

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR PARA  
MONITORAMENTO DE TÉCNICAS DE DIREÇÃO  
ECONÔMICA EM CAMINHÕES COM O USO DE  
AMBIENTES VIRTUAIS**

TALES NEREU BOGONI

Dissertação apresentada como  
requisito parcial à obtenção do grau de  
Mestre em Ciência da Computação da  
Pontifícia Universidade Católica do Rio  
Grande do Sul.

Orientador: Prof. Márcio Sarroglia Pinho

Porto Alegre  
2009



## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B675d Bogoni, Tales Nereu

Desenvolvimento de um simulador para monitoramento de técnicas de direção econômica em caminhões com o uso de ambientes virtuais / Tales Nereu Bogoni. – Porto Alegre, 2009.

115 p.

Diss. (Mestrado) – Fac. de Informática, PUCRS.  
Orientador: Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho.

1. Informática. 2. Realidade Virtual. 3. Simulação.  
4. Ambiente Virtual. I. Pinho, Márcio Sarroglia. II. Título.

CDD 006.6

**Ficha Catalográfica elaborada pelo  
Setor de Tratamento da Informação da BC-PUCRS**





Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
FACULDADE DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

## TERMO DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação intitulada "**Desenvolvimento de um Simulador Para Monitoramento de Técnicas de Direção Econômica em Caminhões Com o Uso de Ambientes Virtuais**", apresentada por Tales Nereu Bogoni, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação, Sistemas Interativos de Visualização, aprovada em 06/07/09 pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho -  
Orientador

PPGCC/PUCRS

Prof. Dr. João Batista Souza de Oliveira -

PPGCC/PUCRS

Profa. Dra. Carla Maria Dal Sasso Freitas -

UFRGS

Homologada em 15/07/09, conforme Ata No. 16/09 pela Comissão Coordenadora.

Prof. Dr. Fernando Gehm Moraes  
Coordenador.

PUCRS

**Campus Central**

Av. Ipiranga, 6681 – P32 – sala 507 – CEP: 90619-900  
Fone: (51) 3320-3611 – Fax (51) 3320-3621  
E-mail: [ppgcc@pucrs.br](mailto:ppgcc@pucrs.br)  
[www.pucrs.br/facin/pos](http://www.pucrs.br/facin/pos)



## AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Marlei, meus filhos, Jéssica e Arthur, e a minha mãe, Clecy, que estiveram presentes durante todo o tempo dando força e ânimo, sempre acreditando no resultado do trabalho, mesmo com o afastamento que acontecia e a solidão que insistia em estar presente com a distância.

Ao meu orientador, Prof. Márcio Pinho, pelo incentivo, amizade, auxílio e horas de dedicação dispensadas no acompanhamento e direcionamento das atividades realizadas durante o desenvolvimento deste projeto, não podendo deixar de agradecer também pelas aulas de marcenaria e mecânica por ele oferecidas.

Aos colegas e parceiros "Minterianos" e "Unemateanos" que estavam presentes nos momentos de alegrias e tristezas, sempre unidos, mostrando que as amizades surgem a cada momento e vivem para sempre.

Aos colegas do GRV, Trombetta, Camozzato, Felipe, João, Virgínia, Rafael, Diego, Diogo, Filipi, Jefferson, Tomasi, Fabris, Adonai, Fabrício e Pedro Xerxenesky, que estiveram presentes durante a estada em Porto Alegre, sendo amigos e presentes nos momentos de descontração e estudo. Com certeza estas amizades é o que fazem a vida valer a pena ser vivida.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da PUC, pelo auxílio para a instrumentação dos equipamentos utilizados no projeto.

À empresa Binotto SA e ao ISETT, pelo auxílio na realização do levantamento de dados e testes. Em especial a Márcia e ao Daniel, que não mediram esforços para que tudo transcorresse dentro da normalidade dispondo seu tempo durante as reuniões e realização dos testes.

À UNEMAT, por possibilitar o afastamento das atividades de ensino durante o período de escrita desta dissertação.

À FATEMAT, pelo auxílio financeiro para os deslocamentos para Porto Alegre e pelo convênio firmado com a PUCRS para a realização deste MINTER, este é o verdadeiro papel das instituições de financiamento público, sem privilégios e com muita ética e respeito.

A todos os amigos e amigas que estiveram presentes durante este período de grande amadurecimento em minha vida.



# DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR PARA MONITORAMENTO DE TÉCNICAS DE DIREÇÃO ECONÔMICA EM CAMINHÕES COM O USO DE AMBIENTES VIRTUAIS

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de simulador de caminhão voltado à avaliação do uso de técnicas de direção econômica. São descritas as técnicas de direção econômica e sua forma de monitoramento, bem como o processo de construção de um ambiente virtual e dos dispositivos de interação utilizados no simulador. A simulação é realizada utilizando um ambiente virtual *desktop* com configuração de *hardware* e *software* específicos para fornecer maior grau de imersão para o usuário. Através da realização de testes com motoristas e instrutores de direção econômica, pode-se perceber que o protótipo pode ser utilizado como uma ferramenta para avaliação de motoristas em treinamento e que o sistema desenvolvido é capaz de captar, de forma similar a um especialista humano, grande parte das violações do uso de técnicas de direção econômica ocorridas durante a simulação.

**Palavras Chave:** Realidade Virtual, Simulador, Ambiente Virtual.



# DEVELOPMENT OF A SIMULATOR FOR MONITORING TECHNIQUES FOR TRUCKS ECONOMIC DRIVING WITH USE OF VIRTUAL ENVIRONMENTS

## ABSTRACT

This paper presents the development of a truck simulator prototype directed to the assessment of the use of the economic direction techniques. The economic direction techniques and their way of monitoring and the process of construction of a virtual environment and the interaction devices used in the simulator are described. The simulation is performed using a virtual desktop environment with configuration of specific hardware and software to provide higher level of immersion to the user. Through the testing of drivers and instructors with the economic direction, we can see that the prototype can be used as a tool for assessing of training drivers and that the developed system is capable of capturing, in a similar way to a human expert, most of the violations of the use of the economic direction techniques occurred during the simulation.

**Keywords:** Virtual reality, Simulator, Virtual Environment.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – NADS, à esquerda, a cabine e os dispositivos de movimentação, à direita, os componentes internos da cabine com um veículo monitorado e uma tela de projeção.....	34
Figura 2 - DLR <i>Driving Simulator</i> .....	35
Figura 3 - Tela do <i>CleanDrive Simulator</i> .....	35
Figura 4 - <i>Truck Driver Training Simulator</i> .....	36
Figura 5 - Classes funcionais das placas.....	41
Figura 6 - Roteiro básico de viagem .....	42
Figura 7 - Tela do TORCS .....	50
Figura 8 - Combinação das características da geometria das rodovias .....	51
Figura 9 - Cruzamento em um perímetro urbano com faixa de pedestres.....	52
Figura 10 – Lombada tradicional .....	52
Figura 11 - Visão do usuário.....	54
Figura 12 - <i>Cockpit</i> do simulador .....	55
Figura 13 – Esquema do cambio de marchas. (A) posição das marchas; (B) dispositivo físico do cambio de marchas.....	56
Figura 14 - Volante e coluna de direção (A) e detalhe do sistema de redução de rotações para leitura de dados (B).....	57
Figura 15 - Pedais de comando (A), detalhe do uso de molas nos pedais (B) e detalhe do uso de potenciômetros para coleta de dados (C) .....	58
Figura 16 - Sistema de freios. Interruptores de acionamento de freio estacionário e freio motor (A); sensor de acionamento do freio motor no pedal de freio (B) .....	58
Figura 17 – Conta-giros do caminhão virtual .....	60
Figura 18 - Diagrama de classes do módulo de monitoramento do caminhão virtual.....	62
Figura 19 – Trecho do arquivo de ocorrência criado pelo sistema .....	63
Figura 20 - Relatório final da simulação.....	64
Figura 21 – Pista de adaptação .....	71
Figura 22 - Posição do instrutor, motorista e câmera .....	71
Figura 23 - Tela do <i>check-list</i> inicial.....	72
Figura 24 – Mapa do AV com a indicação dos locais para realização de tarefas.....	73
Figura 25 - Modelo de placa de indicação de tarefas .....	73
Figura 26 - Tempo de simulação .....	74

Figura 27 - Formulário de análise dos dados registrados pelo sistema e pelo instrutor ....	75
Figura 28 - Nível de realismo percebido pelos usuários com relação aos dispositivos físicos do simulador .....	77
Figura 29 - Gráfico da média e desvio padrão do nível de realismo percebido pelos usuários com relação à representação visual do simulador .....	79
Figura 30 - Quantidade de infrações percebidas pelos instrutores que acompanhavam a simulação de um motorista. ....	81
Figura 31 - Nível de presença percebido pelos motoristas durante a utilização do protótipo.....	82
Figura 32 - Ambiente físico da realização dos testes .....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação técnica de rodovias.....	38
Tabela 2 – Geometria de rodovias.....	39
Tabela 3 - Características das estradas brasileiras .....	43
Tabela 4 - Comprimento dos veículos .....	44
Tabela 5 - Peso bruto máximo de veículos de carga.....	45
Tabela 6 - Notas do nível de realismo dos dispositivos físicos do simulador.....	77
Tabela 7 - Notas atribuídas à representação visual do simulador .....	78
Tabela 8 - Quantidade de infrações detectadas durante os testes.....	84
Tabela 9 - Resultados obtidos em <i>p-value</i> com a aplicação de ANOVA com $\alpha=0,05$ .....	85
Tabela 10 - Quantidade de ocorrências detectadas pelo sistema e pelo instrutor nos quesitos de troca de marchas com rotações altas e baixas.....	86
Tabela 11 - Quantidade de ocorrências detectadas pelo sistema e pelo humano com relação à troca de marchas muito rápida.....	87
Tabela 12 - Quantidade de ocorrências detectadas pelo sistema e pelo humano com relação à trafegar com pouco ar de freio .....	88



# SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>21</b>
<b>2. Direção Econômica em Caminhões .....</b>	<b>23</b>
2.1. Por que utilizar direção econômica?.....	23
2.2. Como conduzir de forma econômica .....	24
2.3. Fatores que influenciam para uma direção econômica .....	25
<b>3. Treinamento de Motoristas Profissionais.....</b>	<b>29</b>
3.1. Centros de treinamento de transportadores .....	29
3.2. Métodos de treinamento de motoristas profissionais.....	30
3.3. Metodologia de avaliação da utilização de direção econômica .....	30
<b>4. Simuladores de Direção com Uso de Ambientes Virtuais .....</b>	<b>33</b>
4.1. Tipos de simuladores de direção.....	33
4.2. National Advanced Driving Simulator .....	33
4.3. DLR Driving Simulator .....	34
4.4. CleanDrive Simulator.....	35
4.5. Truck Driver Training Simulator .....	36
<b>5. Características do Sistema de Transporte Rodoviário Brasileiro .....</b>	<b>37</b>
5.1. Rodovias brasileiras .....	37
5.1.1. Classificação técnica de rodovias.....	37
5.1.2. Classificação funcional .....	38
5.1.3. Geometria da rodovia .....	39
5.1.4. Obras de arte.....	40
5.1.5. Sinalização .....	40
5.2. Hierarquia de uma viagem .....	41
5.3. Caracterização das atuais condições das estradas brasileiras .....	43
5.4. Características dos veículos de carga.....	44
5.5. Equipamentos básicos de um caminhão .....	45
5.5.1. Direção .....	45
5.5.2. Câmbio de marchas.....	46
5.5.3. Freios.....	46

5.5.4. Pedais.....	47
<b>6. Protótipo de um Simulador de Direção.....</b>	<b>49</b>
6.1. TORCS - The Open Racing Car Simulator.....	50
6.2. Modelagem do AV.....	51
6.3. Dispositivos de interação.....	54
6.3.1. Câmbio de marchas.....	55
6.3.2. Volante.....	56
6.3.3. Embreagem, acelerador e sistema de freios.....	57
6.3.4. Controle do instrutor.....	58
6.4. Características monitoradas.....	59
6.5. Monitoramento e análise de dados.....	61
<b>7. Avaliação do Protótipo.....</b>	<b>65</b>
7.1. Teste piloto.....	65
7.2. Testes de validação do protótipo.....	67
7.2.1. Treinamento do instrutor para acompanhamento dos testes com os motoristas..	68
7.2.2. Testes com motoristas.....	69
7.2.3. Testes com instrutores de direção econômica.....	75
7.3. Resultados dos testes.....	76
7.3.1. Avaliação dos dispositivos físicos.....	76
7.3.2. Avaliação do AV.....	78
7.3.3. Avaliação da percepção dos instrutores às violações das técnicas de direção econômica realizadas pelo motorista no simulador.....	80
7.3.4. Avaliação da sensação de presença provocada pelo simulador.....	81
7.3.5. Avaliação dos resultados do monitoramento.....	82
7.3.5.1. Quesitos de troca de marchas com rotações altas e baixas.....	85
7.3.5.2. Quesito de troca de marchas muito rápida.....	87
7.3.5.3. Quesito uso incorreto de ponto-morto ou banguela.....	87
7.3.5.4. Quesito trafegar com pouco ar de freio.....	88
7.3.6. Avaliação do relatório emitido pelo sistema.....	88
<b>8. Conclusões e Trabalhos Futuros.....</b>	<b>91</b>
<b>Referências.....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE A - Termo de consentimento livre e esclarecido.....</b>	<b>97</b>

<b>APÊNDICE B</b>	<b>- Protocolo de treinamento do instrutor .....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE C</b>	<b>- Protocolo de testes .....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE D</b>	<b>- Questionário pré-teste .....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE E</b>	<b>- Questionário pós-teste para motoristas.....</b>	<b>109</b>
<b>APÊNDICE F</b>	<b>- Questionário pós-teste para instrutores .....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE G</b>	<b>- Planilha de acompanhamento do instrutor.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>- Formulário de Avaliação de Aulas Práticas do ISETT .....</b>	<b>115</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A falta de motoristas profissionais no Brasil atingiu a casa de 90 mil postos trabalho no ano de 2009, estes números devem-se não à falta de motoristas, mas sim à falta de qualidade deles. As empresas de transporte procuram hoje um profissional da área de transporte e não apenas uma pessoa que saiba conduzir um veículo. Exige-se deste profissional saber relacionar-se com as pessoas, representar a empresa perante seus clientes e ter habilidade para dirigir de forma defensiva e econômica.

Para suprir esta demanda de profissionais surgiram dezenas de entidades no Brasil com o objetivo de capacitar os motoristas que já estão na estrada, e formar novos motoristas que atendam as necessidades do mercado. Os programas de treinamento incluem aulas teóricas e práticas, que buscam aprimorar os conhecimentos dos participantes nos quesitos de relacionamento interpessoal, conhecimento dos caminhões e a correta forma de conduzi-los.

Nas aulas práticas os motoristas em treinamento são colocados para dirigir um caminhão pelas estradas brasileiras, sempre acompanhados de um instrutor, este processo torna-se oneroso para as empresas e perigos para todos os que trafegam pelas estradas, pois o motorista em treinamento ainda não conhece as características do veículo que está conduzindo, provocando alto desgaste de peças e combustíveis, bem como elevando os riscos de provocar acidentes.

Um dos assuntos tratados tanto nas aulas teóricas quanto nas práticas diz respeito ao uso de Técnicas de Direção Econômica, onde o motorista em treinamento recebe dicas de como dirigir um caminhão de forma econômica, reduzindo o consumo de combustível e o desgaste de peças.

Com o uso de realidade virtual é possível colocar o motorista em treinamento dentro de um Ambiente Virtual (AV) e treiná-lo até que ele esteja apto a utilizar um caminhão real sem trazer mais riscos ao trânsito. Além disto, é possível simular situações que o motorista raramente vivenciaria no trânsito por serem perigosas ou simplesmente por não acontecerem com frequência. Outra vantagem do uso de ambientes virtuais no treinamento de motoristas é a possibilidade de monitorar suas ações, fazendo com que ele receba mais treinamentos nos quesitos em que apresente maiores deficiências.

Neste sentido, este trabalho desenvolveu um protótipo de simulador de caminhão, com o objetivo de monitorar violações às Técnicas de Direção Econômica executadas

pelo motorista em treinamento. Para atingir este objetivo foi desenvolvido um AV composto por um percurso com características das estradas brasileiras, onde o motorista dirige um caminhão virtual tendo suas ações monitoradas com relação às técnicas de direção econômica. A fim de melhorar a interação com o AV, desenvolveu-se também um *cockpit* similar a um caminhão, que foi utilizado como dispositivo de entrada de dados, onde o motorista interagia com uma direção, pedais, câmbio de marchas e botões do painel de instrumentos, procurando deixá-lo em um ambiente semelhante àquele que costuma encontrar em um caminhão.

O próximo capítulo apresenta os conceitos necessários para a compreensão do que é direção econômica e os fatores que influenciam sobre ela. As formas de capacitação dos motoristas, bem como as metodologias utilizadas para isto são descritas no capítulo 3. O capítulo 4 apresenta um estudo sobre simuladores de direção e 4 simuladores utilizados em treinamentos. No capítulo 5, são caracterizadas as rodovias brasileiras e os veículos de transporte de cargas. Em seguida, o capítulo 6 descreve como foi desenvolvido o protótipo de simulador de caminhão utilizado neste trabalho, bem como suas características e formas de detecção de ocorrências de violação às Técnicas de Direção Econômica. O capítulo 7 apresenta os testes realizados com o protótipo e seus resultados. Finalizando, o capítulo 8 apresenta as conclusões obtidas através do resultado dos testes com o simulador e mostra também alguns possíveis melhoramentos que podem ser desenvolvidos para dar continuidade às pesquisas e aprimoramento do simulador.

## 2. DIREÇÃO ECONÔMICA EM CAMINHÕES

A direção econômica é um conjunto de técnicas que proporciona redução do consumo de combustível, aumento da vida útil das peças, maior segurança ao motorista e respeito às normas de trânsito.

Neste capítulo são apresentados os motivos que levam as empresas de transporte a adotarem o uso das técnicas de direção econômica em suas frotas, os fatores que influenciam para a utilização de direção econômica e as técnicas que são utilizadas para que se atinja o objetivo de dirigir economicamente.

### 2.1. Por que utilizar direção econômica?

A matriz de transportes brasileira está fortemente ligada ao transporte rodoviário de cargas, segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) 60,49% das cargas são transportadas por meio rodoviário [AGE08a]. Com a utilização deste modal de transporte o alto custo do frete das cargas encarece os produtos comercializados no País. Mesmo com este elevado custo a margem de lucro das empresas de transporte vem sendo achatada com o aumento constante dos insumos utilizados nos veículos.

Para reduzir os custos do sistema de transporte, uma das alternativas é investir na redução do consumo de combustível e do desgaste de peças, pois estes custos correspondem à grande parte do preço final do frete. Testes feitos pelo Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET) concluíram que o consumo de combustível pode variar em até 30% dependendo da forma como o motorista conduz o veículo [PRO08]. Segundo Wanke e Fleury [WAN06] os gastos com combustíveis e lubrificantes, seguido das peças utilizadas na manutenção, são os principais responsáveis pelos elevados custos variáveis quando da formação do preço final do valor do frete.

A redução do consumo e de custos dos fretes pode ser obtida quando aplicadas técnicas de direção econômica. Tais técnicas propiciam economia de combustível, redução de manutenções do veículo e conseqüentemente maior vida útil das peças.

## 2.2. Como conduzir de forma econômica

Para que o motorista conduza um veículo de forma econômica, não basta apenas saber dirigi-lo, deve prestar atenção em diversos detalhes, desde cuidar o local onde para o veículo, até o controle do abastecimento. Biochini [BIO02] fornece diversas dicas para um motorista de como dirigir de forma econômica, como seguem:

- Faça manutenção preditiva todos os dias;
- Planeje a viagem antes de seu início;
- Diminua a pressão do pedal do acelerador quando atingir a velocidade desejada;
- Evite esticar as marchas;
- Dirija com os vidros fechados;
- Mantenha o correto nível do óleo lubrificante;
- Utilize apenas um tipo de óleo no motor;
- Acelere de forma gradativa;
- Mude de marchas no tempo certo;
- Antecipe as freadas e paradas;
- Desligue o motor em paradas longas;
- Evite arrancadas e freadas bruscas;
- Dirija dentro dos limites de velocidade permitidos;
- Desligue o motor sem acelerar o veículo;
- Mantenha o motor do veículo regulado;
- Mantenha os pneus calibrados e alinhados;
- Verifique periodicamente o sistema elétrico e de ignição;
- Evite colocar combustível em excesso;
- Estacione o veículo em local protegido;
- Utilize sempre uma marcha engatada nas descidas;

- Solte a embreagem com suavidade e não trafeque com o pé sobre ela;
- Mantenha as rotações do motor na faixa econômica;
- Não viole o lacre da bomba injetora;
- Não retire a válvula termostática do sistema de arrefecimento.

O conjunto de todas estas dicas representa a essência das técnicas de direção econômica.

### **2.3. Fatores que influenciam para uma direção econômica**

Diversos são os fatores que aumentam o consumo de combustível e desgaste de peças em um caminhão. Para Silveira [SIL03], Stodolsky, Gaines & Vyas [ST000] e Gaines, Vyas & Anderson [GAI06], o consumo está diretamente ligado à forma de condução do veículo e à correta manutenção do mesmo.

