ressaltar que as etapas de configuração e saída de dados são realizadas por último, uma vez que a fase de execução esteja pronta.

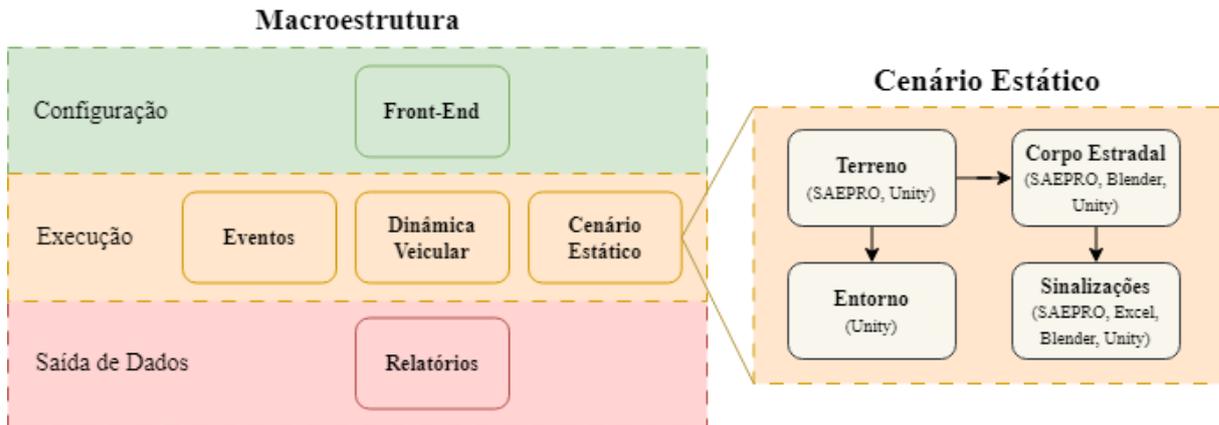


Figura 1: Definição da macroestrutura de um SDV para projetos de experimento

3.1.1. Configuração

A etapa de configuração é feita por uma camada visual e interativa de um aplicativo, na qual os usuários interagem diretamente, denominada de Front-End. Ela abrange a interface, incluindo o design, a funcionalidade e a usabilidade. Também é encarregada da apresentação de informações e da interação com o usuário por meio de elementos como menus e botões.

Para garantir uma organização eficiente e uma maior compreensão de uso, é importante que se tenha controle fácil de parâmetros, tais como fluxo de caminhões, modelos de veículos leves, sentido da via, estilos de câmbio e freio, eventos, tipos de relatórios gerados, etc. Essas medidas permitem modificar cenários facilmente e proporcionar projetos mais flexíveis e adaptáveis.

3.1.2. Execução

A fase de execução é composta por três subetapas principais: cenário estático; dinâmica veicular e eventos. Essa fase é considerada o núcleo do projeto, uma vez que agrega as subetapas que demandam mais desenvolvimento e precisão.

- **Cenário Estático:** formado por elementos visuais que não apresentam mudanças significativas em seu movimento, tais como o terreno, as árvores e as sinalizações, conforme explicado com mais detalhes no item 3.3. Quanto mais fiel for a representação do ambiente, maior será a imersão e a experiência do usuário.

- **Dinâmica Veicular:** uma das partes mais importantes do simulador, pois é responsável por fornecer ao motorista uma experiência realista de condução. Nesta etapa, foi desenvolvida uma dinâmica veicular para um modelo tridimensional de um carro, definindo seus principais parâmetros físicos, como massa, aceleração, velocidade máxima e potência.

O veículo virtual utilizado no simulador foi criado por Di Rado *et al.* (2018) da Universidad Nacional Del Nordeste, com base em dados obtidos do Uno Way 1.0, cujos parâmetros foram retirados do manual do usuário. Utilizou-se o *software* SICOV (Simulador de Conducción de Vehículos), criado na plataforma Unity, para a construção do automóvel.

Foi desenvolvida uma câmera em primeira pessoa dentro do veículo, projetada de forma a acompanhar os movimentos do mesmo e proporcionar uma visão ampla do ambiente virtual, podendo ser utilizada em conjunto com a RV dos Oculus Rift. Por fim, realizou-se um processo de calibração, onde os parâmetros da dinâmica veicular foram testados e ajustados diversas vezes para garantir que o comportamento do carro fosse o mais realista possível (Di Rado *et al.*, 2018).