Dentre os fatores que levam ao aumento do consumo de combustível e ao maior desgaste de peças destacam-se: excesso de velocidade, uso incorreto das rotações do motor, utilização de marcha incorreta, uso do ponto morto ou banguela<sup>1</sup>, uso incorreto do sistema de freios, falta de manutenção preventiva e preditiva do veículo, má qualidade do combustível, vícios de direção e utilização incorreta dos pneumáticos. A seguir serão detalhadas as consequências provocadas pelo mau uso dos equipamentos relacionados aos fatores acima descritos.

Ao trafegar com o veículo em altas velocidades a resistência do ar aumenta e é necessário mais força para quebrá-la, para isso as rotações do motor devem ser elevadas provocando maior consumo de combustível. Segundo Biochini [BIO02] o consumo de um motor pode aumentar em até 20% quando um veículo aumenta sua velocidade de 80 km/h para 100 km/h. Trafegar com velocidade alta provoca também aumento na temperatura dos pneus, o que aumenta seu desgaste, e está em desacordo com as leis de trânsito brasileiras o que pode acarretar em multas para o condutor. Além disto, o sistema de freios será forçado em demasia no caso de necessidade de seu uso, provocando maior desgaste dos componentes.

---

<sup>1</sup> Utilização de marcha neutra com o veículo em movimento

As rotações do motor devem manter-se dentro da faixa econômica, recomendada pelo fabricante do veículo, nesta faixa o consumo é menor e o motor realiza a força necessária para movimentar o veículo. Quando o motor trabalha com rotações baixas, além de não possuir força suficiente para movimentar o veículo, reduz a lubrificação dos componentes do motor podendo danificá-lo. No caso de rotações altas o consumo é elevado de forma desnecessária, pois para manter as rotações dentro da faixa econômica basta trafegar com a marcha correta engatada.

A troca de marchas deve ser feita de forma a manter as rotações dentro da faixa econômica, normalmente essa troca é feita de forma sequencial. Sempre que o veículo estiver em movimento deve estar com uma marcha engatada, segundo Stodolsky, Gaines & Vyas [STO00], o uso de ponto morto e banguela são grandes vilões no consumo de combustível, além de serem perigosos em caso da necessidade de uma parada de emergência ou falta de freios, pois liberam o motor para trabalhar sem estar controlando a tração dos pneus, deixando o veículo livre.

O sistema de freios de um caminhão é composto por diversos dispositivos, cada um com uma finalidade específica que devem ser utilizados em situações diferenciadas. As freadas devem ser planejadas com antecedência e nunca devem ser realizadas de forma brusca.

A manutenção preventiva deve ser realizada de forma planejada a fim de verificar o estado dos componentes do caminhão. Além dessa manutenção, deve ser realizada a manutenção preditiva, sempre antes do início da viagem. Nesta manutenção o próprio condutor deve verificar alguns itens básicos do veículo, como a pressão dos pneus, a quantidade de óleo de carter, a pressão do ar de freio, entre outros componentes que podem provocar quebra durante a viagem.

Combustível de má qualidade pode trazer problemas para o motor, como formação de borra, causada por má queima ou por resíduos presentes no diesel. Um dos problemas que pode ocorrer com o combustível, mesmo que de boa qualidade, é sua mistura com água, que pode acontecer por sublimação do combustível dentro dos tanques, fazendo-o suar e a água misturar-se com o combustível. Por este motivo os tanques devem estar cheios a noite.

Os vícios de direção são ações que o motorista realiza sem que haja a necessidade e muitas vezes o condutor nem percebe que está realizando tal ação, pois já se tornou automática. Os vícios mais comuns e seus efeitos são:

- **trafegar com o pé sobre a embreagem:** provoca redução da vida útil do disco de embreagem em até 50%;
- **acelerar durante a mudança de marcha ou ao desligar o veículo:** provoca consumo de combustível desnecessário e reduz a lubrificação dos pistões, pois o combustível não queimado irá lavar suas paredes;
- **manter a mão sobre a alavanca de marchas:** provoca atritos no trambulador, que é o componente de ligação entre a alavanca do câmbio de marchas e suas engrenagens, levando à desgaste excessivo do componente;
- **“esquentar” o motor:** provoca consumo de combustível deixar o caminhão ligado e “esquentando”, a forma correta é logo que os reservatórios de ar de freio estiverem cheios, iniciar a movimentação.

Os pneus são a única parte do caminhão que toca o solo, por este motivo devem estar sempre em bom estado e com a pressão correta. Trafegar com pressão baixa nos pneus acarreta um grande desgaste da banda de rodagem e das laterais do pneu. Já, o excesso de pressão, provoca trepidação na direção e reduz a estabilidade do veículo. Além da pressão dos pneus deve-se utilizar o tipo correto de pneu para cada caminhão e carreta, dependendo do peso utilizado e condições da estrada.



### **3. TREINAMENTO DE MOTORISTAS PROFISSIONAIS**

Para que os motoristas possam fazer uso das Técnicas de Direção Econômica é necessário que recebam treinamento especializado. Este treinamento é realizado pelas próprias empresas de transporte ou por centros de treinamento disponíveis nas principais regiões do Brasil. Esta seção é iniciada com a apresentação de um breve histórico dos centros de treinamento de transportadores, em seguida mostra as formas de treinamento utilizadas e é finalizada com a apresentação da avaliação utilizada em um centro de treinamento.

#### **3.1. Centros de treinamento de transportadores**

A partir de meados da década de 1980 o treinamento de motoristas profissionais passou a ser considerado como necessário e estratégico por parte das empresas de transporte. A imagem que se tinha até então de um caminhoneiro era a de um profissional com baixa escolaridade, sem modos para se relacionar com as pessoas e com pouco cuidado com a higiene pessoal. Quando as empresas começaram perceber que o motorista é o primeiro contato pessoal entre ela e o cliente, passaram a tomar mais cuidados na hora da contratação e começaram a surgir cursos para treinamento de motoristas profissionais.

Em 1995, surgiu na cidade de Concórdia/SC, um projeto pioneiro para o treinamento de motoristas, o programa Caminhão-Escola. Desde então dezenas de outros centros de treinamento de motoristas profissionais foram implantados em todas as regiões do Brasil [SCA08]. Do projeto Caminhão-Escola nasceu, no ano de 2005, a primeira faculdade de tecnologia no transporte da América Latina, a FATTEP (Faculdade de Tecnologia no Transporte Pedro Rogério Garcia) que atualmente forma, além de motoristas, gestores de empresas de transporte.

No ano de 2008 o Governo Federal por meio da ANTT (Agência Nacional de Transporte Terrestre) editou uma resolução [AGE08b] com a finalidade de definir diretrizes básicas para os cursos oferecidos na área de educação para transportadores profissionais. Nela são contemplados os módulos de conhecimentos básicos no setor de cargas, legislação específica no transporte de cargas, procedimentos operacionais de

transporte de cargas e qualidade na prestação de serviços de cargas.

### **3.2. Métodos de treinamento de motoristas profissionais**

De forma geral todos os centros de treinamento realizam cursos que são distribuídos em aulas teóricas e práticas. Estas últimas são divididas em aulas de direção no caminhão e oficina mecânica básica. A carga horária e os conteúdos ministrados variam de acordo com o projeto pedagógico de cada curso. Porém, é possível perceber alguns pontos em comum nas várias abordagens. Na parte teórica, por exemplo, são ministrados conteúdos relacionados à formação pessoal e profissional. Na formação pessoal são estudadas formas de melhorar o relacionamento interpessoal dos motoristas e, na formação profissional, são estudadas as novas tecnologias embarcadas nos caminhões, mecânica e técnicas de direção defensiva e econômica. Na parte prática o motorista em treinamento é capacitado primeiro em oficinas de mecânica e a seguir, dentro de caminhões. Durante esta última fase o motorista em treinamento e o instrutor realizam viagens em estradas que possibilitam vivenciar diversas situações que podem ocorrer em viagens.

As questões relacionadas à direção econômica são muito exploradas com o objetivo de diminuir o consumo de combustível e o desgaste de peças.

As aulas práticas tem se constituído no principal fator do reduzido número de motoristas treinados, pois são individuais e utilizam por longos períodos os poucos veículos e instrutores capacitados para ministrá-las, formando um gargalo para acesso ao caminhão por parte dos motoristas em treinamento advindos das aulas teóricas. Outro problema é o fato de que as aulas práticas expõem os motoristas em treinamento ao trânsito sem que estes conheçam todas as características do caminhão, o que pode provocar situações inesperadas e perigosas.

### **3.3. Metodologia de avaliação da utilização de direção econômica**

Cada centro de treinamento utiliza formas diferentes para avaliar o aluno. Para o desenvolvimento deste trabalho foi verificado *in-loco* como o Instituto Serrano de Educação no Trânsito e Transporte (ISETT) realiza este processo. A avaliação da forma

como o motorista conduz o caminhão é realizada de forma subjetiva pelo instrutor que o acompanha, sendo que este utiliza uma planilha (ANEXO A) onde registra os eventos que consegue captar durante os trajetos de treinamento. Porém, é praticamente impossível que o instrutor consiga monitorar todas as ações do motorista durante todo o treinamento, que pode chegar a 3000 km e ter até uma semana de duração.



## 4. SIMULADORES DE DIREÇÃO COM USO DE AMBIENTES VIRTUAIS

Nas seções a seguir serão identificadas as classes de simuladores de direção e apresentados 4 simuladores de direção utilizados em pesquisas. Estes simuladores foram selecionados por apresentarem características consideradas ideais para a implantação de um simulador de caminhão, tais como, alto grau de imersão, monitoramento de veículos, movimentação real do usuário e caracterização de ações realizadas em caminhões.

### 4.1. Tipos de simuladores de direção

Atualmente são dois os caminhos seguidos pelos desenvolvedores de simuladores de veículos em todo o mundo, **simuladores com propósitos comerciais e simuladores para pesquisa e desenvolvimento de funções específicas** [ALL05]. Em ambos os casos faz-se uso de AVs para proporcionar maior grau de realismo à experiência de pilotar um veículo virtual.

Os simuladores de propósito comercial estão geralmente associados a jogos de corrida de carros que utilizam AVs *desktop* e possuem como finalidade o entretenimento. Nesta categoria existem também AVs mais elaborados que utilizam ambientes imersivos, como CAVEs e HMDs, alguns para entretenimento [AUG06], outros para fins educacionais [ASS06] e terapêuticos [PAI07].

Já os simuladores destinados à pesquisa e desenvolvimento procuram manter o controle sobre as ações do condutor [PER07] [SUI05] e, neste caso, o realismo é imprescindível para que se possam obter resultados satisfatórios. São inúmeras as iniciativas em todo o mundo, que buscam simular ambientes de direção controlados voltados para treinamento de motoristas. Estes sistemas são compostos por *hardware* e *software* específicos para atender às necessidades das linhas de pesquisa.

### 4.2. National Advanced Driving Simulator

Desenvolvido em 1996, pela Universidade de Iowa, o *National Advanced Driving Simulator* (NADS) vem sendo aperfeiçoado até os dias de hoje. O NADS insere o usuário

em um ambiente com alto grau de imersão, utilizando 15 projetores de alta resolução, proporcionando 360° de visão horizontal de 40° de visão vertical, dentro de uma CAVE, onde o usuário pilota um veículo totalmente monitorado [RAI03]. Dentro do AV o usuário é capaz de sentir as acelerações e frenagens, além de possuir uma real sensação de distância e deslocamento. Segundo Arjona e Menéndez [ARJ05] este é um dos simuladores de veículo mais avançado da atualidade. A Figura 1, à esquerda, apresenta uma visão externa do NADS onde se pode ver uma espécie de esteira sobre a qual a cabine é movimentada no plano horizontal. Com o uso de pistões a cabine reproduz as movimentações na vertical, além de simular inclinações. À direita, é apresentado o interior da cabine do NADS, ela possui um veículo real totalmente monitorado e um telão que reproduz imagens 2D do cenário externo ao veículo.



Figura 1 – NADS, à esquerda, a cabine e os dispositivos de movimentação, à direita, os componentes internos da cabine com um veículo monitorado e uma tela de projeção

Fonte: [ARJ05]

### 4.3. DLR Driving Simulator

O *DLR Institute of Transportation System* lançou em abril de 2005 um simulador para avaliar o comportamento de motoristas em situações de trânsito reais. Este simulador é composto por um veículo inserido em uma cabine, onde as imagens são apresentadas de forma estereoscópica em um telão que possibilita 270° graus de visão horizontal e 40° de visão vertical [SUI05], proporcionando alto grau de imersão ao usuário. A Figura 2 apresenta a visão externa do simulador. A plataforma onde a cabine está instalada possui movimentos nos eixos x, y e z, o que provoca inclusive a sensação dos movimentos do veículo dentro do simulador [SUI05]. Diversos tipos de veículos podem ser inseridos, porém, veículos de grande porte não são suportados.



#### 4.5. Truck Driver Training Simulator

O Departamento de Transporte da Inglaterra desenvolveu o *Truck Driver Training Simulator* (TDTS) que é composto por uma cabine de caminhão e uma tela de projeção que oferece aproximadamente 210° de visão do ambiente simulado em uma tela côncava (Figura 4). A cabine é inserida em uma plataforma que possui um sistema hidráulico de pistões que reproduz o movimento do caminhão na estrada, como por exemplo, as curvas, o relevo do terreno e solavancos quando passa por buracos. O veículo é monitorado através de um *software* que registra as ações do motorista em cada ponto da estrada, sendo possível assim detectar vícios de direção que o motorista possui [ARJ05].

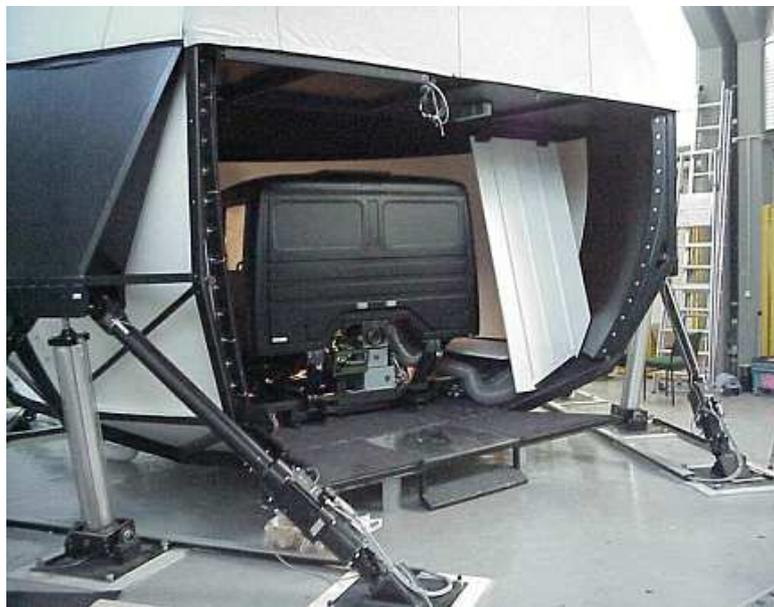


Figura 4 - *Truck Driver Training Simulator*

Fonte: <http://www.trucksim.co.uk/Documents/TrucksimGeneralPresentation.pdf>, acessado em 14 fev. 2009.

## 5. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO BRASILEIRO

As estradas brasileiras possuem características específicas que as diferem das estradas de outros países, principalmente com relação à qualidade do pavimento e à largura da pista de rolamento. A construção de rodovias no Brasil segue normas estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transportes (DNIT), antigo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) [PEL06]. Com relação aos veículos de carga, o Brasil possui legislação específica, e sua regulamentação é feita pelo Conselho Nacional de Transito (CONTRAN).

Como o objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de simulador de direção para caminhões para ser utilizado no Brasil, este capítulo apresenta as principais características das estradas brasileiras e dos caminhões que trafegam por elas.

### 5.1. Rodovias brasileiras

As rodovias brasileiras são projetadas com base em um veículo de projeto [BRA99a], que classifica os veículos dentro de grupos com dimensões similares, no fluxo de veículos da região e no relevo do terreno onde é construída. As rodovias podem ser classificadas de acordo com critérios **técnicos** ou **funcionais**. Na classificação técnica levam-se em consideração os serviços que a rodovia deve oferecer e suas características geométricas. Na classificação funcional considera-se a necessidade de gestão, planejamento e construção da rodovia.

#### 5.1.1. Classificação técnica de rodovias

Na classificação técnica, as rodovias são agrupadas de acordo com sua dimensão e configuração espacial. O principal fator utilizado para este tipo de classificação é o volume de tráfego que a rodovia suporta em um determinado período de tempo, medido em Veículos por Dia (VPD), para que possa manter um bom nível de serviços aos usuários. A Tabela 1 apresenta as classes de rodovia de acordo com sua

classificação técnica baseada no número de veículos que trafegam pela via.

**Tabela 1 - Classificação técnica de rodovias**

Classe	Características		Critério de classificação
0	Via expressa, controle total de acessos		Decisão administrativa
I	A	Pista dupla, controle parcial de acessos	Pista simples resultaria em nível de serviços inferior ao aceitável
	B	Pista simples	Volume de tráfego maior de 1400 VPD
II	Pista simples		Volume de tráfego entre 700 e 1400 VPD
III	Pista simples		Volume de tráfego entre 300 e 700 VPD
IV	A	Pista simples	Volume de tráfego entre 50 e 200 VPD
	B	Pista simples	Volume de tráfego inferior a 50 VPD

Fonte: [BRA99a].

### 5.1.2. Classificação funcional

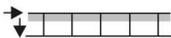
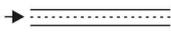
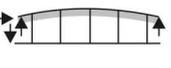
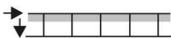
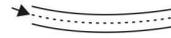
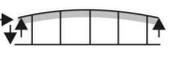
As rodovias são classificadas por sua funcionalidade levando em consideração a quantidade de veículos que nela trafegam, a velocidade de referência que estes podem atingir para realizar uma viagem com qualidade e o tamanho da rodovia. Segundo Lee [LEE00], uma rodovia pode ser classificada, de acordo com sua funcionalidade, dentro de três Sistemas Funcionais:

- **Sistema Arterial:** compreende rodovias com grande volume de tráfego e que propiciam alto nível de mobilidade, ou seja, possuem facilidade de deslocamento, seja em número de veículos em movimento, seja em termos das velocidades por eles praticadas. Ligam cidades de grande porte e são projetadas para viagens longas;
- **Sistema Coletor:** é composto por rodovias que operam com velocidades inferiores às arteriais, ligam as rodovias do Sistema Local ao Arterial, seu tamanho é inferior às rodovias Arteriais e possuem um misto das funções de mobilidade e de acesso;
- **Sistema Local:** são rodovias de curta extensão que servem para conectar pequenas localidades ao sistema coletor, possui pouca mobilidade e um pequeno volume de tráfego.

### 5.1.3. Geometria da rodovia

O traçado de uma rodovia define a sua geometria e deve ser tratado como uma forma tridimensional, contínua, e de fluentes e gradativas mudanças de direção [BRA99a]. Uma rodovia vista horizontalmente (visão planimétrica) é composta por tangentes (retas) e curvas e, quando vista verticalmente (visão altimétrica) é composta por retas, aclives e declives. A combinação da visão planimétrica com a altimétrica forma a rodovia no espaço, proporcionando seis possíveis combinações de segmentos, apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Geometria de rodovias**

Perfil Planimétrico	Perfil Altimétrico	Elemento Geométrico
 Tangente	 Reta	 Reta com inclinação constante
 Tangente	 Aclive	 Baixada numa reta
 Tangente	 Declive	 Cume numa reta
 Curva	 Reta	 Curva com inclinação constante
 Curva	 Aclive	 Baixada numa curva
 Curva	 Declive	 Cume numa baixada

Fonte: [DEP00].

O relevo do terreno influencia na velocidade de tráfego dos veículos e, em alguns casos, exige a presença de faixas adicionais para proporcionar um melhor fluxo no

trânsito. Este relevo pode ser classificado em **plano**, **ondulado** ou **montanhoso**. Um terreno é plano quando possui diferença de altitude igual ou inferior a 8% de seu comprimento, ou seja, em 100m pode haver uma diferença de até 8m na altitude. Nos terrenos ondulados a elevação é de 9% a 20% e, nos terrenos montanhosos a elevação é superior a 20% [LEE00]. Neste último é imprescindível a presença de pistas adicionais para melhorar a velocidade da via, tendo em vista que veículos pesados operam em baixas velocidades nestes trechos.

A **pista de rodagem** é definida de acordo com a classe da rodovia, o tipo de veículo de projeto e o relevo do terreno. Uma pista de rodagem é composta por uma ou mais faixas de rolamento que possuem dimensão mínima variando de 2,5m a 3,6m, sem limites para largura máxima [LEE00]. Paralelo à pista de rodagem está o acostamento que é destinado à parada emergencial de veículos, não sendo, em geral, dimensionado para suportar o trânsito de veículos. Sua largura varia de 0,5m a 3,5m [PEL06].

#### 5.1.4. Obras de arte

As obras de arte são dispositivos projetados e construídos para sobrepor barreiras físicas, tais como, rios, lagos, desníveis topográficos ou outras vias de transporte [CNT07]. As obras de arte mais conhecidas são as pontes, túneis e viadutos. No caso de túneis e viadutos estes devem manter uma altura compatível com o tipo de veículo que trafega pela via. As pontes mantêm o mesmo traçado da rodovia e, em alguns casos, pode sofrer redução de largura, principalmente no acostamento, que só existe em pontes de rodovias de classes mais altas.

#### 5.1.5. Sinalização

A sinalização das rodovias é feita de duas formas: **horizontal** e **vertical**. A horizontal compreende as indicações pintadas sobre a pista de rolagem e a vertical diz respeito às placas laterais e painéis suspensos sobre a rodovia. A sinalização segue padrões definidos no Manual de Sinalização Rodoviária [BRA99b].

A sinalização horizontal tem como finalidades básicas a canalização do fluxo de tráfego, complementação da sinalização vertical (principalmente as de regulamentação e

advertência) e, nos casos onde não seria eficaz a utilização de outros dispositivos, a sinalização horizontal pode servir como meio de regulamentação, ou seja, de proibição [BRA99b]. Dentre os sinais horizontais destacam-se as marcações de limites das faixas de rolagem, que indicam se é permitida, linha tracejada, ou proibida, linha contínua, a mudança de faixa. A cor das linhas também influencia na sinalização, quando é relacionado ao mesmo sentido da via, as linhas são pintadas de branco, e quando são em sentido oposto são pintadas de amarelo.

A sinalização vertical tem como finalidades básicas a regulamentação da via, advertência ao motorista para situações de perigo em potencial e fornecimento de informações ao condutor [BRA99b]. Os painéis ou placas devem estar expostos dentro do campo de visão do motorista, no caso das placas, sempre do lado da faixa de rolagem do veículo a 1,20m do solo e, no caso de painéis, a uma altura mínima de 6,50m. As placas são separadas em classes funcionais, que possuem cores e formas diferentes entre si, são elas: vermelho, para sinais de regulamentação; amarelo, para sinais de advertência; verde, para sinais de indicação; azul, para sinais de serviços auxiliares e; branco, para sinais de educação. O modelo das placas também diferencia as classes, a Figura 5, apresenta os modelos básicos de placas.



Figura 5 - Classes funcionais das placas

## 5.2. Hierarquia de uma viagem

Segundo o DNIT [BRA99a] um roteiro de viagem de longa distância é composto

por diversas etapas hierarquicamente distribuídas, conforme apresentado na Figura 6, onde, o ponto **O** representa a origem da viagem e o ponto **D** o destino.

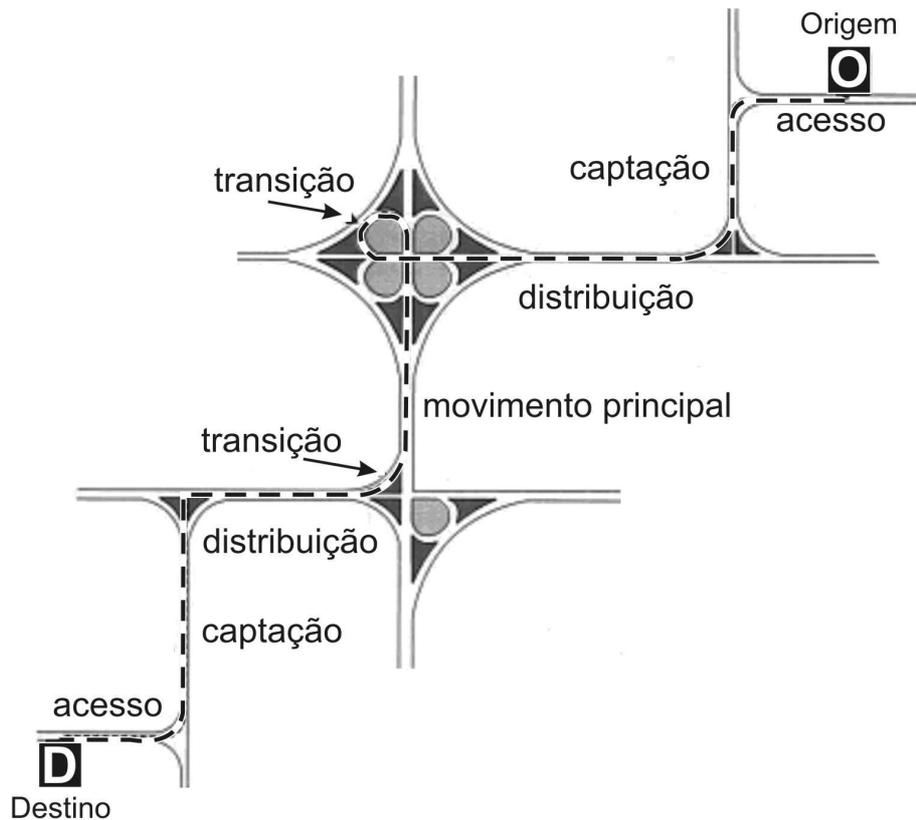


Figura 6 - Roteiro básico de viagem  
Fonte: [BRA99A].

Neste modelo pode-se perceber que os trechos no início e fim do percurso são classificados como sendo de acesso, onde é predominante a presença de rodovias do Sistema Local. O segundo trecho da viagem dá-se em uma via do Sistema Coletor, que na Figura 6 é indicada como trecho de captação, onde diversas vias de acesso conectam-se. A terceira etapa da viagem processa-se dentro das vias do Sistema Arterial, com maior volume de tráfego e empregando maiores velocidades. Neste caso, têm-se os estágios de distribuição e transição, neste último estão enquadradas as interseções, com trevos e viadutos. Por último estão as rodovias de alto padrão onde é realizado o movimento principal da viagem, normalmente em pistas duplas com acessos controlados, ligando grandes centros e com possibilidade de praticar altas velocidades.

Observando a Figura 6 percebe-se que iniciando a viagem no ponto de origem ou no ponto de destino a hierarquia dos trechos do percurso permanece a mesma, ou seja, a viagem inicia em uma via de acesso, em seguida utiliza uma via de captação, logo após uma via de distribuição e uma de transição, que a leva à via de movimento principal, deste ponto em diante segue a hierarquia inversa, ou seja, vias de transição, distribuição, captação e acesso até chegar ao destino.

### 5.3. Caracterização das atuais condições das estradas brasileiras

A Confederação Nacional do Transporte (CNT), o Serviço Nacional do Transporte (SEST) e o Serviço Nacional de Aprendizagem no Transporte (SENAT) realizam anualmente uma pesquisa sobre as condições das rodovias pavimentadas brasileiras, o resultado da pesquisa de 2007 está publicado no **Relatório Geral de Pesquisa Rodoviária** [CNT07]. Do total aproximado de 165000 km de estradas brasileiras pavimentadas a pesquisa visitou 87592 km, ou seja, aproximadamente 53% da malha viária brasileira, contemplando trechos de rodovias de todos os estados brasileiros. Neste relatório são apresentados dados referentes à qualidade do pavimento, da sinalização e da geometria das rodovias. A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados da pesquisa da CNT.

**Tabela 3 - Características das estradas brasileiras**

<b>Característica</b>	<b>Ótimo</b>	<b>Bom</b>	<b>Ruim</b>
Pavimento	45,5%	35,8%	18,7%
Sinalização	34,6%	34,3%	31,1%
Geometria	22,7%	56,5%	20,8%

Fonte: [CNT07].

Os pavimentos classificados como “ótimo”, possuem perfeitas condições, sem a presença de buracos e sem trepidação dentro do veículo. Já os classificados como “bom”, apresentam os primeiros sinais de desgaste com trincas, remendos e ondulações, provocando trepidação, porém, sem buracos. Os trechos classificados como “ruim”, apresentam afundamentos e ondulações, com a presença constante de buracos, o que obriga a redução de velocidade.

No quesito sinalização, os trechos classificados como “ótimo”, possuem pintura das faixas visíveis e placas em boas condições. Já os trechos onde a sinalização é classificada como “bom”, a pintura das faixas está desgastada ou de forma incompleta, mesmo assim é possível identificá-las e as placas estão presentes em grande parte do trecho, porém oclusas por vegetação ou danificadas. Nos trechos classificados como “ruim”, a sinalização horizontal e vertical inexistente ou está seriamente danificada comprometendo a segurança dos motoristas.

A geometria da rodovia é classificada como “ótimo”, quando não obriga a reduções de velocidade, possui predominância de trechos em tangentes e está em regiões planas ou onduladas. Quando o trecho é classificado como “bom”, indica a obrigação de redução de velocidade, possui predominância de curvas ou está em regiões onduladas e montanhosas com a presença de faixa adicional. Já a classificação “ruim”, indica que a velocidade do trecho é baixa, com a presença de curvas acentuadas ou com regiões de terreno montanhoso, sem a presença de faixa adicional.

#### 5.4. Características dos veículos de carga

No Brasil, o Conselho Nacional de Transito (CONTRAN) [CON06] é o responsável por estabelecer as características dos veículos de transporte terrestre. Com relação às dimensões dos veículos o CONTRAN determina que a largura máxima seja de 2,60m e a altura máxima de 4,40m. O comprimento dos veículos varia de acordo com o número de eixos e a finalidade do transporte. Na Tabela 4 são apresentados os comprimentos máximos permitidos em face da finalidade do veículo.

**Tabela 4 - Comprimento dos veículos**

<b>Tipo</b>	<b>Comp. Max. (m)</b>
Não-articulado	14,0
Não-articulado de transporte coletivo urbano	15,0
Articulado de transporte coletivo	18,6
Articulado com duas unidades	18,6
Articulado com duas ou mais unidades	19,8

Fonte: [CON06].

Silveira [SIL03] classifica os veículos com nomenclaturas mais comuns entre os caminhoneiros, mas mantendo as mesmas características determinadas pelo CONTRAN, são elas:

- **Caminhão:** não-articulado;
- **Carreta:** articulado com um cavalo mecânico e um reboque;
- **Conjugado:** articulado com um caminhão e um reboque;
- **Bitrem:** articulado com um cavalo mecânico e dois semi-reboques;

- **Tritrem:** articulado com um cavalo-mecânico e três semi-reboques;
- **Rodotrem:** combinação de um veículo articulado e um reboque;
- **Treminhão:** combinação de um caminhão com dois reboques.

O peso bruto, veículo + carga, também é regulamentado no Brasil. Cada veículo pode possuir peso em função do número de eixos que possui e da distância entre eles. A Tabela 5 apresenta os limites de peso dos principais veículos de transporte brasileiros.

**Tabela 5 - Peso bruto máximo de veículos de carga**

<b>Veículo</b>	<b>Peso Max. (T)</b>
Caminhão	29,0
Carreta	39,5
Bitrem	45,0

Fonte: [CON06].

## **5.5. Equipamentos básicos de um caminhão**

Para dirigir um caminhão é necessário que o motorista conheça as características básicas dos equipamentos que influenciam na direção. Apenas os equipamentos relevantes para atender ao escopo deste projeto serão apresentados, são eles: a direção, o cambio de marchas, os freios e os pedais. A seguir serão apresentadas as principais características dos equipamentos acima citados.

### **5.5.1. Direção**

O sistema de direção de um caminhão é formado pelo volante e pela coluna de direção. As dimensões do volante variam de acordo com cada modelo de caminhão, normalmente para esterçar completamente são necessárias até 5 voltas completas do volante. Acoplado ao volante estão os manetes das setas de direção e do limpador de pára-brisa.

### 5.5.2. Câmbio de marchas

O câmbio de marchas é composto internamente por um conjunto de engrenagens que fazem com que o motor execute mais ou menos força, dependendo da marcha engatada, e, externamente por uma alavanca de marchas. Geralmente o câmbio é composto por duas caixas, a baixa e a alta. Na caixa baixa estão as marchas que produzem mais força e menos velocidade e na caixa alta as marchas com menos força e mais velocidade. Para executar a mudança de caixa de marchas deve ser acionado um botão presente na alavanca de marchas, chamado de *shift*, que, só executa a operação quando a transmissão passa pelo ponto neutro. Alguns modelos de caminhão possuem ainda uma caixa normal e uma reduzida, neste caso, a caixa reduzida produz efeito similar ao de utilização de meia marcha adicional.

### 5.5.3. Freios

O sistema de freios de um caminhão é formado por diversos componentes, entre eles os botijões de ar, o freio-motor, o freio de serviço e o freio estacionário. Além desses componentes, no caso de veículos articulados existe também o freio dos reboques.

Para que os freios funcionem é necessário que os botijões de ar estejam com carga suficiente para executar pressão sobre as lonas de freio. Normalmente os caminhões possuem dois botijões de ar, um para o freio dianteiro e outro para o traseiro, cada um com capacidade de armazenar até 10kg. Os freios começam a apresentar problemas quando o ar fica abaixo de 6kg, e, ao atingir 4kg, os freios ficam sem efeito. A carga dos botijões é feita sempre que o motor está ligado, sendo injetadas pequenas quantidades a cada instante.

O freio de serviço, acionado pelo pedal de freio, é o mais utilizado, neste caso todas as rodas são afetadas pelo freio e existe um alto consumo de ar quando está sendo utilizado. O freio estacionário é acionado através de uma manopla no painel do caminhão e é utilizado quando o caminhão está parado, neste caso todas as rodas do caminhão são travadas e o caminhão não se movimenta.

O freio-motor é um dispositivo que faz com que o motor passe a exercer força contrária e com isso reduz a velocidade do caminhão, porém, este tipo de freio não para o

caminhão e só tem efeito quando as rotações do motor estão elevadas. O freio-motor é ligado através de uma chave no painel do caminhão e seu efetivo acionamento ocorre de formas diferenciadas dependendo da marca do caminhão, em alguns ele é acionado quando o pedal de freio é levemente pressionado, em outros, quando o acelerador não está sendo pressionado.

No caso de veículos com reboque existe também o freio de reboque. Este freio é acionado por uma manopla de forma independentemente dos demais freios, podendo ser utilizado em conjunto com eles. Normalmente este freio é utilizado quando a carreta está em descidas e começa a deslizar com risco de formar um “L”.

#### 5.5.4. Pedais

Um caminhão possui 3 pedais de comando: acelerador, embreagem e freio. O acelerador é responsável por injetar mais ou menos combustível no motor, dependendo da força com que é pressionado. A embreagem é utilizada para realizar a troca de marchas e, o freio é utilizado para parar o caminhão ou acionar o freio-motor.



## 6. PROTÓTIPO DE UM SIMULADOR DE DIREÇÃO

Para demonstrar a aplicação da metodologia para monitoramento de direção econômica proposta neste trabalho é necessário o desenvolvimento de um simulador de direção com *hardware* e *software* específicos.

Para desenvolver um simulador de direção com propósito de avaliação de direção econômica deve-se levar em conta o grau de imersão necessário para que os usuários sintam-se dentro do AV. Neste contexto, o grau de imersão refere-se ao tipo de equipamento que o usuário utiliza para interagir com o AV, estes equipamentos têm por objetivo colocar o usuário “dentro” do AV [PIN02]. Além disso, deve-se considerar o grau de realismo necessário para a realização das tarefas que são monitoradas. Pensando assim, é necessário que o motorista ao utilizar o simulador interaja com equipamentos similares aos de um caminhão real e sinta-se livre para realizar os movimentos de interação com estes equipamentos da forma mais natural possível.

Com relação aos projetos de simulador apresentados no capítulo 4, eles possuem as características descritas acima, porém, não servem aos propósitos deste trabalho, pois eles possuem um alto custo de instalação e manutenção sendo inviável realizar alterações em suas estruturas com o objetivo de monitorar os aspectos de direção econômica.

Para o desenvolvimento deste protótipo realizou-se uma pesquisa entre simuladores de direção de código aberto buscando-se um *software* para ser utilizado como base para a implementação do AV e que possibilitasse o controle de novos dispositivos de entrada de dados, para esta finalidade optou-se por utilizar o TORCS, *The Open Racing Car Simulator* [CHR08].

O protótipo do simulador foi construído em 3 fases distintas: a modelagem do ambiente virtual utilizado, o desenvolvimento da interface física para coleta de dados e, o monitoramento e análise dos dados gerados pelo usuário. Cada uma destas fases é detalhada a seguir.

Nas próximas seções serão apresentadas algumas características do TORCS e detalhadas as fases de desenvolvimento do protótipo.

## 6.1. TORCS - The Open Racing Car Simulator

O TORCS é um simulador de corrida de carros de propósito comercial com código aberto e baseado em AV desktop [CHR08]. Nele o usuário pilota um carro com o uso de *joystick*, *mouse* ou teclado, contra oponentes controlados pelo computador através de Inteligência Artificial. Possui uma *engine* de física de boa qualidade capaz de representar colisões e os efeitos da gravidade sobre a aceleração dos veículos. É um sistema multiplataforma e pode ser compilado em Linux, PowerPC, FreeBSD e Windows [BRA08], é desenvolvido em linguagem C++ com o uso de bibliotecas gráficas no padrão OpenGL e possui um gerador de pistas. A Figura 7 apresenta uma tela do TORCS, nela é possível visualizar conta-giros, velocímetro, mapa do circuito e informações do carro com relação à corrida.

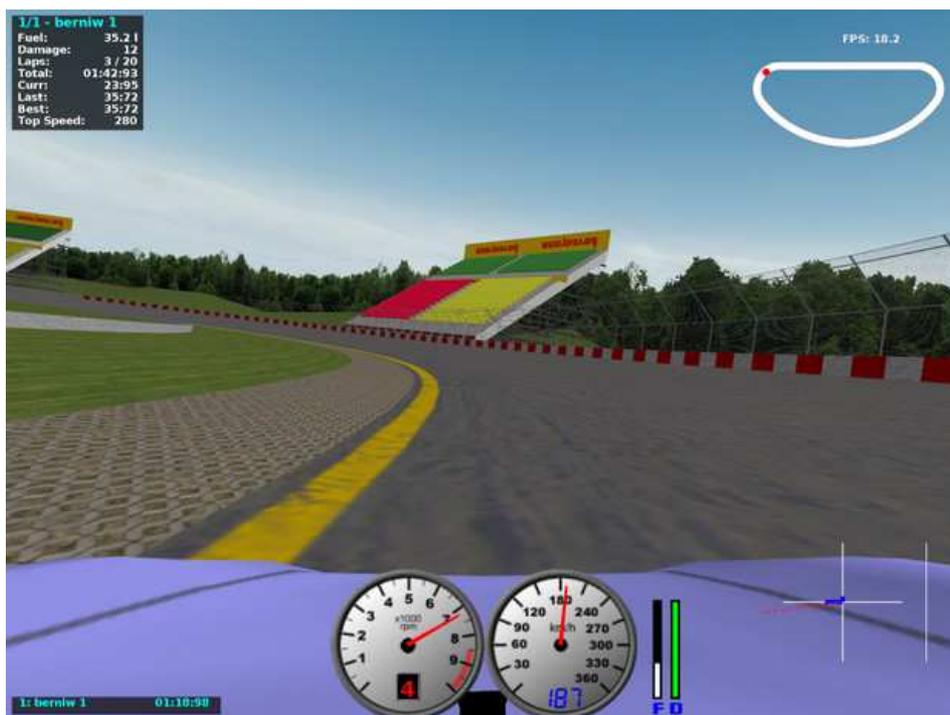


Figura 7 - Tela do TORCS

Fonte: <[www.berniw.org/trb/gallery/sshot\\_view.php?viewshotid=176&shotrowid=37](http://www.berniw.org/trb/gallery/sshot_view.php?viewshotid=176&shotrowid=37)>

O TORCS se apresenta como alternativa viável para ser utilizado como base do sistema do simulador, necessitando inserir, em seu núcleo, o reconhecimento de dispositivos de entrada de dados semelhantes aos controles de um caminhão (pedais, câmbio, chaves, etc...) e um módulo de controle e monitoramento das ações do usuário. Outra característica interessante do TORCS é o fato de possuir um gerador de pistas de

corrida que pode ser adaptado para a criação básica dos caminhos utilizados nos cenários.

## 6.2. Modelagem do AV

Para a etapa de modelagem do AV foi desenvolvido um trajeto a ser percorrido pelo usuário com características compatíveis com as estradas brasileiras, e também definido um modelo de caminhão para a realização da simulação.

Na construção do percurso de teste foram utilizados dados das estradas brasileiras apresentadas no capítulo 5. Com base nestes dados foram definidas as características e tipos de estrada que deveriam ser simuladas a fim de espelhar a realidade da malha viária brasileira. Na Figura 8 estão representadas as características do relevo das estradas que foram utilizadas para o desenvolvimento do percurso de teste.