- *Eventos:* para que o projeto de experimento seja mais próximo do que acontece na prática, é essencial que ocorram eventos ao longo da rodovia. Isso pode ser alcançado por meio da criação de um cenário controlado e da variação de algumas condições, como a transição entre dia e noite, a presença de animais na pista e a ocorrência de chuvas, que afetaram a dinâmica veicular. Houve, neste trabalho, a interação com outros veículos, controlados por uma inteligência artificial, implementada e desenvolvida por Di Rado *et al.* (2018).

3.1.3. Saída de Dados

Foi gerado um relatório de saída de dados com os principais parâmetros do motorista durante a simulação. Para isso, utilizou-se de *scripts* programados na plataforma Unity que coletam informações como posição do veículo, velocidade, aceleração, ângulo de direção, tempo de reação, entre outros parâmetros relevantes (Di Rado *et al.*, 2018). Os dados foram armazenados para futuras análises estatísticas sobre o comportamento do condutor durante a simulação.

3.2. Identificação de *software* e aplicações

Para criar o cenário virtual, foram utilizados programas de elevado desempenho e baixo custo, como o SAEPRO e a Unity - ambos gratuitos - e o Blender, um *software* de código aberto. Além dessas ferramentas, também foi utilizado o Excel. A escolha desses programas permitiu uma produção eficiente e de alta qualidade do ambiente virtual, ao mesmo tempo em que os custos do projeto foram reduzidos.

3.2.1. SAEPRO

O Sistema Avançado para Estudos e Projetos Viários - SAEPRO é um *software* para elaboração de projetos viários (geométrico, terraplenagem, sinalização, etc.) desenvolvido por empresas de consultoria do estado do Rio Grande do Sul com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, com registro no Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI (Processo: BR 51 2015 000358-5).

O SAEPRO é indicado em projetos universitários por apresentar uma versão acadêmica (sem custos). Como a UFRGS integra o grupo de desenvolvimento do *software*, a sua utilização para fins produtivos, na própria instituição, é relevante para o projeto institucional.

3.2.2. Blender

O Blender é um *software* de modelagem, animação, renderização e composição de modelos tridimensionais, distribuído sob a licença GNU General Public License e de código aberto. Ele oferece uma grande variedade de ferramentas para a manipulação de objetos, iluminação, texturas e materiais. O aplicativo possui uma comunidade ativa de usuários, os quais disponibilizam tutoriais e plugins, que facilitam a manipulação do programa e a aprendizagem.

3.2.3. Unity

Unity é uma *engine* de desenvolvimento de jogos criada pela Unity Technologies, que possibilita a criação de jogos 2D e 3D para diversas plataformas, como PC, consoles, dispositivos móveis e realidade virtual. Ela oferece uma ampla variedade de ferramentas e recursos para o desenvolvimento, incluindo física pré-programada, renderização, iluminação, animação e recursos de áudio.

Nguyen & Dang (2017) escolheram a Unity devido ao baixo custo para desenvolvimento, fácil portabilidade entre diversas plataformas, riqueza da comunidade em relação a estudos

previamente feitos, abundância de modelos e objetos na loja de *assets* e suporte a uma linguagem de programação popular, denominada C#. Peters (2016) aponta que a *engine* Unity 3D é a mais sustentável, flexível e com a melhor relação custo-benefício para desenvolver cenários com o uso da tecnologia de RV.

3.3. Processo para a confecção dos cenários estáticos

O processo de criação do cenário estático seguiu uma ordem sequencial, iniciando pela modelagem do terreno em etapas, seguida da construção tridimensional do pavimento com sinalização horizontal. Após a combinação desses elementos, foram geradas as placas de sinalização vertical e, por fim, foi adicionada à vegetação para o aumento do realismo.

3.3.1. Geração do Terreno

O terreno foi gerado através de uma malha regular com pontos definidos a cada 30 ou 90 metros, criada no SAEPRO, a partir da triangulação desses pontos. A superfície do projeto foi criada também no SAEPRO por meio de uma malha irregular. A superfície resultante decorreu da junção da camada de projeto integral, mais precisa, somada ao terreno. A malha foi salva em formato OBJ, padrão de arquivo 3D usado para armazenar dados de geometria de objetos tridimensionais. Esta foi importada ao Unity, onde foi utilizado um *script* para transformá-la em um *terrain*. Isso significa que, além de ser uma representação visual, o *terrain* tem uma série de propriedades físicas que permitem objetos interagirem com ele de forma realística, que inclui a detecção de colisão e a simulação do movimento de água.