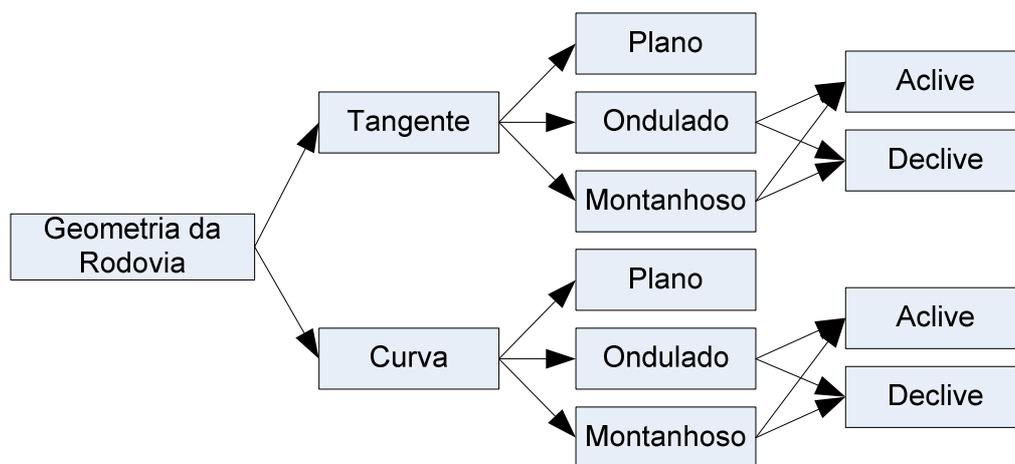


Figura 8 - Combinação das características da geometria das rodovias

Para a realização dos testes foi desenvolvida uma pista com aproximadamente 13km de extensão que cobre as principais características de rodovias existentes no Brasil de acordo com as características já apresentadas na Tabela 3 e na Figura 8. Além disso, foram inseridas situações que exigem que o usuário faça uso de técnicas de direção econômica, como por exemplo, percurso em perímetro urbano, com a presença de cruzamentos, velocidade reduzida e faixas de pedestres (Figura 9), lombadas tradicionais (Figura 10) e lombadas eletrônicas. Estes itens foram solicitados por instrutores de direção econômica do ISETT, que forneceram as informações necessárias para a construção da lógica do simulador. A pista foi desenvolvida com o auxílio do gerador de

pistas do TORCS, porém com este gerador não é possível criar cruzamentos, nem entroncamentos, ou seja, a pista é sempre circular e o usuário não pode escolher seguir por um caminho alternativo em um cruzamento. Para resolver estes problemas foi inserida uma camada de dados que possibilitou a construção de cruzamentos e a possibilidade da escolha de caminhos alternativos por parte do usuário.



Figura 9 - Cruzamento em um perímetro urbano com faixa de pedestres



Figura 10 – Lombada tradicional

Nesta nova camada de dados também foram inseridos identificadores para determinar o relevo de cada trecho da pista (plano, aclive ou declive), a presença ou não de faixa adicional e a velocidade máxima permitida.

Com a pista gerada foi necessário melhorar sua qualidade de apresentação gráfica para ser utilizada no AV, pois com a existência de cruzamentos o gerador de pista não conseguia criar os cenários ao lado da pista, como por exemplo, a presença de montanhas ou até mesmo um solo normal. Para isso utilizou-se o editor gráfico 3D Blender [BLE09], que possui um *plug-in* para exportação de dados para o formato aceito pelo TORCS.

Durante a simulação a visão que o usuário possui do AV é apresentada na Figura 11. Nesta imagem são representadas algumas características da pista e outras do caminhão virtual, tais como: espelho retrovisor (A); placa de limite de velocidade (B); tempo de simulação (C); medidor de ar de freio (D); conta-giros (E); velocímetro (F); indicador do uso de caixa reduzida (G); indicador de uso de freio estacionário (H); indicador de uso de freio motor (I). Neste exemplo os indicadores de caixa reduzida, freio motor e freio estacionário estão desligados. Quando a caixa reduzida está ligada seu indicador aparecerá na cor verde, caso o freio motor seja acionado será representado também na cor verde e, caso o freio estacionário seja acionado, ele será representado na cor vermelha.

O veículo utilizado no simulador também foi modelado com o auxílio do Blender e posteriormente configurado através de um arquivo XML no padrão utilizado pelo TORCS. As características do veículo correspondem a um caminhão com dimensões de 2,60m de largura, 12,20m de comprimento e 4,40m de altura, possui peso bruto total carregado de 29 Toneladas, com 400hp de potência e faixa de torque entre 1100 e 1600 RPMs (rotações por minuto). O sistema de marchas do caminhão possui 14 marchas para frente, distribuídas em duas caixas (alta e baixa) além da caixa reduzida, e, 2 marchas para trás. Possui também configurações referentes ao freio-motor e ao freio estacionário.

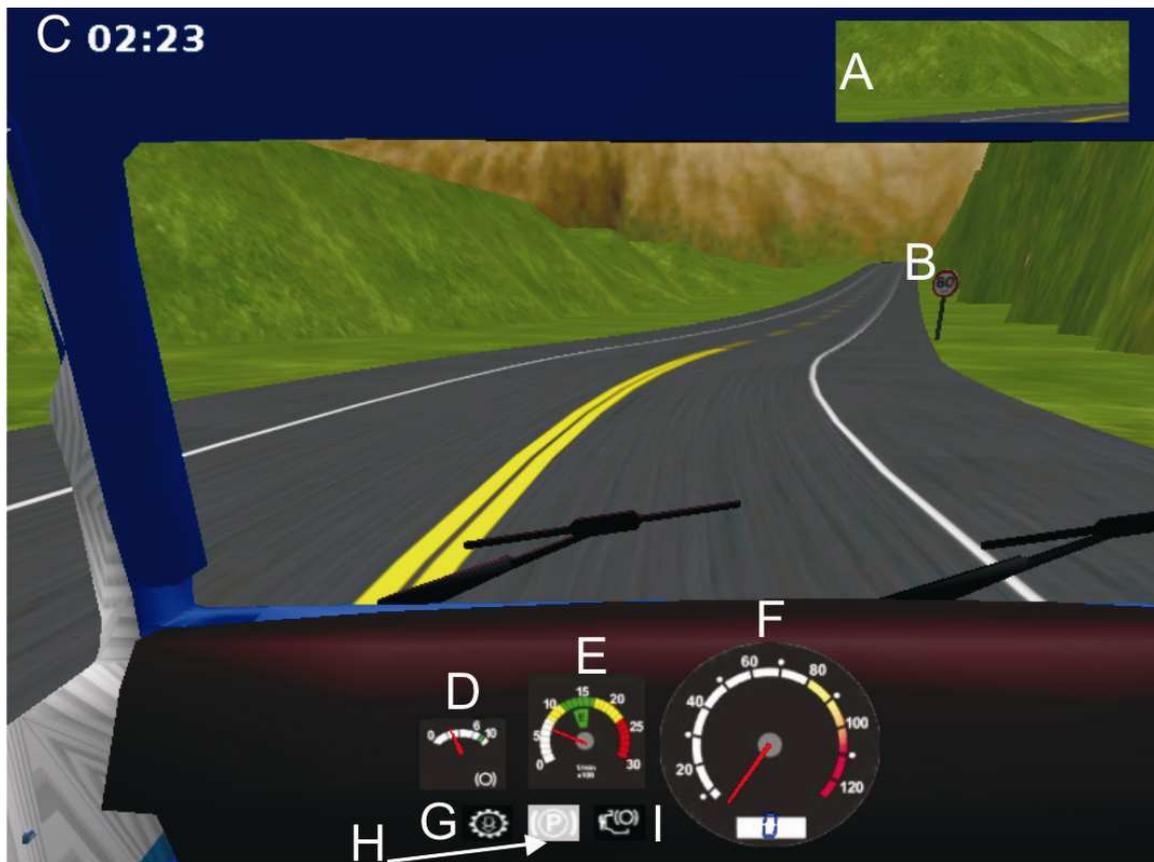


Figura 11 - Visão do usuário

### 6.3. Dispositivos de interação

Com o intuito de aumentar o grau de imersão do usuário foi desenvolvido um *cockpit* com características similares a um caminhão real, equipado com instrumentos que o usuário faz uso durante a simulação. O usuário interage com o sistema através de uma direção, pedais de acelerador, freio e embreagem, alavanca de marchas e acionadores de freio estacionário e de freio-motor (Figura 12). Para a apresentação de informações ao usuário foi utilizado um projetor multimídia com resolução de 800x600 *pixels* e taxa de atualização de aproximadamente 60 *frames* por segundo (FPS), caixas de som e tela de projeção com dimensões de 2,0m x 2,0m. Devido ao fato de que o público-alvo do simulador é formado por motoristas de caminhão, optou-se por utilizar um telão com imagens monoscópicas, pois os usuários não possuem o hábito de utilizar equipamentos estereoscópicos e não se sentiriam à vontade utilizando um HMD ou um *Shutter-Glasses*.

A coleta de dados é realizada com o auxílio de sensores analógicos e digitais. Os sensores digitais têm a finalidade de verificar o estado de um dispositivo (chaves do painel, sensores de toque nos pedais e das marchas do câmbio), pode estar ligado ou desligado, e os sensores analógicos medem a força exercida sobre cada um dos pedais

do caminhão e as voltas da direção. O *cockpit* é instrumentado com estes sensores a fim de transformá-lo no dispositivo de entrada de dados do sistema. Nas seções a seguir são detalhados cada um dos dispositivos do *cockpit* e os sensores neles utilizados.



Figura 12 - *Cockpit* do simulador

A conversão dos sinais analógicos gerados nos potenciômetros é digitalizada por um conversor A/D do tipo TNG [SEN08] e transmitida ao computador através de uma porta RS232. Os sensores digitais presentes no *cockpit* foram ligados a botões de um *joystick* e este conectado à porta USB do computador, para que estes dados fossem interpretados pelo sistema.

### 6.3.1. Câmbio de marchas

O câmbio de marchas (Figura 13-B) é composto por uma caixa e uma alavanca com movimentos livres como os de uma caixa de câmbio real. A alavanca possui o interruptor chamado de *shift*, utilizado pelo motorista para mudar a caixa de marchas, e outro interruptor para o acionamento da caixa reduzida. A parte superior da caixa possui uma grelha por onde a alavanca é guiada para a posição das marchas. Cada uma das marchas e os interruptores da manopla são equipados com sensores digitais que indicam seu acionamento. Para engatar uma marcha é necessário utilizar uma combinação de sensores, por exemplo, para engatar a 3ª marcha reduzida, a alavanca de marchas deve

estar na posição à direita e para frente, o *shift* deve estar para baixo e a reduzida deve estar ligada (para baixo). Todas as marchas devem ser engatas seguindo o esquema apresentado na Figura 13-A, com essa combinação de sensores o câmbio é equipado com 16 marchas, já que as marchas Ré e 1ª Trator não podem ser engatas com a caixa alta.

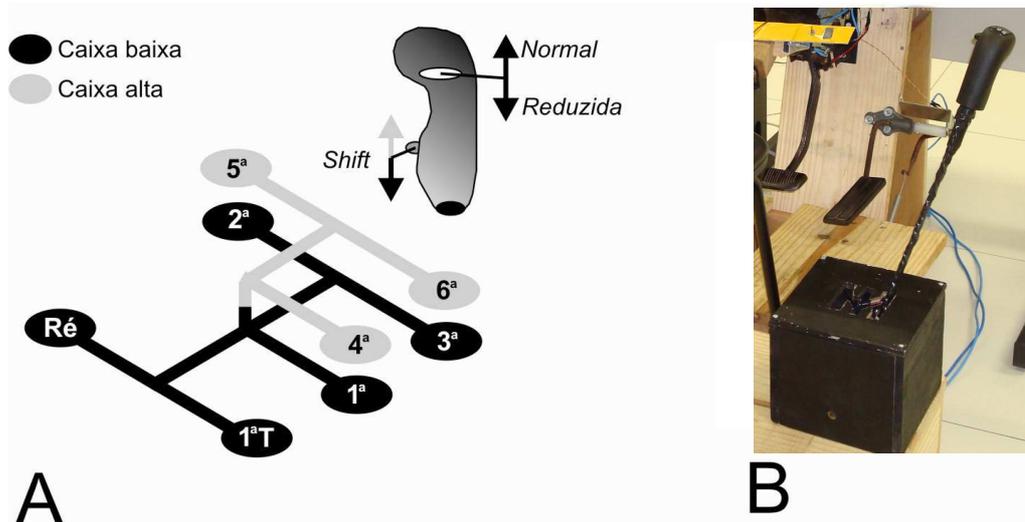


Figura 13 – Esquema do câmbio de marchas. (A) posição das marchas; (B) dispositivo físico do câmbio de marchas

### 6.3.2. Volante

Para o volante do simulador foi utilizado um volante real (Figura 14-A) com um mecanismo que permite aproximadamente 1800° livres para girar em seu eixo, da mesma forma que um caminhão real. Isso faz com que o usuário possa executar até 5 voltas completas para esterçar a direção completamente.

A coleta de dados referentes ao giro da direção é executada através de um resistor variável (potenciômetro) equipado com uma polia de redução para que as 5 voltas da direção transformem-se em uma volta do potenciômetro (Figura 14-B).

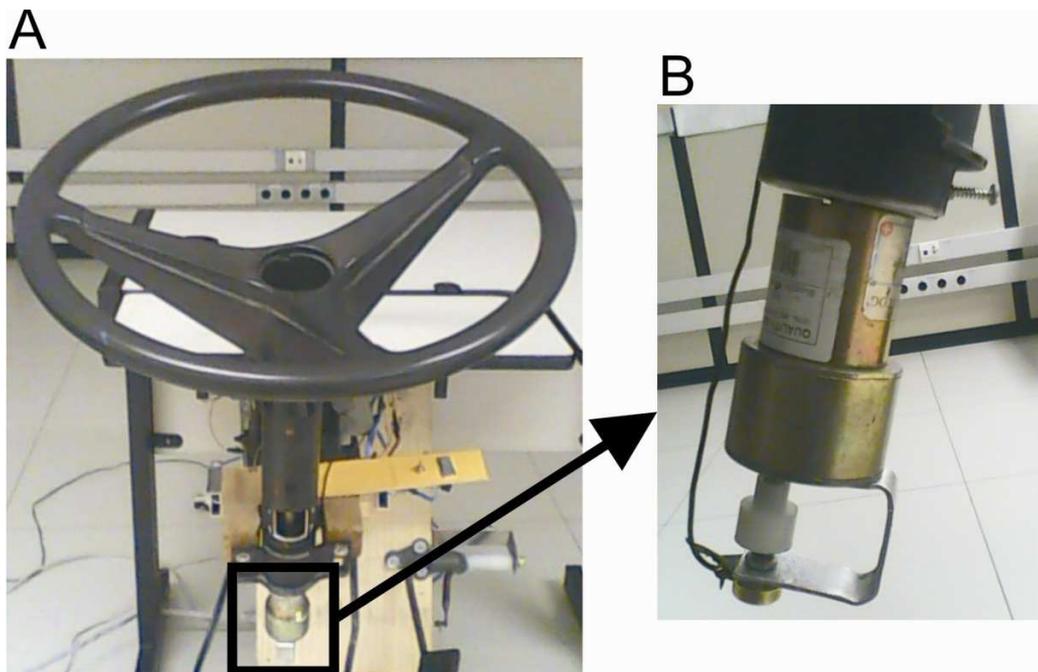


Figura 14 - Volante e coluna de direção (A) e detalhe do sistema de redução de rotações para leitura de dados (B)

### 6.3.3. Embreagem, acelerador e sistema de freios

Os pedais (Figura 15-A) são responsáveis por grande parte das ações de direção econômica que o motorista deve executar. Para dar maior sensação de realismo, os pedais utilizados são similares aos de um caminhão real, e foram equipados com molas (Figura 15-B) que buscam simular as características físicas do acionamento dos pedais de um caminhão com o sistema hidráulico ativo. A captação dos movimentos dos pedais é feita através de sensores analógicos tipo potenciômetros que capturam as ações de cada uma dos pedais (Figura 15-C).

O sistema de freios do simulador é composto por freio estacionário, freio-motor e freio de serviço. O freio estacionário é acionado através de um interruptor localizado no painel do simulador (Figura 16-A). O freio-motor necessita de duas formas de acionamento, a primeira é um interruptor no painel do simulador (Figura 16-A), com este interruptor ligado é necessário utilizar o pedal de freio para acioná-lo, bastando para isso apenas um leve toque sobre o pedal, que irá acionar o sensor presente nele (Figura 16-B). O freio de serviço é o pedal de freio propriamente dito e varia sua capacidade de frenagem dependendo da pressão exercida no pedal por parte do usuário.

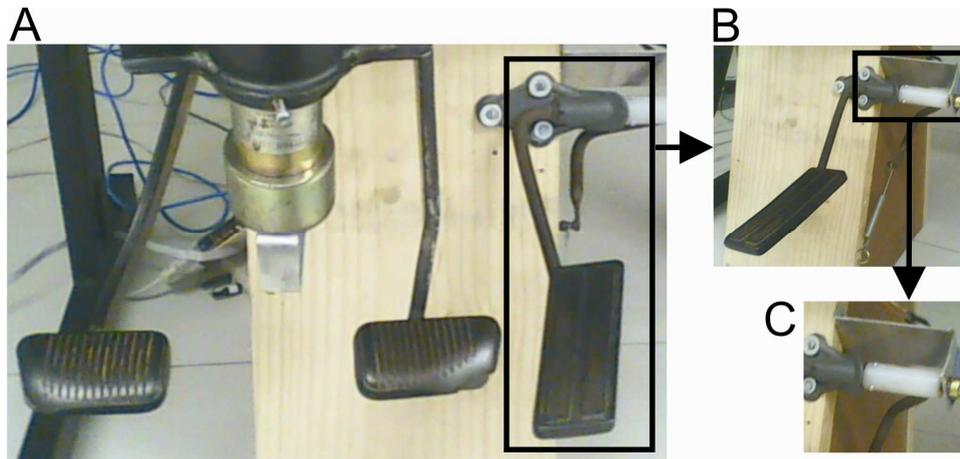


Figura 15 - Pedais de comando (A), detalhe do uso de molas nos pedais (B) e detalhe do uso de potenciômetros para coleta de dados (C)

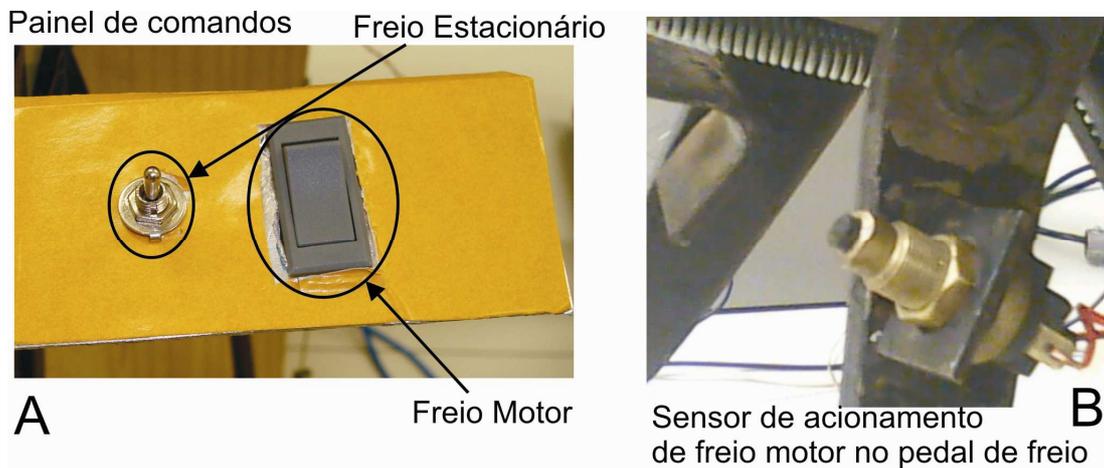


Figura 16 - Sistema de freios. Interruptores de acionamento de freio estacionário e freio motor (A); sensor de acionamento do freio motor no pedal de freio (B)

#### 6.3.4. Controle do instrutor

Para que o instrutor pudesse informar ao sistema o momento em que ele percebeu uma violação do uso das técnicas de direção econômica, e assim sincronizar suas ações com as do sistema, foi inserido um sensor digital que é acionado por um botão. Cada vez que o instrutor pressiona este botão é registrado um evento do instrutor no sistema. Este evento é utilizado posteriormente para a análise e validação do simulador. Este dispositivo não interfere no funcionamento do protótipo e pode ser removido tão logo tenha sido comprovada a eficácia do sistema.

#### 6.4. Características monitoradas

Durante a fase de levantamento de requisitos foram identificadas 3 classes distintas de ações dos motoristas que afetam na direção econômica, são elas: consumo de combustível, economia de peças e componentes e respeito às normas de trânsito. A seguir são apresentadas as ações monitoradas pelo protótipo e a forma como o monitoramento é realizado.

Relacionadas ao consumo de combustível o sistema é capaz de monitorar:

- **Rotações do motor:** as rotações são representadas no conta-giros (Figura 17) do caminhão virtual, toda vez que o usuário ficar fora da faixa verde do conta-giros é registrado um evento, que pode ser: trafegar em rotações baixas, quando está abaixo da faixa verde; trafegar em rotações altas, quando está na faixa amarela acima da verde; ou trafegar em rotações muito altas, quando está na faixa vermelha;
- **Uso de marcha lenta:** quando ocorre o uso de marcha lenta por um período superior a 2 minutos, em rotações mínimas durante todo o tempo, o sistema registra um evento de uso incorreto de marcha lenta;
- **Uso de ponto morto:** independentemente do tempo, desde que seja superior a 8 segundos, em que ocorre o uso do ponto morto com o veículo em movimento, mesmo que esteja com a embreagem pressionada, o sistema registra um evento de uso incorreto do ponto morto;
- **Troca incorreta de marchas:** a troca de marchas deve ser realizada com vistas a manter as rotações do motor dentro da faixa verde do conta-giros (Figura 17), ela deve acontecer nos limites da faixa verde, sendo permitido utilizar até 10% das faixas amarelas de cada um dos lados, em outros casos será considerada que a troca aconteceu com rotações baixas ou altas. O tempo da troca de marcha não deve ser inferior a 2,5 segundos, isso para permitir o correto engate das engrenagens, caso ocorra uma mudança com tempo inferior a este, o sistema irá registrar o evento como sendo uma troca de marchas muito rápida. A embreagem também é controlada durante a troca de marcha, ela deve ser pressionada de forma completa, caso contrário será registrado um evento como uso incorreto da embreagem.

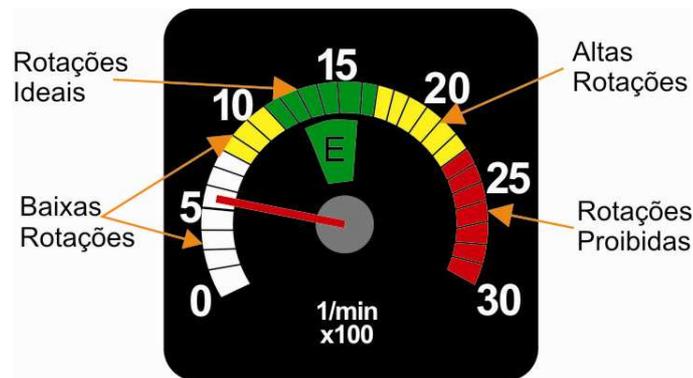


Figura 17 – Conta-giros do caminhão virtual

Com relação ao desgaste de peças e componentes o sistema monitora:

- **Arrancada:** a arrancada sempre deve ocorrer em 1ª Marcha ou, em casos especiais, na marcha Ré ou em 1ª Trator. Durante a arrancada também deve haver a quantidade mínima de ar de freio nos botijões. Caso essas premissas não sejam respeitadas é registrado um evento de arrancada incorreta;
- **Uso incorreto do freio estacionário:** o freio estacionário de um caminhão é como o freio de mão de um carro, este freio só pode ser utilizado com o caminhão parado, caso seja acionado com o caminhão em movimento é registrado um evento de uso incorreto do freio estacionário;
- **Freadas bruscas:** o freio de serviço deve ser pressionado de forma gradativa e suave, sem pressioná-lo todo de uma vez, caso o pressionamento ocorra de forma muito rápida será registrado um evento de freada brusca;
- **Uso incorreto do freio-motor:** o freio-motor só deve estar ligado durante os declives acentuados e seu acionamento deve ser feito com o motor trabalhando com rotações ideais ou altas, que podem ser acompanhadas no conta-giros (Figura 17). Caso o freio-motor esteja ligado em superfícies sem declives ou seja acionado com rotações abaixo das ideais é registrado um evento de uso incorreto de freio-motor;
- **Uso incorreto da embreagem:** dirigir com o pé sobre a embreagem, exceto nos momentos de troca de marcha, é considerado vício de direção, neste caso o sistema registra um evento de trafego com o pé na embreagem;
- **Falta de prevenção de danos:** a realização de manutenção preditiva antes do início de uma viagem é obrigatória e devem ser verificados alguns itens básicos, como a pressão dos pneus, o nível de óleo e a voltagem da bateria, para isto

deve ser realizado um *check-list* destes itens, caso não seja feito, ou feito de forma incorreta, o sistema registra eventos de falta de *check-list*,

- **Uso incorreto das marchas Ré e 1ª Trator:** estas duas marchas só podem ser engatadas com o caminhão parado e na caixa baixa, caso ocorra em outras circunstâncias é registrado um evento de uso incorreto de cada uma das marchas;
- **Trafegar com pouco ar de freio:** a quantidade de ar de freio dentro dos botijões afeta a eficiência dos freios, por este motivo, o motorista não deve trafegar com pouco ar. Caso isto aconteça é registrado um evento indicando que está trafegando com pouco ar de freio.

Para não receber multas o motorista deve respeitar as leis de trânsito. No escopo deste sistema são consideradas apenas as infrações abaixo relacionadas:

- **Excesso de velocidade:** o usuário deve respeitar o limite de velocidade indicado nas placas ao longo do percurso da simulação, caso isso não aconteça é gerado um evento de excesso de velocidade;
- **Uso incorreto da faixa adicional:** sempre que existir faixa adicional o motorista é obrigado a utilizá-la, exceto em casos de bloqueio dela ou para realizar uma ultrapassagem. Caso exista a faixa adicional e o motorista trafegue fora dela é registrado um evento de tráfego fora da pista;
- **Trafegar fora da pista de rolamento:** a pista de rolamento é o local correto de se trafegar, o motorista não deve trafegar pelo acostamento, caso isso aconteça será registrado um evento de tráfego fora da pista.

## 6.5. Monitoramento e análise de dados

Os dados recebidos dos dispositivos físicos são armazenados e interpretados pelo módulo de controle da aplicação. Cada um dos dispositivos é representado logicamente por objetos que realizam a análise referente à forma como o usuário está se comportando e comparam com o que se espera que ele faça em cada situação. O diagrama de classes do módulo de controle é apresentado na Figura 18. Através do controle dos botões e potenciômetros, os dispositivos do caminhão virtual são atualizados e verificados, caso alguma ação fora do esperado seja detectada, esta é registrada de

forma que, ao final da simulação, possam ser analisadas como um todo e assim seja possível emitir um relatório sobre a forma como o motorista comportou-se durante a simulação.

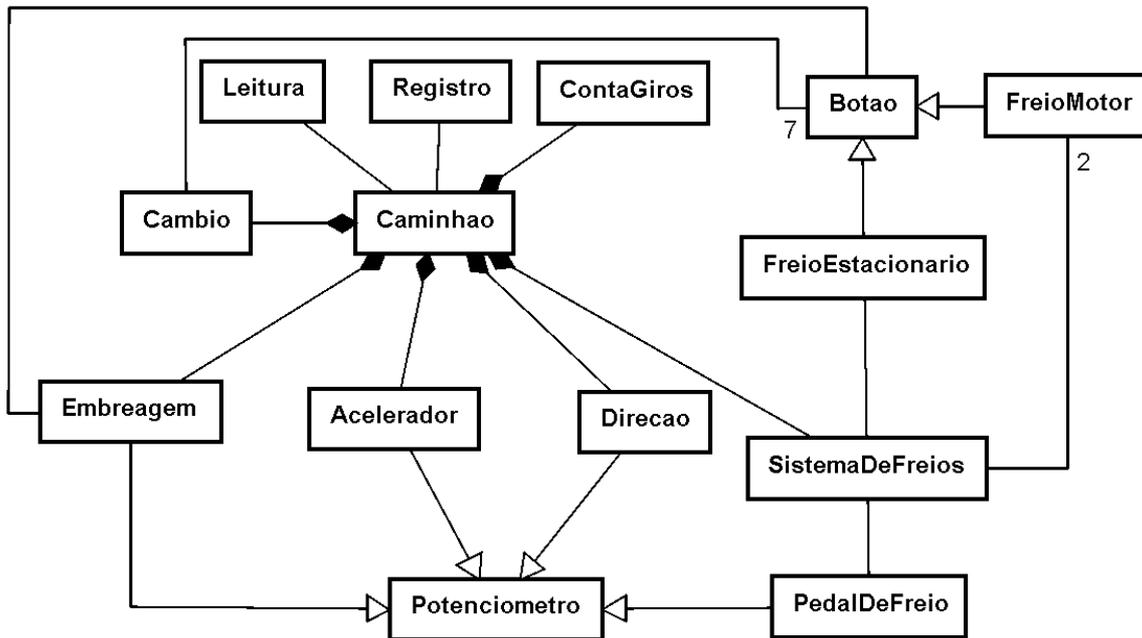


Figura 18 - Diagrama de classes do módulo de monitoramento do caminhão virtual

O registro das ocorrências é realizado a cada dois segundos em estruturas de memória e ao final da simulação é gerado um arquivo de texto, similar ao apresentado na Figura 19, contendo o tempo, em segundos, e uma identificação da ocorrência detectada pelo sistema, para uma posterior conferência e criação do relatório da simulação.

Para a emissão do relatório final da simulação (Figura 20) o *software* percorre o arquivo gerado pelo simulador analisando as ocorrências de cada classe de erro cometido. Dependendo do tipo de erro o importante é a quantidade de ocorrências, como por exemplo, a quantidade de vezes que o usuário trocou a marcha de forma incorreta, e, em outras ocorrências, o importante é a duração em que a ocorrência foi registrada, como por exemplo, por quanto tempo o motorista trafegou em velocidade acima da permitida.

Nos quesitos onde apenas a quantidade de ocorrências é computado, registros consecutivos com intervalos inferiores a 4 segundo são agrupados, e contados como sendo apenas uma ocorrências. No caso de quesitos onde o tempo também é computado, todas as ocorrências inferiores há 10 segundos são descartadas, isto porque, em análise conjunta com instrutores, foi considerado como sendo o limite de tolerância permitido para as ocorrências, exceto para os casos de trafegar com rotações muito altas,

que utilizam a faixa vermelha do conta-giros, onde todas as ocorrências são registradas.

```
70;MAR9  
72;INST  
92;RPM1  
94;RPM1  
102;MAR9  
104;MAR9  
108;EMB1  
122;EMB1  
124;EMB1  
136;MAR9  
152;INST  
184;MAR9  
188;EMB1
```

Figura 19 – Trecho do arquivo de ocorrência criado pelo sistema

Com o relatório em mãos o instrutor possui mais uma ferramenta para avaliação do motorista que está sendo treinado. O parecer final indicando se o motorista está aprovado ou reprovado é emitido pelo instrutor.

Todo o processo de simulação é registrado através de vídeos, onde são gravadas as ações do usuário durante a simulação. Este vídeo é utilizado para verificar se o sistema captou de forma correta as violações cometidas pelo usuário, quando comparadas com as violações captadas pelo instrutor que acompanha a simulação. O objetivo principal da utilização do vídeo é dirimir as dúvidas que possam surgir entre as violações que o sistema captou e as informados pelo instrutor.

## PUCRS/GRV - Simulador de Direção Econômica

### Resumo da Simulação

Realização de check-list:

Pneumáticos       Nível de óleo       Voltagem da bateria

Quesito	Quantidade de Ocorrências	Tempo (mm:ss)
Desrespeito ao limite de velocidade	00	00:00
Trafegar com rotações baixas	08	03:42
Trafegar com rotações altas	04	03:12
Trafegar com rotações muito altas	06	00:34
Arrancada incorreta	02	
Troca de marchas com rotações baixas	17	
Troca de marchas com rotações altas	25	
Troca de marchas sem o uso correto da embreagem	67	
Troca de marchas muito rápida	56	
Engate incorreto da marcha ré	00	
Engate incorreto da 1a. Trator	00	
Trafegar com o pé sobre a embreagem	00	00:00
Uso incorreto do freio estacionário	02	
Uso incorreto do freio-motor	04	13:14
Trafegar com pouco ar de freio	00	00:00
Uso incorreto do ponto morto ou banguela	00	00:00
Freada brusca	03	
Trafegar fora da pista	03	01:24

Figura 20 - Relatório final da simulação

## 7. AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO

O objetivo de avaliar o protótipo descrito no capítulo 6 é comprovar as seguintes hipóteses levantadas durante o desenvolvimento do projeto:

- [H1] O simulador é capaz de captar as mesmas ocorrências de violação às técnicas de direção econômica que um instrutor humano;
- [H2] O relatório gerado pelo simulador é uma ferramenta que auxilia o instrutor para a emissão do seu parecer de avaliação do motorista em treinamento;
- [H3] O conjunto dos dispositivos de interação desenvolvido possui qualidade similar aos dispositivos reais de um caminhão quanto à forma como o usuário os utiliza;
- [H4] O protótipo do simulador provoca sensação de presença nos usuários;
- [H5] Instrutores que acompanham a simulação conseguem perceber as ocorrências de violação às técnicas de direção econômica cometidas pelo usuário;
- [H6] A metodologia utilizada para a criação das estradas representa as estradas de maneira realística.

Foram realizadas duas etapas de testes para a avaliação do protótipo desenvolvido. Um teste piloto, com o objetivo de verificar se o sistema estava satisfazendo aos requisitos levantados durante a etapa de análise de requisitos, e, o teste de validação do protótipo, para testar a eficiência do protótipo com usuários reais.

### 7.1. Teste piloto

Este teste contou com a presença de dois instrutores de direção econômica do ISETT e teve como finalidades a calibração dos dispositivos do sistema com os dispositivos reais, a verificação da validade dos dados coletados e a avaliação das características da pista utilizada para os testes.

Com a realização deste teste alguns dispositivos foram alterados para que pudessem representar um caminhão de forma mais realista. Também foram confrontados

os dados coletados pelo sistema com as opiniões dos instrutores, a fim de identificar possíveis falhas na forma da interpretação dos dados coletados.

A partir dos resultados deste teste foi possível definir quais itens seriam avaliados pelo sistema e em quais circunstâncias cada ação relacionada às técnicas de direção econômica poderia ser considerada com a violação ao seu uso.

Durante a realização dos testes, pode-se perceber que a avaliação dos instrutores é bastante subjetiva e depende de inúmeros fatores que podem transformar uma ação inicialmente considerada válida em inválida. Por exemplo, elevar os giros do motor antes de iniciar um aclave não é considerado como violação às técnicas de direção econômica, em outras situações, como em um terreno plano, isto é considerado violação. Por este motivo foi inserida mais uma camada de dados para determinar os locais especiais da pista onde algumas regras não são avaliadas.

Outro detalhe que se pôde perceber foi a necessidade de informar ao usuário sobre o caminho a seguir durante a simulação, pois o usuário poderia perder-se dentro do AV ou trafegar em direção oposta àquela que o AV estava preparado para analisar os dados.

Neste teste definiu-se também o tipo de veículo a ser utilizado e suas configurações. Até aquele momento o veículo simulado era um caminhão com um câmbio de 9 marchas, com duas caixas e sem reduzida. Após a realização do teste, seguindo orientação dos instrutores, o câmbio foi substituído por um de 16 marchas, com duas caixas, com a presença da caixa reduzida. Tal alteração se fez necessária para atender à realidade de trabalho vivida pela maioria dos motoristas que participariam dos testes para avaliação do protótipo.

Foi constatado também que a direção deveria possuir um mecanismo que a bloqueasse ao atingir os limites de movimentação à esquerda e à direita, que até aquele momento não eram controlados. Outro problema relatado foi relacionado à sensibilidade da direção, que estava muito leve, tornando a dirigibilidade comprometida no início da simulação, enquanto o usuário não estivesse adaptado à sua sensibilidade. Por este motivo foi inserido no protocolo de testes um período inicial de adaptação do usuário ao simulador, apenas com o intuito de adaptação visual e física aos equipamentos, sem a verificação da forma como este se comportava.

Com relação aos sensores de coleta de dados percebeu-se a necessidade de serem inseridos mais dois sensores. Um no pedal de embreagem, para verificar se o

usuário está com o pé sobre ela, e, outro no pedal de freio, para permitir o acionamento do freio-motor apenas com um toque do pé do motorista, sem a necessidade de exercer força para seu pressionamento. Até então estas ações necessitavam do pressionamento dos pedais até um determinado ponto, o que não condizia com a realidade. Além disto, a falta de precisão dos sensores analógicos utilizados, por vezes fazia com que o acionamento do freio-motor e a verificação do pressionamento da embreagem, não fossem detectados ou fossem detectados de forma incorreta.

De forma geral, de acordo com relatos dos instrutores durante o teste, o sistema comportava-se de forma similar à realidade e o percurso utilizado para testes era condizente com as condições das estradas brasileiras.

## **7.2. Testes de validação do protótipo**

Com a finalidade de verificar a qualidade e eficiência do protótipo do simulador desenvolvido, em relação à qualidade dos dispositivos de entrada de dados, da interface gráfica utilizada e da forma de coleta e análise de dados referentes à direção econômica, foi realizada uma avaliação empírica com uma amostra de 14 usuários, sendo divididos em dois grupos. O primeiro, com 6 participantes, composto por instrutores de aulas práticas de direção econômica e o segundo, com 8 participantes, todos motoristas de caminhão. Do grupo de motoristas, 75% identificaram-se como sendo *trainees*, ou seja, motoristas em treinamento, e 25% identificaram-se como sendo motoristas profissionais.

Para os dois grupos de usuários foram realizados testes distintos. Para o primeiro grupo, composto por instrutores, os testes buscavam verificar se o simulador serviria de fato como uma ferramenta para a elaboração de um parecer a respeito do desempenho de um motorista em treinamento, além de verificar suas opiniões a respeito dos dispositivos de interação e do AV apresentado.

Já para o segundo grupo de usuários, os motoristas, os testes visavam determinar se o sistema era capaz de captar as mesmas violações do uso das técnicas de direção econômica que um instrutor captava, além de verificar sua sensação de presença utilizando o simulador e a sua avaliação sobre os dispositivos físicos e sobre o AV.

Durante a realização dos testes com os motoristas houve a necessidade da presença de um instrutor de direção econômica para registrar as violações que ele percebia que o motorista cometia. Antes da realização dos testes com os motoristas foi

feito um treinamento com um instrutor para que ele se adaptasse ao método utilizado para anotar as ocorrências.

Nas seções a seguir serão apresentados os protocolos de testes para os dois grupos de usuários. Antes, porém, apresenta-se o protocolo utilizado para treinar o instrutor que acompanhou os motoristas durante seus testes.

#### 7.2.1. Treinamento do instrutor para acompanhamento dos testes com os motoristas

O treinamento do instrutor que acompanhou os testes com os motoristas consistiu em apresentar a este a forma como deveria ser feito o registro no sistema das ocorrências de violação referente às técnicas de direção econômica cometidas pelo usuário do sistema.

Para registrar no sistema as ocorrências percebidas, o instrutor deveria pressionar um botão localizado próximo ao seu pé. Cada vez que pressionava o botão, o tempo de simulação em que isto ocorria era registrado no sistema, sem entretanto registrar o tipo de violação que ocorria. Para este registro, o instrutor anotava em uma planilha (APÊNDICE G) a violação que havia percebido.

As ocorrências que o sistema identificava estavam separadas nas seguintes categorias:

- Realização do *check-list*;
- Desrespeito ao limite de velocidade;
- Trafegar com rotações baixas;
- Trafegar com rotações altas;
- Trafegar com rotações muito altas;
- Arrancada incorreta e parada incorreta;
- Troca de marchas com rotações baixas;
- Troca de marchas com rotações altas;
- Troca de marchas sem o uso correto da embreagem;
- Troca de marchas muito rápida;

- Engate incorreto da marcha ré;
- Engate incorreto da 1ª trator;
- Trafegar com o pé sobre a embreagem;
- Uso incorreto do freio estacionário;
- Uso incorreto do freio-motor;
- Trafegar com pouco ar de freio;
- Uso incorreto do ponto morto ou banguela;
- Freada brusca;
- Trafegar fora da pista.

O instrutor deveria identificar as mesmas categorias de ocorrências do sistema para seu registro.

O treinamento do instrutor foi dividido em diversas etapas, em cada uma o avaliador utilizava o simulador e percorria um circuito com aproximadamente 2,7Km e o instrutor registrava os eventos percebidos. Ao final de cada etapa, o relatório de ocorrências do sistema, com um trecho apresentado na Figura 19, era verificado e comparado com a planilha do instrutor, buscando-se apenas as ocorrências por ele registradas para uma contagem de eventos. Este treinamento teve duração aproximada de 2 horas e 45 minutos, e se encerrou quando o instrutor e o observador julgaram que o instrutor estava apto a registrar as ocorrências concomitantemente no sistema e na planilha.

### 7.2.2. Testes com motoristas

Com o intuito de realizar os testes com o mesmo padrão para todos os motoristas foi definido um protocolo de testes (APÊNDICE C). Os testes foram acompanhados pelo avaliador e pelo instrutor de direção econômica que havia sido treinado para registrar os eventos no sistema.

Antes de iniciar os testes era lido para o motorista um resumo do que seria feito durante toda a seção de testes com a finalidade de informá-lo da forma como seria realizada a simulação. Caso ele não concordasse com o teste ou não se sentisse à

vontade para realizá-lo, poderia desistir. Após o aceite verbal do motorista ele recebia um Termo de Consentimento e Livre Esclarecimento (APÊNDICE A) que fornecia informações gerais sobre o formato do teste e autorizava a divulgação dos resultados obtidos. Após a leitura e a concordância com este termo o mesmo era assinado. Em seguida o motorista recebia o formulário de pré-teste (APÊNDICE D) para ser preenchido. Este formulário foi utilizado com o intuito de conhecer os motoristas com relação à sua profissão, época em que realizou treinamento de direção econômica, sua idade e o caminhão que costuma dirigir.

Com os formulários preenchidos era iniciado o procedimento de treinamento do motorista para que este se adaptasse aos dispositivos físicos e ao AV.