3.3.2. Geração do Corpo Estradal

O corpo estradal foi gerado a partir de técnicas de projeto geométrico (planimétrico, altimétrico e de seções transversais) no *software* SAEPRO para criar um arquivo de desenho tridimensional em formato DXF, tipo de arquivo para desenhos 2D e 3D para ser usado em *softwares* de CAD (*Computer Aided Design*) como o AutoCAD. Diferentemente do terreno, como há a necessidade de aplicações de texturas no pavimento, o arquivo não foi salvo em OBJ, pois este não grava essas informações. No *software* Blender, foi criado o modelo tridimensional do pavimento a partir do desenho e foram adicionados os materiais e as texturas. Este modelo foi, então, importado para o Unity para ser posicionado no terreno previamente criado. Também foi aplicada a este corpo uma física para que pudesse haver colisão com objetos (*meshs*), permitindo a movimentação dos carros sobre o corpo estradal.

3.3.3. Sinalização

A sinalização é essencial para a segurança no trânsito. A sinalização horizontal indica a posição dos veículos e delimita as faixas de tráfego. A sinalização vertical fornece informações aos motoristas, como a velocidade máxima permitida, saídas de emergência e aviso de curvas.

- *Sinalização Horizontal*: foi inicialmente desenvolvida utilizando o *software* SAEPRO, que automaticamente gerou e calculou a sinalização com base na superlargura, superelevação e critérios de visibilidade do projeto, apresentando o resultado em formato de desenho. Em seguida, o desenho foi convertido em um modelo tridimensional no formato FBX, padrão de arquivo 3D para uso em aplicativos de modelagem, animação e visualização em três dimensões. Foi seguido o mesmo processo utilizado para o corpo estradal, importando para a plataforma Unity, porém sendo posicionado milímetros acima da rodovia para haver a visibilidade da sinalização e sem a inclusão de colisão, a fim de evitar desnivelamentos na pista.

▪ **Sinalização Vertical:** para a criação da sinalização vertical, foram utilizados modelos de placas previamente desenvolvidos no Blender que foram separados por códigos de identificação. Estes modelos foram importados para o Unity, onde receberam as propriedades físicas necessárias, como a colisão. No SAEPRO, foram gerados dois relatórios: o Relatório de Coordenadas, com as coordenadas do estacionamento da rodovia, e o Relatório de Aplicação, com a posição das sinalizações em relação à via. O Relatório de Aplicação apresenta apenas o quilômetro e o código da placa, logo para obter as coordenadas cartesianas da sinalização vertical, foi necessário interpolar as informações dos dois relatórios.

Por meio de uma planilha automatizada no Excel, identificou-se a estaca mais próxima do quilômetro desejado da placa e, a partir dela, foram obtidos os valores de X, Y, Z e Azimute da estaca. As coordenadas, originalmente em UTM, foram transladadas para um referencial de coordenadas onde o início é o ponto (0,0,0) e ajustadas para a Unity que possui uma orientação diferente da estaca original. Nessa nova orientação, o eixo Y da unidade Unity corresponde ao eixo Z da estaca, enquanto o eixo Z da unidade Unity corresponde ao negativo do eixo Y da estaca. Um ficheiro de texto (CSV) foi gerado com essas informações, incluindo o código das placas e um número de identificação adicional para distingui-las. A inserção automática das placas foi possibilitada por meio de um *script* que lê o ficheiro e as introduz no terreno. A sinalização vertical criada por esse processo é mais precisa e ágil do que quando feita manualmente.

3.3.4. Elementos de Entorno

O entorno é uma parte fundamental do simulador de direção (Figura 2), pois contribui para a criação de uma sensação de realismo e imersão no cenário virtual. Nesta etapa, foi criado o ambiente ao redor da rodovia, incluindo vegetação e edificações. Para isso, foram utilizados os recursos disponíveis na plataforma Unity, que oferece uma vasta variedade de *assets* (objetos pré-fabricados). Esses *assets* foram baixados diretamente da Asset Store, loja da Unity.



Figura 2: Cenário com todos os elementos

4. ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A conversão de um projeto em um modelo de realidade virtual é um processo que pode ser otimizado por meio da automação de tarefas, o que reduz o tempo empregado. Para avaliar o tempo necessário para a criação de um ambiente virtual, foi utilizado um projeto acadêmico de uma rodovia com extensão de 7,9 km em diretriz, iniciando na rua Santo Ângelo, no município de Alegria/RS. A rodovia possui configuração de pista simples com acostamentos, classificada como Classe III e localizada em uma região montanhosa. Campos (2014) é um trabalho de referência para comparações de técnicas e tempo.