No início eram apresentados os dispositivos físicos e sua forma de utilização, em seguida o motorista guiava o caminhão virtual pelo AV, em média por 2 ou 3 voltas em uma pista de treinamento (Figura 21) com aproximadamente 2,7Km, possuindo características similares às encontradas na pista utilizada para a simulação. Durante a segunda volta era solicitado que o motorista realizasse algumas tarefas básicas que não eram obrigatórias durante sua condução normal. Estas tarefas eram: parar o caminhão, trocar de marchas de forma incorreta, utilização do freio motor, arrancar de forma incorreta e acionar o freio estacionário em movimento. O objetivo destas tarefas era mostrar qual seria a reação do AV quando se realizavam ações deste tipo. O treinamento era encerrado quando o motorista já se sentia confortável com o sistema e seus dispositivos.

Com a etapa de treinamento encerrada era iniciado o roteiro de simulação com o reposicionamento dos dispositivos físicos em seu estado inicial. Antes de iniciar a simulação o instrutor posicionava-se atrás do motorista, fora de seu ângulo de visão, e uma filmadora era ligada para gravar toda a simulação para posterior avaliação dos resultados. A Figura 22 indica o posicionamento do motorista, avaliador e câmera durante o processo de simulação.

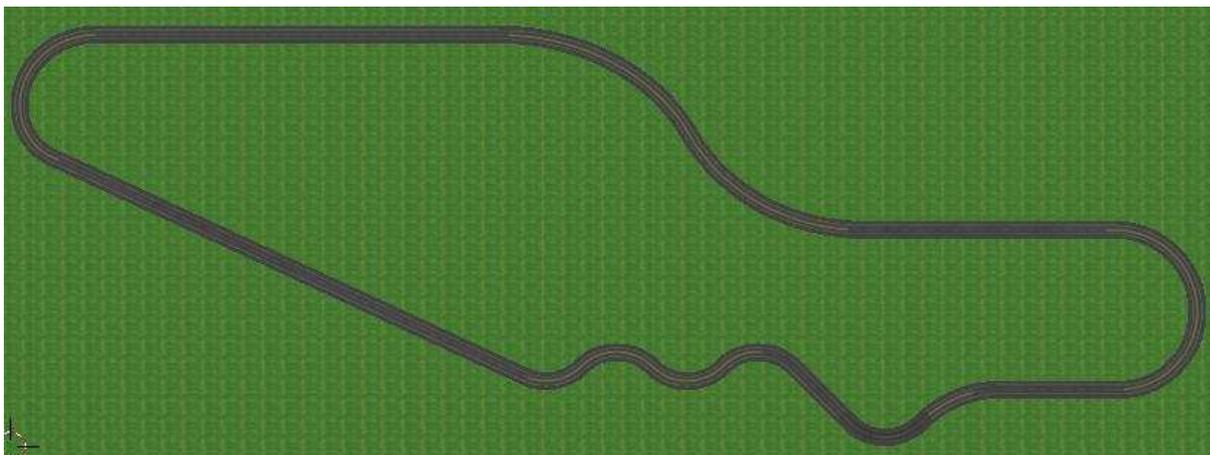


Figura 21 – Pista de adaptação

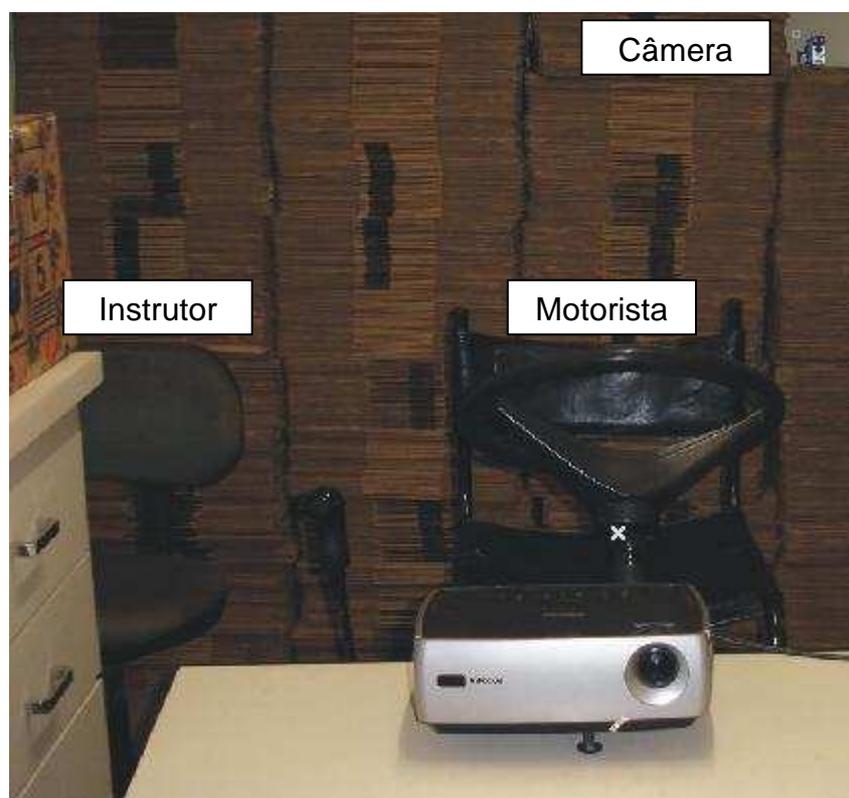


Figura 22 - Posição do instrutor, motorista e câmera

Ao iniciar a simulação o motorista fornecia informações sobre o estado em que o caminhão deveria estar para iniciar a viagem, isto é conhecido como *check-list*. Estes dados eram informados verbalmente pelo motorista para o avaliador que os registrava na tela de *check-list*, apresentada na Figura 23, estas informações dizem respeito à pressão dos pneus, nível do óleo do motor, quantidade de líquido de arrefecimento e voltagem da bateria.



Figura 23 - Tela do *check-list* inicial

A próxima etapa era dar início à simulação lembrando ao usuário que deveria realizar as tarefas solicitadas pelo avaliador. Para mostrar ao usuário o local onde deveria realizar as tarefas foram inseridas no AV placas vermelhas com letras brancas. Quando o motorista aproximava o caminhão destes locais o avaliador informava a ele qual tarefa deveria ser realizada. A Figura 24 apresenta um mapa do AV, os locais onde o motorista deve realizar as tarefas e na Figura 25 o modelo de placa utilizado para sinalizar das tarefas. As tarefas solicitadas ao motorista foram:

- A. Pare na primeira faixa de pedestre e aguarde por 3 minutos;
- B. Entre à direita no cruzamento;
- C. Passe a lombada e engate marcha ré, em frente ao cruzamento. Ande por alguns metros de ré. Arranque normalmente e siga;
- D. Pare no acostamento e arranque em active íngreme;
- E. Utilize o freio motor para a descida;
- F. Siga reto no trevo;
- G. Contorne o viaduto e retorne pela pista posta a esta;
- H. Pare o caminhão na indicação presente no asfalto.

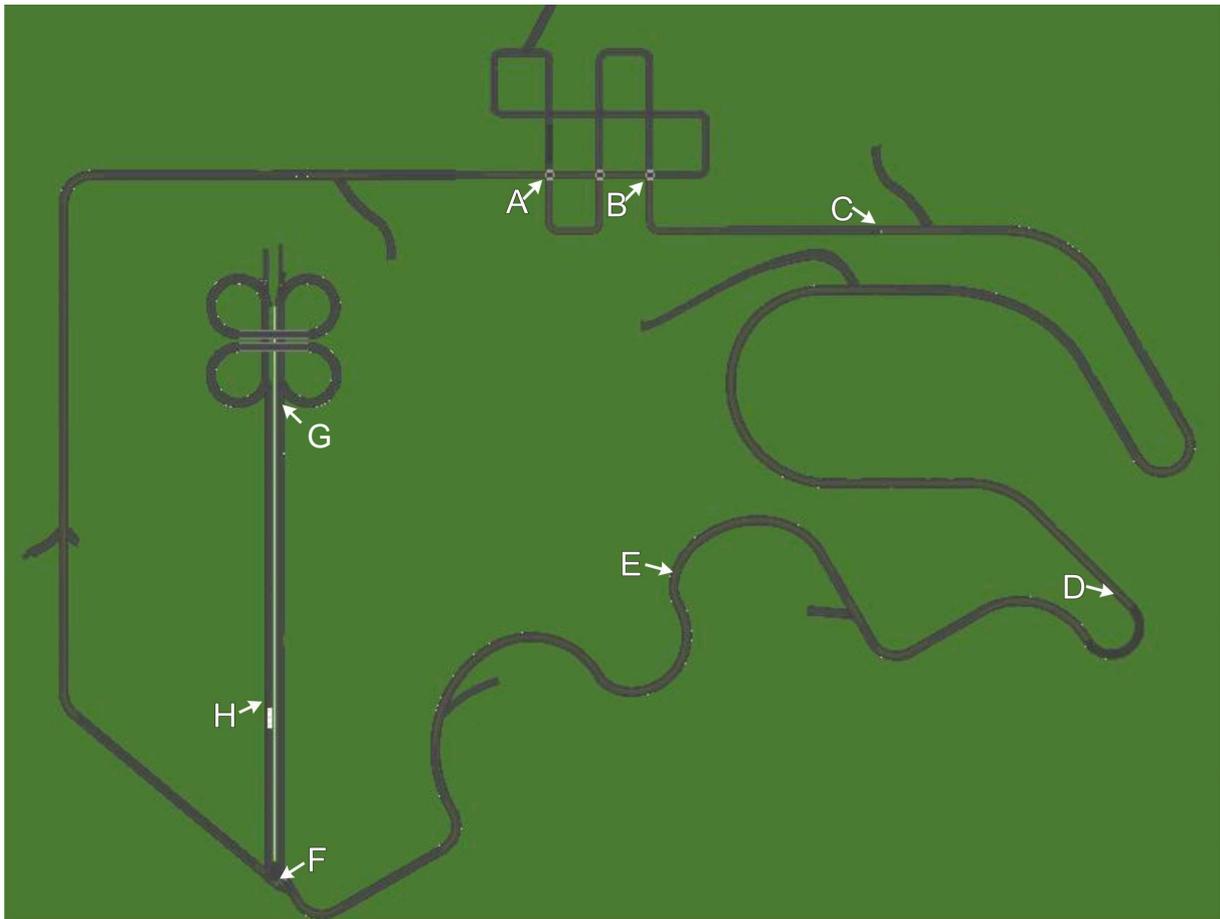


Figura 24 – Mapa do AV com a indicação dos locais para realização de tarefas

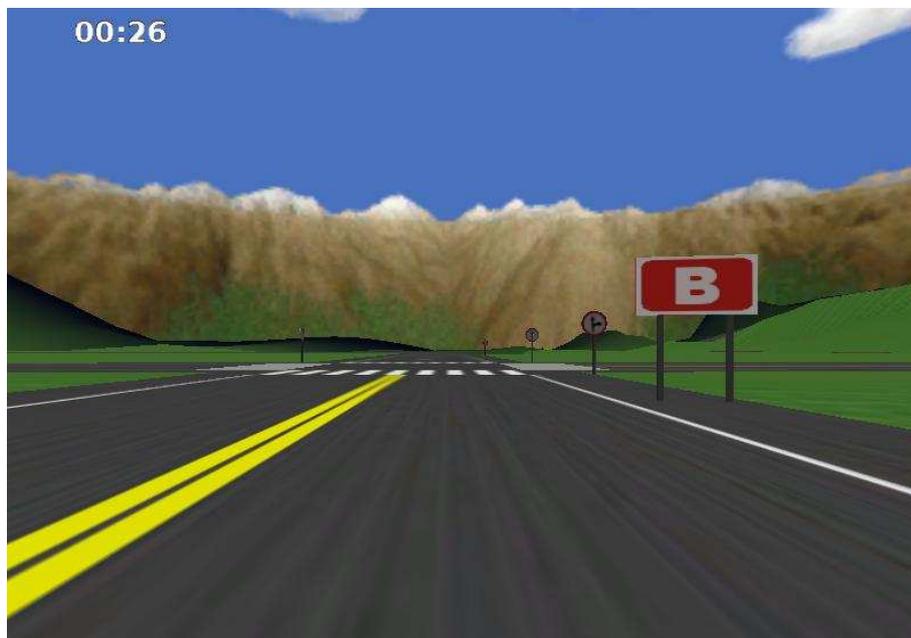


Figura 25 - Modelo de placa de indicação de tarefas

Após a simulação o motorista preenchia um formulário de pós-teste (APÊNDICE E), onde ele atribuía notas sobre sua percepção com relação aos dispositivos físicos e à

responsividade do sistema. Ele devia também qualificar sua sensação de presença durante a simulação e o tempo destinado à adaptação aos equipamentos. Também era possível, ao motorista, deixar comentários, críticas e sugestões sobre os dispositivos físicos, aparência do AV e ao período de adaptação aos equipamentos.

Ao entregar o formulário de pós-teste agradecia-se a participação do motorista que era dispensado logo em seguida. Os dados referentes à sua simulação eram processados e armazenados, juntamente com o vídeo da simulação.

Após o término de todas as simulações foi realizada a análise dos dados registrados pelo simulador, comparando-os com o vídeo da simulação. Esta etapa contou com a presença do instrutor e do avaliador que realizaram os testes. O processo de análise consistia em acompanhar o vídeo da simulação comparando-o com o arquivo de registro de eventos (Figura 19) procurando as ocorrências registradas e verificando sua correção. Para que se pudesse sincronizar o relatório e o vídeo, no canto superior esquerdo da tela, era apresentado o tempo de simulação (Figura 26).



Figura 26 - Tempo de simulação

Ao final da análise, os dados eram registrados e armazenados em uma planilha de comparação de resultados, esta planilha é apresentada na Figura 27, onde a quantidade de eventos registrados pelo sistema e pelo instrutor, em cada categoria eram armazenados.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE INFORMÁTICA

“Uso de Ambientes Virtuais para Monitoramento de Técnicas de Condução Econômica em Caminhões”

Formulário de análise de dados

Quesito	Sistema	Instrutor
Realização do <i>check-list</i>		
Desrespeito ao limite de velocidade		
Trafegar com rotações baixas		
Trafegar com rotações altas		
Trafegar com rotações muito altas		
Arrancada incorreta e parada incorreta		
Troca de marchas com rotações baixas		
Troca de marchas com rotações altas		
Troca de marchas sem o uso correto da embreagem		
Troca de marchas muito rápida		
Engate incorreto da marcha ré		
Engate incorreto da 1ª trator		
Trafegar com o pé sobre a embreagem		
Uso incorreto do freio estacionário		
Uso incorreto do freio-motor		
Trafegar com pouco ar de freio		
Uso incorreto do ponto morto ou banguela		
Freada brusca		
Trafegar fora da pista		

Figura 27 - Formulário de análise dos dados registrados pelo sistema e pelo instrutor

### 7.2.3. Testes com instrutores de direção econômica

O objetivo principal da realização de testes com instrutores de direção econômica é o de verificar se as ações relacionadas às técnicas de direção econômica podem ser por eles percebidas quando um motorista está utilizando o simulador. Outro objetivo é o de obter sua avaliação quanto aos dispositivos físicos utilizados e ao AV da simulação, além de verificar se o relatório final emitido pelo simulador pode ser utilizado como ferramenta de análise sobre o comportamento do motorista que está utilizando o simulador.

Os testes com os instrutores foram realizados em duas etapas. Na primeira os instrutores foram separados em dois grupos e assistiram ao teste completo de um usuário e em seguida avaliaram o resultado emitido pelo simulador. Este teste não foi utilizado no cômputo dos resultados deste experimento. Na segunda etapa, utilizaram o simulador com a finalidade de avaliar os dispositivos físicos e o AV.

A utilização do simulador pelos instrutores seguiu o mesmo protocolo utilizado

pelos motoristas, porém, neste caso, não estava presente o instrutor que realizava o acompanhamento do motorista para o registro das ações, e não havia uma sequência de tarefas a serem executadas. Após o uso do simulador os instrutores recebiam um formulário de pós-teste (APÊNDICE F) para avaliar os dispositivos físicos, o AV e os resultados emitidos pelo sistema sobre a forma de direção empregada pelo motorista.

### **7.3. Resultados dos testes**

A apresentação dos resultados dos testes está dividida em seis avaliações distintas: dos dispositivos físicos, do AV, da percepção dos instrutores a violações realizadas por motoristas utilizando o simulador, da sensação de presença sentida pelos motoristas, dos resultados do monitoramento realizado pelo sistema e pelo instrutor e do relatório com os resultados emitido pelo sistema. Nas próximas seções são apresentados os resultados obtidos em cada uma das avaliações.

#### **7.3.1. Avaliação dos dispositivos físicos**

Na pergunta 1 do questionário de pós-teste, que dizia respeito ao nível de realismo percebido pelo usuário na utilização de cada um dos sete dispositivos, mais o conjunto de todos eles, o usuário devia atribuir uma nota de 1 à 5, sendo estas notas qualificadas como:

1 - Péssimo

2 - Ruim

3 - Bom

4 - Muito bom

5 - Ótimo

As respostas obtidas foram compiladas e estão representadas através de suas médias e desvio padrão na Tabela 6. Graficamente estes mesmos dados estão apresentados na Figura 28.

**Tabela 6 - Notas do nível de realismo dos dispositivos físicos do simulador**

	Instrutores	Motoristas	Desvio Padrão (Instrutores)	Desvio Padrão (Motoristas)
Acelerador	3,00	3,25	0,63	1,28
Freio	3,17	3,50	0,41	1,07
Embreagem	3,17	3,50	0,75	0,93
Câmbio de Marchas	2,83	3,13	0,75	1,25
Direção	2,83	2,63	0,75	0,52
Painel de Instrumentos	3,00	3,63	0,89	1,06
Posição de Direção	3,33	3,13	0,52	1,13
Conjunto dos Equipamentos	3,17	3,13	0,75	0,99

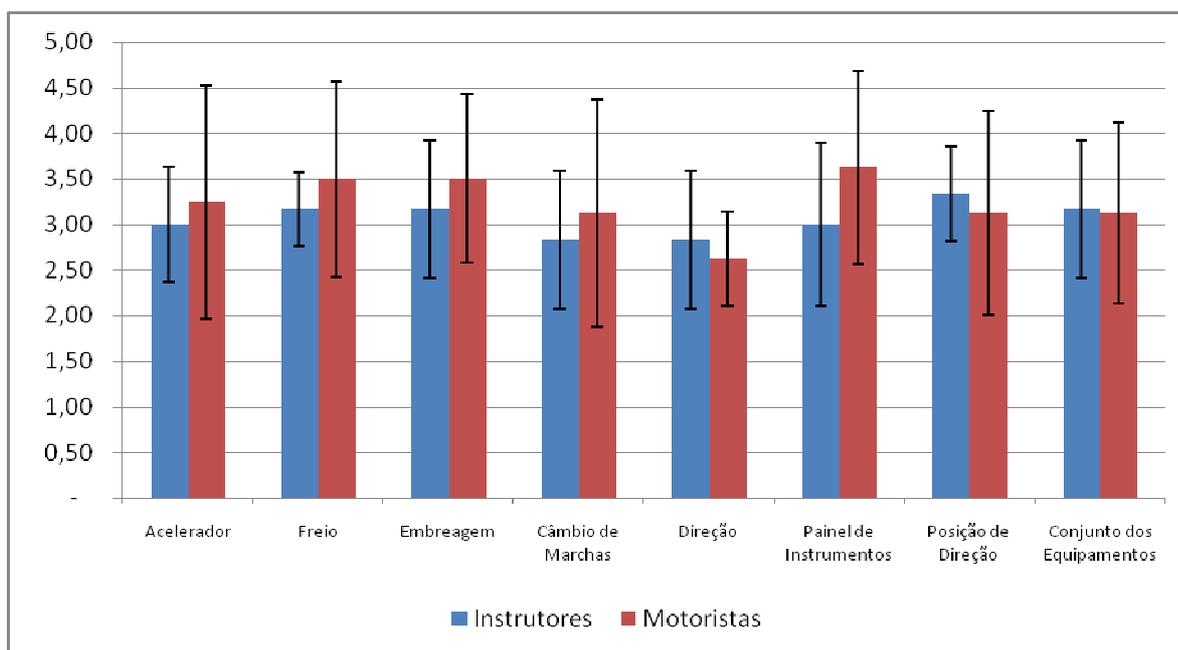


Figura 28 - Nível de realismo percebido pelos usuários com relação aos dispositivos físicos do simulador

Analisando os dados pode-se perceber que os dispositivos do acelerador, freio, embreagem, painel de instrumentos e a posição de direção ficaram classificados como “bom” para ambos os grupos de usuários, sendo melhor avaliados pelos motoristas do que pelos instrutores. O câmbio de marchas recebeu classificação como “bom”, segundo os motoristas, e “ruim” por parte dos instrutores, enquanto que a direção recebeu classificação “ruim” por ambos os grupos de usuários.

De forma geral o conjunto dos equipamentos foi avaliado com nota média superior a 3,00 sendo classificado como “bom”. Com base nestes dados pode-se inferir que os dispositivos utilizados para entrada de dados representam com boa qualidade a os dispositivos de um caminhão real, corroborando assim a hipótese H3.

Os usuários tiveram um espaço no formulário de pós-teste para deixar suas

críticas e sugestões sobre os equipamentos utilizados. Compilando as respostas obtidas de todos os usuários, motoristas e instrutores, observou-se que 71,4% dos usuários consideraram a direção muito leve e por este motivo apresentava muita sensibilidade, comprometendo a dirigibilidade. O câmbio de marchas, por sua vez, foi criticado por 4 usuários (28,6%), que reclamaram que este deveria ser mais firme com a movimentação da alavanca em um curso menor. Além disto, estes mesmos usuários comentaram que a mudança de caixa normal para reduzida deveria ser programada, ou seja, fazendo com que ela fosse acionada na manopla a qualquer momento e só fosse ativada após pressionar a embreagem. Com relação ao suporte da direção, 1 usuário (7,1%) disse que este estava muito flexível e que deveria ficar mais firme, de maneira que evitasse sua movimentação. Sobre a embreagem e o freio, 1 usuário (7,1%) disse que a embreagem deveria possuir um limitador de curso e que o freio deveria ser mais sensível.

### 7.3.2. Avaliação do AV

Na pergunta 3 dos questionários de pós-teste, que dizia respeito ao nível de realismo percebido pelo usuário com relação à qualidade da representação visual do simulador no que se refere às estradas, à responsividade<sup>2</sup> do sistema e ao conjunto de toda interface gráfica do AV, foi utilizada a mesma escala apresentada no item anterior, onde o usuário devia atribuir uma nota de 1 à 5 para cada um dos quesitos de acordo com o nível de realismo por ele percebido. As respostas foram compiladas e são representadas com as médias das notas e o desvio padrão para cada quesito e grupo de usuários. Estes dados estão apresentados na Tabela 7.

Observando os dados da Tabela 7, relacionados às condições das estradas e à sinalização vertical das mesmas, pode-se perceber que a média das notas atribuídas, tanto pelos motoristas quanto pelos instrutores, fica próxima de 4,00, o que as deixa próximas da classificação “muito bom”. Baseado nesta classificação pode-se considerar que as estradas estão representadas de forma realística dentro do AV do protótipo, comprovando assim a hipótese H6.

---

<sup>2</sup> Qualidade das respostas do simulador às entradas de dados

**Tabela 7 - Notas atribuídas à representação visual do simulador**

Grupo	Quesito	Instrutores	Motoristas	Desvio Padrão (Instrutores)	Desvio Padrão (Motoristas)
Responsividade do sistema	Reações do Acelerador	2,50	3,00	0,55	1,20
	Reações da Frenagem	3,17	3,50	0,75	0,93
	Reações da Troca de Marchas	2,83	2,88	0,75	1,46
	Reações da Direção	2,67	2,50	0,82	0,93
Estradas	Condições das Estradas	3,83	3,75	0,41	0,89
	Sinalização Vertical	4,00	3,75	0,89	0,89
Conjunto	Conjunto da Interface do AV	4,00	3,63	0,89	0,92

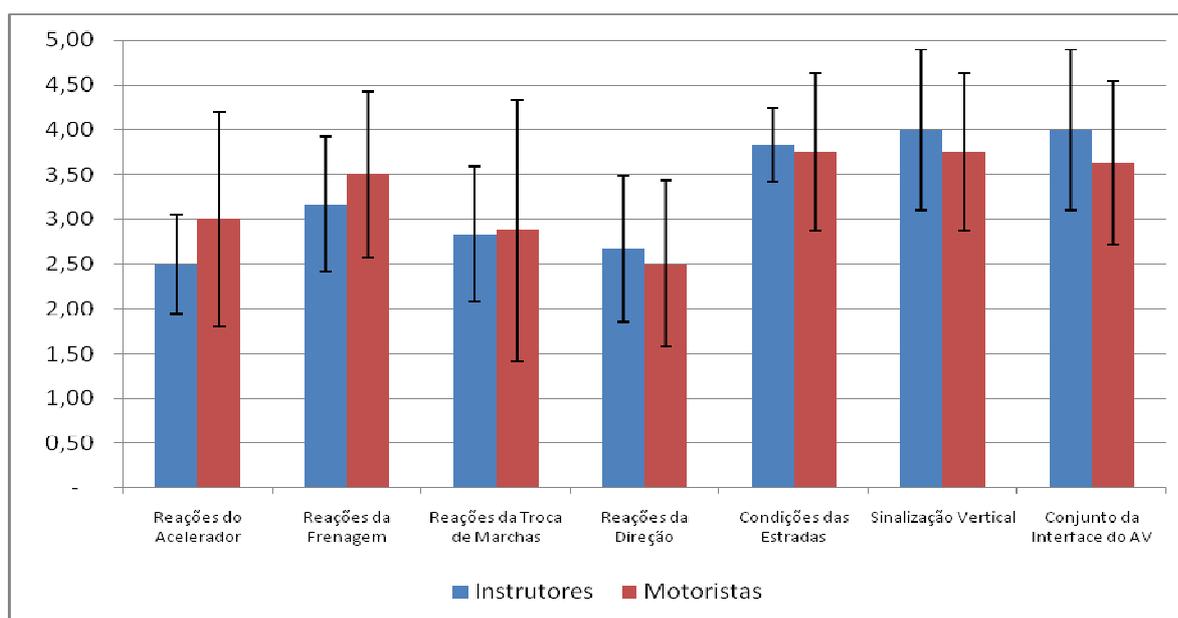


Figura 29 - Gráfico da média e desvio padrão do nível de realismo percebido pelos usuários com relação à representação visual do simulador

Com relação à responsividade do sistema aos comandos executados nos dispositivos físicos de entrada pode-se perceber que existe a necessidade de melhoria, pois apenas as reações de frenagem obtiveram nota média acima de 3,00, ficando classificada como “bom”, por instrutores e motoristas. Os demais quesitos referentes à aceleração, troca de marchas e direção, ficaram com nota abaixo de 3,00. Observa-se também, que mesmo com estas notas atribuídas às partes isoladas do AV, o conjunto de toda a interface gráfica ficou com média 4,00 para os instrutores e 3,63 para os motoristas, o que a coloca muito próxima da classificação “muito bom”.

Uma das hipóteses para que as reações do AV não estejam de acordo com a realidade é a de que o *software* utilizado como base para o desenvolvimento (TORCS) possui sua simulação física embasada em carros e não em caminhões, o que pode ter afetado as interações do caminhão virtual com o AV.

Na pergunta 4 do formulário de pós-teste foi solicitado que o usuário deixasse críticas e sugestões de melhoria para a representação visual do AV. Entre as respostas dos usuários a principal crítica foi com relação às respostas de aceleração, onde 50% dos usuários disseram que deveria ser mais rápida.

Mesmo não sendo avaliados, os dispositivos de som também receberam críticas dos usuários, para 3 usuários (21,7%), os sons que simulavam o barulho do motor estavam baixos. Também houve reclamação pelo fato de que não eram representados os sons do atrito dos pneus com o solo.

De acordo com comentários verbais dos usuários durante a realização dos testes, grande parte deles não conseguia perceber o relevo da pista, ou seja, não sabiam se estavam em um auge, declive ou em um plano, o que os levaria a cometer mais erros relacionados às técnicas de direção econômica. Esta falta de orientação pode ter ocorrido pela falta de experiências prévias dos usuários com ambientes virtuais, já que nenhum deles havia feito uso de simuladores anteriormente.

### 7.3.3. Avaliação da percepção dos instrutores às violações das técnicas de direção econômica realizadas pelo motorista no simulador

Na pergunta 5 do formulário de pós-teste dos instrutores, foi questionado quando à possibilidade de visualização, por parte deste, de violações às técnicas de direção econômica cometidas pelo motorista durante o processo de simulação. O instrutor deveria indicar o quanto havia percebido, dentro da seguinte escala: todas (5), a maioria (4), algumas (3), poucas (2) ou nenhuma (1).

Obteve-se como resposta a este questionamento que 2 instrutores (33%) julgaram que “algumas” violações poderiam ser percebidas e 4 (67%) julgaram que “a maioria” das violações poderia ser percebida. Nenhum dos instrutores entrevistados considerou que “nenhuma”, “poucas” ou que “todas” as violações poderiam ser percebidas. Estes dados estão representados graficamente na Figura 30.

O principal motivo comentado pelos instrutores para que não conseguissem captar mais violações estava relacionado aos sons emitidos pelo protótipo, que não condiziam com os que realmente são produzidos por um caminhão na estrada. Destes sons, os que mais chamaram a atenção dos instrutores de forma negativa, foram: a inexistência do som do atrito dos pneus com o solo, e o ronco do motor do caminhão que

estava muito baixo, como já relatado anteriormente (seção 7.3.2). Outra observação dos instrutores foi com relação à falta de movimento do simulador em subidas, descidas e curvas, o que afeta a identificação do relevo no qual o caminhão está trafegando.

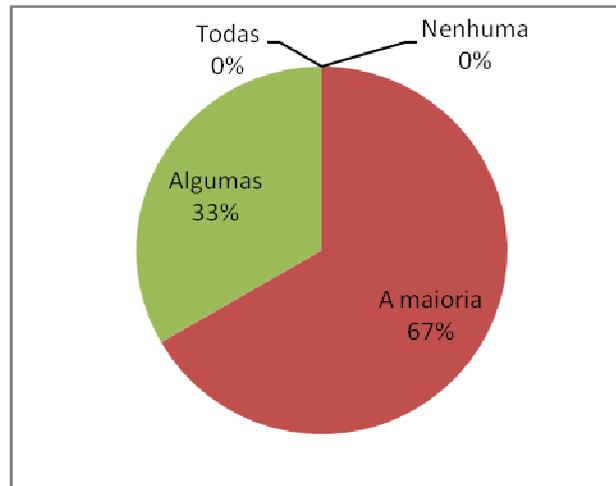


Figura 30 - Quantidade de infrações percebidas pelos instrutores que acompanhavam a simulação de um motorista.

A partir dos dados representados no gráfico da Figura 30 pode-se considerar que um instrutor acompanhando um motorista durante o processo de simulação é capaz de identificar a maioria das ocorrências de infração às técnicas de direção econômica cometidas pelo motorista. Com isto foi possível confirmar apenas parcialmente a hipótese H5, pois os instrutores não conseguem perceber todas as violações cometidas pelo motorista.

#### 7.3.4. Avaliação da sensação de presença provocada pelo simulador

No início de cada um dos testes o usuário realizava um treinamento para adaptar-se aos dispositivos de interação e ao AV. O tempo médio de duração dos testes foi de 17 minutos e 11 segundos. Na pergunta 5 do formulário de pós-teste dos motoristas, foi solicitado que opinassem sobre o tempo gasto para a adaptação aos equipamentos antes do início do teste. Dentre os motoristas, 2 participantes (25%) disseram que este tempo não foi suficiente e desejavam que o treinamento fosse superior a 1 hora e, 6 motoristas (75%) deles disseram que foi suficiente para adaptação aos equipamentos.

Na pergunta 6 do formulário de pós-teste dos motoristas, foi solicitado que estes classificassem o seu nível de presença ao utilizar o protótipo, ou seja, o quanto os

estímulos provocados pelo simulador assemelhavam-se aos de um caminhão a ponto de fazerem sentir-se de fato dirigindo um caminhão real. O motorista devia escolher entre as respostas: “nada”, “um pouco”, “presente” ou “muito presente”. Das respostas obtidas, 5 motoristas (62%) escolheram a opção “pouco presente”, enquanto 1 motorista (13%) respondeu “muito presente” como sua escolha e 2 motoristas (25%) optaram pela opção “presente”. Nenhum dos motoristas escolheu a opção “nada”, com relação à presença. Estes dados estão representados graficamente na Figura 31. Com base nestes dados pode-se inferir que o simulador proporciona pouca sensação de presença em seus usuários, não sendo possível confirmar a hipótese H4.

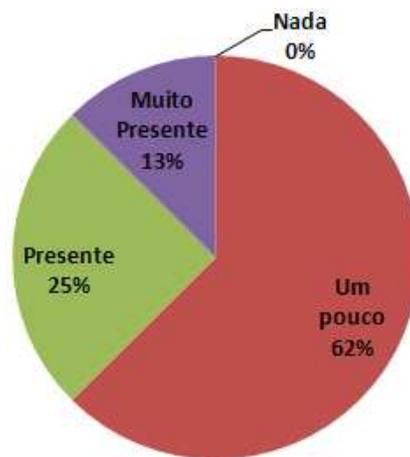


Figura 31 - Nível de presença percebido pelos motoristas durante a utilização do protótipo

Um dos fatores que pode ter influenciado negativamente nos resultados relacionados ao nível de presença é o fato de que durante a realização dos testes o espaço físico utilizado para sua realização não era favorável (Figura 32), deixando o usuário longe da tela e envolto por objetos que em nada lembravam uma cabine de caminhão.

#### 7.3.5. Avaliação dos resultados do monitoramento

Como já foi dito na seção 7.2, durante a realização dos testes com os motoristas o sistema realizava o monitoramento de suas ações e um instrutor realizava esta mesma tarefa. Para verificar se o sistema consegue captar as mesmas violações no uso das técnicas de direção econômica que o instrutor, foram realizadas comparações entre a quantidade de ocorrências percebidas pelo instrutor e pelo sistema durante as simulações realizadas pelos motoristas.



Figura 32 - Ambiente físico da realização dos testes

Dos oito testes realizados com motoristas, dois deles foram desprezados, pois o número de ocorrências que o instrutor sinalizou no sistema era diferente da quantidade de ocorrências que ele havia anotado em sua planilha.

Os quesitos utilizados para avaliação dos resultados do monitoramento foram aqueles já apresentados na Figura 27.

Os dados referentes ao quesito de uso incorreto da embreagem não foram analisados, pois o instrutor não captou esta ocorrência nenhuma vez. Isto ocorreu devido ao fato de que, enquanto o simulador mede a pressão sobre o pedal da embreagem, o instrutor só consegue perceber esta infração pela mudança do som do motor e pelos solavancos gerados quando ocorre uma mudança de marcha com a embreagem pressionada de forma incorreta, efeitos estes que não estavam presentes no protótipo do simulador.

Com relação aos quesitos de utilização incorreta de marcha Ré e 1ª Trator, bem como a realização de *check-list* os resultados foram idênticos entre o instrutor e o simulador para todos os testes.

A quantidade de infrações detectadas pelo sistema e pelo instrutor, nos demais quesitos, é apresentada na Tabela 8. Estes dados foram utilizados para verificar se o sistema é capaz de identificar de forma análoga ao instrutor a ocorrência das violações às técnicas de direção econômica. Para realizar esta verificação foi utilizado ANOVA para cada um dos quesitos com base nos seis testes válidos. A medida ANOVA *One-Way*

(*Unstacked*), relaciona as informações entre si com um fator de testes. Neste caso o fator foi a quantidade de ocorrências de cada um dos modelos, sistema e instrutor. ANOVA compara as variâncias da média dos testes e verifica se os resultados obtidos em cada um dos modelos são estatisticamente diferentes entre si, e se esta diferença é significativa. Para todos os testes realizados foi adotado um nível de significância em 5% ( $\alpha=0,05$ ). Para que os resultados sejam considerados estatisticamente análogos o *p-value*, gerado pela ANOVA, deve ser superior ao valor de  $\alpha$ . O valor de *p-value* em cada um dos quesitos é apresentado na Tabela 9.

**Tabela 8 - Quantidade de infrações detectadas durante os testes**

	Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4		Teste 5		Teste 6	
	S*	I**										
Desrespeito ao limite de velocidade	4	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Trafegar com rotações baixas	2	14	3	1	8	6	2	3	5	2	6	6
Trafegar com rotações altas	1	14	4	4	4	6	1	2	5	8	6	5
Trafegar com rotações muito altas	1	0	2	3	6	4	2	0	3	2	0	3
Arrancada incorreta e parada incorreta	5	4	3	1	2	2	4	1	2	1	1	1
Troca de marchas com rotações baixas	7	6	7	1	17	3	17	1	13	1	4	1
Troca de marchas com rotações altas	34	12	18	5	25	7	11	5	24	8	12	1
Troca de marchas muito rápida	45	9	33	12	56	13	64	1	47	4	16	7
Trafegar com o pé sobre a embreagem	1	6	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Uso incorreto do freio estacionário	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Uso incorreto do freio-motor	2	3	3	4	4	5	1	0	2	2	4	4
Trafegar com pouco ar de freio	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Uso incorreto do ponto morto ou banguela	2	0	1	0	1	0	1	2	1	0	1	0
Freada brusca	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0
Trafegar fora da pista	6	7	2	6	3	1	3	2	2	2	3	3

\* Sistema. \*\* Instrutor

Nos quesitos presentes na Tabela 9, onde *p-value* é superior ao fator de significância  $\alpha$ , a medida estatística indica que a diferença no número de violações detectadas pelo sistema e pelo instrutor não é significativa, podendo ser desprezada, fazendo com que possam ser considerados estatisticamente iguais. Nos quesitos onde isso não ocorre conclui-se que os valores são fortemente díspares e não podem ser considerados como erros aleatórios ocorridos nas amostras de teste, portanto não podem ser considerados estatisticamente análogos.

**Tabela 9 - Resultados obtidos em *p-value* com a aplicação de ANOVA com  $\alpha=0,05$** 

<b>Quesito</b>	<b><i>p-value</i></b>	<b><i>Modelos Estatisticamente Análogos</i></b>
Desrespeito ao limite de velocidade	0,508	Sim
Trafegar com rotações baixas	0,705	Sim
Trafegar com rotações altas	0,147	Sim
Trafegar com rotações muito altas	0,713	Sim
Arrancada incorreta e parada incorreta	0,165	Sim
Troca de marchas com rotações baixas	0,005	Não
Troca de marchas com rotações altas	0,004	Não
Troca de marchas muito rápida	0,001	Não
Trafegar com o pé sobre a embreagem	0,522	Sim
Uso incorreto do freio estacionário	0,145	Sim
Uso incorreto do freio-motor	0,713	Sim
Trafegar com pouco ar de freio	0,001	Não
Uso incorreto do ponto morto ou banguela	0,049	Não
Freada brusca	0,207	Sim
Trafegar fora da pista	0,780	Sim

Dos quesitos onde os modelos não foram considerados estatisticamente análogos através da ANOVA, foi realizada a revisão dos vídeos comparando-os com as ocorrências percebidas pelo instrutor e pelo sistema, buscando-se os motivos que levaram a tal diferença. Após esta análise pode-se perceber que apenas os quesitos de relacionados ao tempo de troca de marchas e ao uso incorreto do ponto-morto ou banguela, permaneceram como sendo identificados de forma incorreta pelo sistema. Desta forma pode-se comprovar em parte a hipótese H1, pois o sistema é capaz de detectar as ocorrências de infração às normas de direção econômica praticadas pelo usuário na maioria dos quesitos à que ele foi proposto.

A seguir são detalhados os quesitos onde os modelos não são considerados estatisticamente análogos através da ANOVA e apresentadas hipóteses que podem ter levado a diferenças nas ações captadas pelo instrutor e pelo sistema.

#### 7.3.5.1. Quesitos de troca de marchas com rotações altas e baixas

Os quesitos de troca de marchas com rotações altas e com rotações baixas possuem disparidade em seus valores e por este motivo não podem ser considerados estatisticamente análogos, a seguir são apresentadas algumas hipóteses que podem ter levado a ocorrência destas disparidades.

A forma como o instrutor costuma perceber um erro durante a troca de marchas está ligada a forma como o caminhão reage, como por exemplo, solavancos no caso de troca com altas ou baixas rotações, sons diferentes emitidos pelo motor do caminhão e trepidação da cabine. Já o sistema desenvolvido detecta as violações de troca de marchas com rotações altas ou baixas através das rotações do motor apresentadas no conta-giros. Há diferenças significativas na quantidade de ocorrências relacionadas à troca de marchas em rotações altas e baixas detectadas pelo sistema e pelo instrutor, estas diferenças ficam claras com os dados apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 - Quantidade de ocorrências detectadas pelo sistema e pelo instrutor nos quesitos de troca de marchas com rotações altas e baixas**

Teste	Troca de Marchas com Rotações Baixas		Troca de Marchas com Rotações Altas	
	Sistema	Instrutor	Sistema	Instrutor
1	7	6	34	12
2	7	1	18	5
3	17	3	25	7
4	17	1	11	5
5	13	1	24	8
6	4	1	12	1

São duas as hipóteses levantadas para a ocorrência destas diferenças. A primeira leva em conta que o protótipo desenvolvido não possui movimento, os sons reproduzidos não são capazes de representar as situações reais de mudança no ronco do motor e, que o analista não está habituado a verificar o estado do conta-giros para perceber estas ocorrências. A segunda hipótese é de que o instrutor não tenha conseguido perceber corretamente o relevo da estrada, como já relatado anteriormente pelos motoristas que utilizaram o simulador (seção 7.3.2). Sendo assim ele pode ter detectado incorretamente violações que exigiam tais percepções, podendo ter gerado as diferenças significativas apresentadas na Tabela 10.

Quanto ao sistema, a forma como são detectadas as violações de troca de marchas com rotação altas ou baixas é realizada exclusivamente através do conta-giros e do relevo da estrada, quando a troca de marchas é realizada com rotações abaixo de 1100 indica que houve uma troca com rotações baixas e, quando a troca ocorre com rotações acima das 1600 indica que houve uma mudança de marcha com as rotações altas, exceto em locais classificados como especiais onde essas normas não são respeitadas.

Com a realização da revisão do vídeo gravado durante a simulação juntamente

com o instrutor pode-se perceber, segundo seus relatos, que grande parte das ocorrências detectadas pelo sistema estavam corretas, com exceção daquelas que aconteciam quando o veículo estava ganhando velocidade ou parando.