4.1. Procedimentos Adotados

Os procedimentos para a aplicação das técnicas propostas e para a medição do tempo de criação do modelo de realidade virtual foram detalhados e os resultados foram compilados em uma tabela resumo (Tabela 1). A dinâmica veicular e o relatório de saída foram obtidos de Di Rado *et al.* (2018). O tempo de processamento da máquina foi ignorado, pois é considerado irrelevante para a extensão da rodovia. O processo foi realizado por um usuário com conhecimentos de médios a avançados em todos os programas. O projeto totaliza 5GB de tamanho.

- *Obtenção do Terreno Natural:* o terreno produzido no SAEPRO já estava presente no trabalho acadêmico, o que significa que o processo de modelagem, a partir do projeto construído, foi ágil. Na Unity, um script converteu o arquivo do SAEPRO para terreno físico em apenas uma interação, automatizando o processo e exigindo apenas ajustes finos de posição. O processo levou 1 hora, e independe do tamanho da superfície do terreno. O tamanho do arquivo importado foi de 200MB.
- *Construção do Corpo Estradal:* foi gerado acima do terreno no SAEPRO, selecionando o tamanho das faixas, acostamento e taludes. No Blender, a separação manual desses elementos foi feita para que possa ser produzido o modelo tridimensional, requerendo um maior tempo para produção. Em seguida, a textura do pavimento, acostamento e talude foram produzidos e aplicados no corpo estradal no próprio Blender. No Unity, os pontos iniciais e finais da rodovia foram definidos no terreno, e o pavimento foi inserido. O processo completo levou 2 horas e 30 minutos, sendo a maior parte desse tempo gasto no Blender, com baixa volatilidade de tempo em relação a superfície do terreno. O tamanho do arquivo gerado foi de 120MB.
- *Sinalização Horizontal:* foi gerada automaticamente a partir do projeto no SAEPRO, levando em conta o traçado, superelevação e superlargura, o que resultou em um processo rápido. No Blender, o mesmo processo utilizado para o Corpo Estradal foi seguido. No Unity, bastou-se inserir as sinalizações horizontais sobre pavimento previamente posicionado. O processo completo levou 1 hora, e possui baixa volatilidade de tempo. O tamanho do arquivo gerado foi de 30MB.
- *Sinalização Vertical:* o processo foi totalmente automatizado, independentemente do número de placas. Para isso, foi necessário gerar os relatórios no SAEPRO, transferir os dados para o Excel e, em uma única interação com a Unity, posicionar as placas através do script. O processo levou 30 minutos e gerou-se três arquivos de tamanhos variados, totalizando 80MB.
- *Elementos do Entorno:* a criação do ambiente ao redor da rodovia foi realizada inteiramente na Unity, usando assets pré-produzidos. O processo de inserção das árvores e vegetação foi realizado manualmente, o que aumenta o tempo de execução, dependendo do tamanho da área a ser preenchida. Para um trecho de 8 km, como no projeto apresentado, essa etapa levou 2 horas, não gerando arquivos adicionais.

- *Dinâmica Veicular:* o modelo tridimensional do veículo, criado no Blender, e o script da dinâmica veicular já estavam prontos para serem inseridos no cenário virtual. No entanto, foi necessário dedicar 1 hora para ajustar os parâmetros do carro em um novo projeto do Unity.
- *Relatórios de Saída:* o relatório foi gerado automaticamente na Unity por meio de um script previamente programado. O documento foi exportado para um arquivo de texto rapidamente, concluído em 20 minutos, com tamanho de 300KB.

4.2. Tempos necessários para a elaboração

Com a otimização do processo, foi possível criar uma tabela resumo (Tabela 1) que apresenta os tempos utilizados. Essa tabela proporcionou uma compreensão mais clara do tempo total gasto em cada etapa do processo e dos tempos específicos utilizados em cada programa. Como resultado, a análise indicou a possibilidade de concluir o processo em torno de 8 horas, sendo notável o fato de que o programa Unity é o *software* que mais consome tempo (46% da parte de programas), e a etapa de construção do corpo estradal é a mais extensa (30% da parte de etapas).

Tabela 1: Resumo dos tempos necessários por etapas e programas

Etapas	SAEPRO	Excel	Blender	Unity	Total	Total (%)
Terreno	50min	-	-	10 min	1,0 hora	12%
Corpo Estradal	20min	-	2 horas	10 min	2,5 horas	30%
Sinalização Horizontal	10min	-	40 min	10 min	1,0 hora	12%
Sinalização Vertical	10min	10 min	-	10 min	0,5 horas	6%
Entornos	-	-	-	2 horas	2,0 horas	24%
Veículo	-	-	-	1 hora	1,0 hora	12%
Relatório de Saída	-	10 min	-	10 min	20 min	4%
Total	1h30min	20 min	2h 40min	3h 50min	8h 20min	-
Total (%)	18%	4%	32%	46%	-	100%

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transformação de um projeto em um modelo de realidade virtual pode ser uma tarefa complexa e demorada, envolvendo a criação de um ambiente virtual realista que inclua todos os elementos necessários para simular a experiência de direção veicular em uma determinada rodovia. A utilização de ferramentas especializadas, desde a criação do projeto (SAEPRO), passando pela modelagem tridimensional (Blender), até a união desses elementos em uma *engine* (Unity), são essenciais para a criação desse ambiente, porém, caso todas essas etapas sejam realizadas manualmente, não é possível garantir a precisão e rapidez necessárias.

Este trabalho teve como objetivo principal descrever o processo de confecção do cenário estático, desde a modelagem do terreno até a adição de elementos como pavimentos, sinalização vertical e vegetação. Embora tenha havido menções à dinâmica veicular e relatórios de saída, este estudo não se aprofundou nesses aspectos. Cabe ressaltar que o desenvolvimento de eventos e Front-End são possíveis trabalhos futuros para completar a experiência do simulador.

É fundamental destacar a importância da utilização de um sistema de projetos viários para garantir a precisão e a conformidade do projeto com as diretrizes e normas aplicáveis. Isso se deve à grande especificidade dos parâmetros a serem calculados, os quais incluem, desde as

características físicas da rodovia, até os aspectos de segurança e sinalização. Embora as ferramentas CAD possam ser úteis para a modelagem tridimensional do projeto, elas não são capazes de contemplar todas as nuances e particularidades do projeto viário. Por isso, a utilização de *softwares* especializados como o SAEPRO é essencial para garantir a correta aplicação das diretrizes e normas, bem como a obtenção de resultados precisos e confiáveis.

Foi constatado que a utilização de automações em planilhas e *scripts* na Unity se mostraram eficientes para otimizar o processo de confecção do cenário estático. Uma vez que os *scripts* e planilhas foram concebidos, o processo de implementação tornou-se simples e rápido.

Embora o processo possa ser considerado simples, é importante destacar que a sua adoção requer profissionais com conhecimento de médio a avançado nas ferramentas utilizadas, principalmente Blender e Unity. Felizmente, a disponibilidade de materiais de apoio, como tutoriais e documentação é ampla, já que Unity é uma ferramenta gratuita e Blender é de código aberto, com uma grande comunidade de usuários que compartilham conhecimentos e soluções.

A partir da análise da metodologia e do estudo de caso apresentado, conclui-se que é possível realizar a conversão de um projeto em um modelo de realidade virtual de forma ágil e eficiente, utilizando a automação de tarefas e a otimização do processo de modelagem em cada etapa. O estudo de caso demonstrou que é possível concluir todas as etapas necessárias para a criação do modelo em um curto prazo, com destaque para a automatização da sinalização vertical, que reduziu o tempo necessário para a sua implementação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bille, R., Smith, S. P., Maund, K., & Brewer, G. (2014). Extending building information models into game engines. *ACM International Conference Proceeding Series*, 02-03-December-2014. <https://doi.org/10.1145/2677758.2677764>
- Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L., Logan, W. C., Ogle, J. H., Tyrrell, R. A., & Wills, R. F. (2010). Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident Analysis and Prevention*, 42(3), 788–796. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.04.013>
- Campos, C., Leitão, J. M., & Coelho, A. F. (2014). *Geração Procedimental de Traçados Rodoviários para Simulação de Condução*. <https://doi.org/10.2312/pt.20141313>
- Chin, C. S., Kamsani, N. B., Zhong, X., Cui, R., & Yang, C. (2018). Unity3D Serious Game Engine for High Fidelity Virtual Reality Training of Remotely-Operated Vehicle Pilot. *2018 10th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICMIC.2018.8529900>
- Di Rado, G. R., Devincenzi, G. H., Silvero, F., & García, D. S. P. (2018). *Simulación e importancia del desempeño de un vehículo de paseo en trayectoria curva estable*.
- Dols, J. F., Molina, J., Camacho, F. J., Marín-Morales, J., Pérez-Zuriaga, A. M., & Garcia, A. (2016). Design and Development of Driving Simulator Scenarios for Road Validation Studies. *Transportation Research Procedia*, 18, 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.038>
- Dols, J. F., Molina, J., Camacho-Torregrosa, F. J., Llopis-Castelló, D., & García, A. (2021). Development of driving simulation scenarios based on building information modeling (BIM) for road safety analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13042039>
- Godley, S. T., Triggs, T. J., & Fildes, B. N. (2002). Driving simulator validation for speed research. In *Accident Analysis and Prevention* (Vol. 34). www.elsevier.com/locate/aap
- Goedicke, D., Li, J., Evers, V., & Ju, W. (2018). VR-OOM: Virtual reality on-road driving simulation. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 2018-April*. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173739>
- Grasso, C. J., McDearmon, M. J., & Kobayashi, Y. (2010). *Virtual Driving and Eco-Simulation VR City Modeling, Drive Simulation, and Ecological Habits*. www.internetworldstats.com
- Marks, S., Windsor, J., & Wünsche, B. (2007). Evaluation of game engines for simulated surgical training. *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australia and Southeast Asia*, 273–280. <https://doi.org/10.1145/1321261.1321311>

- McGehee, D. V., Mazzae, E. N., & Baldwin, G. H. S. (2000). Driver Reaction Time in Crash Avoidance Research: Validation of a Driving Simulator Study on a Test Track. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44(20), 3-320-3-323. <https://doi.org/10.1177/154193120004402026>
- Meuleners, L., & Fraser, M. (2015). A validation study of driving errors using a driving simulator. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 29, 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.11.009>
- Mihelj, M., Novak, D., & Beguš, S. (2014). *Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering Virtual Reality Technology and Applications*. <http://www.springer.com/series/6259>
- Nguyen, V. T., & Dang, T. (2017). Setting up Virtual Reality and Augmented Reality Learning Environment in Unity. *Adjunct Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2017*, 315-320. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2017.97>
- Peters, E., Heijligers, B., de Kievith, J., Razafindrakoto, X., van Oosterhout, R., Santos, C., Mayer, I., & Louwerse, M. (2016). Design for Collaboration in Mixed Reality: Technical Challenges and Solutions. *2016 8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2016.7590343>
- Reimer, B., D'Ambrosio, L. A., Coughlin, J. F., Kafriessen, M. E., & Biederman, J. (2006). Using self-reported data to assess the validity of driving simulation data. *Behavior Research Methods*, 38(2), 314-324. <https://doi.org/10.3758/BF03192783>
- Saito, Y., Kawashima, K., & Hirakawa, M. (2020). Effectiveness of a head movement interface for steering a vehicle in a virtual reality driving simulation. *Symmetry*, 12(10), 1-13. <https://doi.org/10.3390/sym12101645>
- Shechtman, O., Classen, S., Awadzi, K., & Mann, W. (2009). Comparison of driving errors between on-the-road and simulated driving assessment: A validation study. *Traffic Injury Prevention*, 10(4), 379-385. <https://doi.org/10.1080/15389580902894989>
- Taheri, S. M., Matsushita, K., & Sasaki, M. (2017). Virtual Reality Driving Simulation for Measuring Driver Behavior and Characteristics. *Journal of Transportation Technologies*, 07(02), 123-132. <https://doi.org/10.4236/jtts.2017.72009>
- Vankov, D., & Jankovszky, D. (2021). Effects of using headset-delivered virtual reality in road safety research: A systematic review of empirical studies. In *Virtual Reality and Intelligent Hardware* (Vol. 3, Issue 5, pp. 351-368). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2021.05.005>
- Wynne, R. A., Beanland, V., & Salmon, P. M. (2019). Systematic review of driving simulator validation studies. *Safety Science*, 117, 138-151. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.004>
- Zyda, M. (2005). From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, 38(9), 25-32. <https://doi.org/10.1109/MC.2005.297>

Thales Mezzacasa Brum (thalesmbrum@gmail.com)

Daniel Sergio Presta García (daniel.garcia@ufrgs.br)

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

Carlos José Campos (crc@isep.ipp.pt)

LASTRAN - Laboratório de Sistemas de Transportes - Escola de Engenharia e Engenharia de Produção

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

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

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