#### 7.3.5.2. Quesito de troca de marchas muito rápida

Com relação ao quesito de troca de marchas muito rápida, o simulador estava programado para aceitar como válidas as trocas de marchas com tempo inferior a 2,5 segundos, informação esta obtida durante a etapa de projeto e modelagem do sistema, a partir de entrevistas com instrutores do ISETT.

Com a aplicação dos testes percebeu-se que neste quesito a quantidade de ocorrências detectadas pelo sistema e pelo instrutor, apresentadas na Tabela 11, estão muito dispare, o que leva a crer que o limiar utilizado como fator de tempo estava incorreto. Mesmo com a revisão dos vídeos não foi possível detectar se a velocidade da mudança de marcha estava correta ou não. Em uma situação real, o instrutor detecta este tipo de ocorrência quando nota que o motorista não engata uma marcha rapidamente, deixando o caminhão em ponto morto.

Segundo explicações do instrutor ele detectou essas ocorrências quando o motorista errava a posição da marcha, e por isso demorava para engatar a marcha correta.

**Tabela 11 - Quantidade de ocorrências detectadas pelo sistema e pelo humano com relação à troca de marchas muito rápida**

Teste	Sistema	Instrutor
1	45	9
2	33	12
3	56	13
4	64	1
5	47	4
6	16	7

#### 7.3.5.3. Quesito uso incorreto de ponto-morto ou banguela

Neste quesito o sistema captava as todas as ocorrências onde o câmbio de

marchas ficava por mais de 8 segundos sem nenhuma marcha engatada e com o caminhão em movimento, ou, mais de 2 minutos com o caminhão parado em rotações mínimas.

O sistema detectou diversas vezes este tipo de ocorrência, porém, elas aconteceram no momento das trocas de marcha, quando o motorista não conseguia engatar corretamente a marcha. Por este motivo o registro realizado pelo sistema e pelo instrutor não podem ser considerados análogos.

#### 7.3.5.4. Quesito trafegar com pouco ar de freio

O último quesito que apresentou diferenças significativas nas avaliações do sistema e do instrutor foi o relacionado a trafegar com pouco ar de freio. Neste caso o instrutor não detectou nenhuma ocorrência, como pode ser visto na Tabela 12. Com a revisão dos vídeos percebeu-se que todas as ocorrências detectadas pelo sistema foram relacionadas à arrancada com pouco ar de freio, ou seja, com erros de arrancada, porém, como o caminhão estava em movimento com pouco ar de freio a ocorrência foi registrada de forma incorreta.

**Tabela 12 - Quantidade de ocorrências detectadas pelo sistema e pelo humano com relação à trafegar com pouco ar de freio**

Teste	Sistema	Instrutor
1	0	0
2	1	0
3	1	0
4	1	0
5	1	0
6	1	0

#### 7.3.6. Avaliação do relatório emitido pelo sistema

Na pergunta 6 do formulário de pós-teste dos instrutores, foi solicitado dissessem se o relatório gerado pelo simulador (Figura 20) seria de fato útil para a avaliação do motorista em treinamento. Neste caso 100% dos instrutores disseram que o relatório seria

útil para avaliar o motorista, comprovando a hipótese H2.

Entre as observações feitas pelos instrutores percebe-se que o sistema capta mais ações que o humano e com o relatório em mãos o analista pode julgar os dados com mais calma e de forma mais objetiva para a emissão do parecer do motorista.



## 8. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O uso de simuladores para treinamento cresce a cada dia, principalmente em áreas que envolvem riscos para o treinando e para os que estão à sua volta ou para o meio-ambiente.

Outro fator do aumento do uso de simuladores é a redução do custo do treinamento. Isto se deve ao fato de que ao utilizar equipamentos e situações reais este custo é alto e depende de insumos para sua realização, o que não acontece quando se utilizam simuladores.

Mais uma vantagem dos simuladores está na possibilidade de colocar o treinando em situações que raramente acontecem em seu dia-a-dia, para as quais, entretanto, é extremamente importante que ele esteja preparado.

No desenvolvimento deste trabalho foi construído o protótipo de um simulador de direção de caminhão, capaz de monitorar as ações de direção econômica praticadas por motoristas e registrar suas violações, além de definir uma metodologia para avaliação das ações realizadas pelo motorista. Para comprovar a eficiência do simulador e da metodologia proposta no trabalho, foram realizados testes com motoristas de caminhão e instrutores de direção econômica, estes testes já foram detalhados no Capítulo 7, e, com base neles pode-se chegar às conclusões que seguem.

Com relação aos dispositivos físicos desenvolvidos, pode-se perceber que a comunicação existente entre o sistema e os equipamentos supriu as necessidades do projeto, com o sistema conseguindo captar as ações executadas nos equipamentos de forma correta. O uso de peças reais auxiliou os usuários em sua ambientação com os equipamentos e facilitou sua interação com os mesmos. Como proposta para melhorar a forma de captação de dados pode-se utilizar sensores analógicos de maior precisão com a finalidade de captar com mais fidelidade as ações executadas nos pedais e na direção. Além disso, deve-se inserir na direção um dispositivo de *force feedback*, para proporcionar mais qualidade no comportamento da direção.

Quanto ao AV utilizado, ele mostrou-se eficiente quanto ao nível de realismo das estradas, que foram projetadas para representar a realidade das estradas brasileiras, porém, apresentou deficiências com relação à responsividade do sistema. Uma das alternativas para melhorar a responsividade do sistema é o desenvolvimento de uma *engine* que simule os efeitos físicos com base em caminhões, já que o sistema utilizado

como base de desenvolvimento simulava a física com automóveis de passeio.

Outra melhoria necessária é relacionada aos sons emitidos pelo simulador, que devem reproduzir, além do som do motor, o barulho do atrito dos pneus com o solo. Além disto, pode-se ainda incrementar o AV inserindo nele casas, edifícios, parques e demais construções para tornar o ambiente mais real e familiar ao motorista.

Para a maioria dos instrutores que acompanharam a simulação foi possível perceber grande parte das ocorrências de violação no uso das técnicas de direção econômica executadas pelo motorista. Para aumentar o número de violações percebidas pelos instrutores, pode-se colocar um monitor adicional que apresente em tempo real as violações percebidas pelo sistema, facilitando assim sua visualização.

A sensação de presença medida entre os motoristas que participaram dos testes, não foi considerada boa, isto pode ter ocorrido devido à inexistência de condições ideais dentro do ambiente físico onde os testes foram realizados. Objetivando melhorar a sensação de presença pode-se utilizar uma cabine de caminhão com todos os seus equipamentos para que o motorista interaja com eles. Outra providência pode ser inserir dispositivos que façam com que a cabine produza movimentos de acordo com o relevo e com o comportamento do motorista, neste caso, os principais movimentos seriam a trepidação em terrenos ruins, inclinações em subidas e descidas e solavancos quando ocorre uma troca de marchas incorreta ou a passagem sobre buracos.

O relatório emitido pelo sistema com os resultados obtidos durante o monitoramento das ações do motorista demonstrou ser uma ferramenta útil para os instrutores que estiverem avaliando motoristas. Porém, algumas violações foram captadas pelo sistema de forma incorreta, prejudicando a qualidade dos resultados. Como melhoria propõe-se realizar novo levantamento de dados, com motoristas e instrutores, com a finalidade de obter um limiar mais preciso com relação ao tempo de troca de marchas, bem como melhorar o sistema de controle de troca de marchas, tanto em sua forma física, com a inclusão de um câmbio de marchas real, quanto na forma lógica, programando corretamente o efeito de mudança para a caixa reduzida.

De forma geral os resultados obtidos foram satisfatórios e, com a inclusão das melhorias aqui propostas, espera-se que seja desenvolvido um simulador de direção de caminhão que possa auxiliar no treinamento de motoristas brasileiros.

## REFERÊNCIAS

- [AAS04] AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials. "Design control and criteria". Capturado em: [www.ent.ohiou.edu/~trans/CE566/PDF%20Files%20for%20Web/Design%20Vehicles.pdf](http://www.ent.ohiou.edu/~trans/CE566/PDF%20Files%20for%20Web/Design%20Vehicles.pdf), Agosto 2008.
- [AGE08a] Agência Nacional de Transportes Terrestres. "Transporte de Cargas". Capturado em: [www.antt.gov.br/carga/ferroviario/ferroviario.asp](http://www.antt.gov.br/carga/ferroviario/ferroviario.asp), Fevereiro 2008.
- [AGE08b] Agência Nacional de Transportes Terrestres. Dispõe sobre o exercício da atividade de transporte rodoviário de carga por conta de terceiros e mediante remuneração e estabelece procedimentos para inscrição no Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Carga – RNTRC, e dá outras providências. Resolução Nº 2550 de 14 de fevereiro de 2008.
- [ALL05] Allen, T.; Tarr, R. "Driving Simulators for Comercial Truck Drivers – Humans in de Loop". In: Driving Assessment 2005: 3rd International Driving Symposium on Human Facotrs in Drivver Assessment, Training an Vehicle Design, 2005, pp. 335-341.
- [ARJ05] Arjona, J. T.; Menéndez, J. M. "Virtual Reality Devices in Driving Simulators: State of the Art and Ongoing Developments at U.P.M.". In: 6th Framework Programme – Priority 2 "Information Society Technologies". 2005.
- [ASS06] Assis, G. A. et al. "EducaTrans: um Jogo Educativo para o Aprendizado do Trânsito". *Revista de novas tecnologias na educação*. vol. 4, Dezembro 2006, pp. 25141.
- [AUG06] Augusto, R. L. et al. "GP Brasil VR: uma Corrida de Carros em Realidade Virtual". In: SB Games 2006 Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Intertainment, 2006, Recife. SB Games 2006. Recife : SBC, 2006.
- [BIO02] Biochini, H. D. "Mais eficiência no uso de combustível". *Revista Transporte Moderno*, vol. 399, Maio 2002, pp. 51-52.
- [BLE09] Blender. "Blender". Capturado em: [www.blender.org](http://www.blender.org), Fevereiro 2009.
- [BRA08] Brand, J. G. "Graphics for a 3D Driving Simulator", Bachelor Thesis, Center for Intelligent Information Processing Systems, University of Western Australia, 2008, 71p.

- [BRA99a] Brasil - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. "Manual de projeto geométrico de rodovias rurais". Rio de Janeiro: IPR. Publ, 1999. 195p.
- [BRA99b] Brasil - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. "Manual de sinalização rodoviária". Rio de Janeiro: IPR. Publ, 1999, 2 ed, P. irreg.
- [CHR08] Christophe Guionneau Eric Espi. "Torcs, the open racing car simulator". Capturado em <http://torcs.sourceforge.net>, Fevereiro 2008.
- [CNT07] CNT. "Pesquisa rodoviárias 2007: relatório gerencial". Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2007, 160p.
- [CON06] CONTRAN. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências. Resolução n. 210 de 13 de novembro de 2006.
- [DEP00] Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina. "Diretrizes para concepção de estradas (DCE)". Capturado em [www.deinfra.sc.gov.br/downloads/relatorios\\_e\\_documentos/documentos\\_tecnicos/engenharia\\_rodoviaria/Diretrizes\\_para\\_a\\_Concepcao\\_de\\_Estradas\\_\(DCE\).pdf](http://www.deinfra.sc.gov.br/downloads/relatorios_e_documentos/documentos_tecnicos/engenharia_rodoviaria/Diretrizes_para_a_Concepcao_de_Estradas_(DCE).pdf), Setembro 2008.
- [GAI06] Gaines, L.; Vyas, A.; Anderson, J. L. "Estimation of Fuel Use by Idling Commercial Trucks". In: 85<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2006, pp. 91-98.
- [LEE00] Lee, S. H. "Introdução ao projeto geométrico de rodovias". Florianópolis: EDUFSC, 2000, 418p.
- [PAI07] Paiva, J. G. de S.; Cardoso, A.; Lamounier Jr, E. "Uma proposta para o tratamento de fobias de direção através da criação de rotas automotivas virtuais". *Aletheia [online]*, vol. 25, Junho 2007, pp. 97-108.
- [PEL06] Pelegrini, P. T. "Contribuição para o estudo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem para rodovias bidirecionais com duas faixas de tráfego", Dissertação de Mestrado em Engenharia, USP, 2006, 275p.
- [PER07] Pereira, J. A. M. et al. "CLEANDRIVE – A Safe And Environmentally Friendly Driving Simulator". Capturado em: <http://www.inesc-id.pt/ficheiros/publicacoes/4586.pdf>, Maio 2008.
- [PIN02] Pinho, M. S. "Manipulação Simultânea de Objetos em Ambientes Virtuais Imersivos". Tese de doutorado, UFRGS, 2002, 107p.

- [PRO08] Programa Nacional de Racionalização do Petróleo e do Gás Natural – CONPET. "Dirigir corretamente também diminui os custos". Capturado em: [www.conpet.gov.br/comofazer/comofazer\\_int.php?segmento=&id\\_comofazer\\_serie=9](http://www.conpet.gov.br/comofazer/comofazer_int.php?segmento=&id_comofazer_serie=9), Fevereiro 2008.
- [RAI03] Ranney, T. A. et al. "Investigation of Driver Reactions to Tread Separation Scenarios in the National Advanced Driving Simulator (NADS)", Technical Report, National Technical Information Service, Springfield, 2003, 116p.
- [SCA08] SCANIA. "Treinamento". Capturado em: [www.scania.com.br/Sobre\\_Scania/responsabilidade\\_social/treinamento](http://www.scania.com.br/Sobre_Scania/responsabilidade_social/treinamento), Março 2008.
- [SEN08] SENSYR LLC. "TNG-3B FAQ". Capturado em: [www.sensyr.com/TNG3B/TNG3B.FAQ.pdf](http://www.sensyr.com/TNG3B/TNG3B.FAQ.pdf), Setembro 2008.
- [SIL03] Silveira, G. L. da. "Monitoramento do consumo de combustível de veículos de transporte rodoviário de madeira utilizando computador de bordo", Dissertação de mestrado em ciência florestal, UFV, Viçosa, 2003, 55p.
- [STO00] Stodolsky, F.; Gaines, L.; Vyas, A. "Analysis of Technology Options to Reduce the Fuel Consumption of Idling Trucks", Technical Report, United States Department of Energy, The University of Chicago, 2000, 40p.
- [SUI05] Suikat, R. "The New Dynamic Driving Simulator at DLR". In: Driving Simulator Conference North America 2005, 2005, pp. 374-381
- [WAN06] Wanke, P.; Fleury, P. F. "Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos". In: Negri de, J. A.; Kubota, L. C. "Estrutura e dinâmica do setor de serviços no Brasil". Brasília: IPEA, 2006, cap. 12, pp. 409-464.



## APÊNDICE A - Termo de consentimento livre e esclarecido

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE INFORMÁTICA

“Uso de Ambientes Virtuais para Monitoramento de Técnicas de Condução Econômica em Caminhões”

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Agradecemos sua participação nos testes da dissertação de mestrado “**Uso de Ambientes Virtuais para Monitoramento de Técnicas de Condução Econômica em Caminhões**”.

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de um sistema de simulação de direção para monitoramento de ações de direção econômica, quando comparado à análise de especialistas humanos. Para isto, os participantes são convidados a testarem o simulador conduzindo um caminhão por uma estrada. A simulação é gravada em vídeo e acompanhada por um instrutor de direção econômica.

Lembramos que o objetivo **não** é avaliar o participante, **mas sim** avaliar a eficiência do simulador criado. O uso que se faz dos registros efetuados durante os teste é **absolutamente** limitado à atividade de pesquisa e desenvolvimento, garantindo-se para tanto que:

1. O anonimato dos participantes será garantido em todo e qualquer documento divulgado em foros científicos (tais como conferências, periódicos, livros e assemelhados);
2. Todo participante terá acesso a cópias destes documentos após a publicação dos mesmos;
3. Todo participante que se sentir constrangido ou incomodado durante os testes pode se retirar e estará colaborando de forma importante com a equipe se registrar por escrito as razões ou sensações que o levaram a esta atitude. A equipe fica obrigada a descartar suas contribuições para fins da avaliação que se destinaria;
4. Todo participante tem direito de expressar por escrito, na data do encontro, qualquer restrição ou condição adicional que lhe pareça aplicar-se às garantias enumeradas em (1), (2) e (3), acima. A equipe do projeto se compromete a observá-la com rigor e entende que, na ausência de tal manifestação, o participante concorda que estas diretrizes conduzam o comportamento ético da equipe de pesquisadores;
5. A equipe do projeto tem direito de utilizar os dados surgidos durante os testes, mantidas as condições acima mencionadas, para quaisquer fins acadêmicos contemplados por seus membros.

( ) Estou de pleno acordo com os termos acima.

( ) Em anexo registro condições adicionais para participar dos testes.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do participante

\_\_\_\_\_  
Assinatura do observador

\_\_\_\_\_  
Nome do participante



## APÊNDICE B - Protocolo de treinamento do instrutor

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE INFORMÁTICA

### “Uso de Ambientes Virtuais para Monitoramento de Técnicas de Condução Econômica em Caminhões”

#### Roteiro de testes - Treinamento do instrutor

Para que possamos realizar a análise e discussão dos dados que o simulador consegue perceber é necessário que você registre os eventos que considera como sendo violações às técnicas de direção econômica.

Estão sendo consideradas violações:

- O controle de RPMs
- A Troca de marchas
- A velocidade
- Uso incorreto do sistema de freios
- Andar com o pé sobre a embreagem
- Trafego fora da pista
- Arrancada de forma incorreta

Para o controle você receberá esta planilha (*entregar planilha*) onde deverá marcar com um número único e sequencial as ocorrências, e, ao mesmo tempo acionar o botão que irá registrar no sistema a existência de uma ação incorreta realizada pelo usuário.

*(a cada ocorrência o sistema registra um evento e na geração do relatório ele apresenta números sequências para sincronização dos dados)*

Agora iremos realizar um treinamento, repetiremos este treinamento até que você sintá-se à vontade e tenha segurança sobre a forma de registro das ocorrências.

Podemos começar?

*Iniciar o modo de simulação*

*Ao término na simulação mostrar os resultados e verificar com o instrutor se foi capturado tudo o que ele registrou na planilha.*



## APÊNDICE C - Protocolo de testes

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE INFORMÁTICA

### “Uso de Ambientes Virtuais para Monitoramento de Técnicas de Condução Econômica em Caminhões”

#### Roteiro de testes

##### **Estado inicial**

Para iniciar a simulação o estado dos dispositivos deve estar da seguinte forma:

*Marcha: Ponto morto*  
*Reduzida: ligado (para baixo)*  
*Shift: caixa baixa (para baixo)*  
*Freio motor: desligado*  
*Freio estacionário: ligado*

##### **Antes de iniciar**

*Abrir o programa*

##### **Apresentação**

Obrigado por aceitar participar dos testes de validação do protótipo do simulador para utilização de técnicas de direção econômica. Ressaltamos que não é você que está sendo avaliado e sim o simulador.

Para realizar o teste você irá preencher um termo de consentimento para a realização do teste, em seguida um formulário de pré-teste que servirá para identificarmos os grupos de usuários. Logo após lhe será fornecido um treinamento para utilização do simulador. Em seguida você passará a utilizar o simulador em um percurso de testes com as atividades monitoradas. No final receberá outro formulário que servirá para que você avalie o simulador.

*Entregar termo de consentimento*

*Entregar formulário de pré-teste*

##### **Tutorial**

Iremos realizar um pequeno treinamento para que você possa adaptar-se com a sensibilidade dos equipamentos. Buscamos torná-los parecidos com os dispositivos reais que está acostumado a utilizar, porém existem algumas diferenças, principalmente relacionados à sensibilidade dos pedais e da direção.

*Entrar no tutorial*

##### **Apresentação os equipamentos**

O interruptor que está mais a sua direita no painel é utilizado para ligar e desligar o freio motor, quando estiver ligado (para cima) será apresentada no painel um indicativo verde, quando estiver desligado é apresentado na cor preta.

Ao lado do freio motor está o freio estacionário, ao ligá-lo aparecerá um indicador vermelho na tela.

No câmbio de marchas a Ré está localizada para a esquerda e para frente, a 1ª. Trator está para trás. A primeira e a quarta marchas estão no centro e para trás; a segunda e a quinta estão à direita e para frente; a terceira e a sexta estão à direita e para trás. A mudança de caixa de marchas deve ser realizada com a utilização do *shift*, que é o botão que está na parte de baixo da manopla de marchas. Para utilizar a caixa baixa deixe o botão para baixo e para utilizar a caixa alta deixe o botão para cima.

O botão na alavanca de marchas, é utilizado para engatar a caixa reduzida. Quando a reduzida estiver para baixo está ativa, quando estiver para cima está sendo utilizada a marcha normal. Quando a reduzida estiver ligada aparecerá um indicador na tela.

Os pedais seguem os padrões do caminhão, acelerador, freio e embreagem.

Você entendeu a posição dos equipamentos?

*Sair e entrar novamente no modo tutorial.*

Agora você irá dirigir o caminhão em uma pista de testes com o objetivo de adaptar-se aos equipamentos. Durante o percurso será solicitado que realize algumas operações, não se preocupe se estas ações não satisfaçam as condições de direção econômica, elas servem apenas para demonstrar como utilizar cada uma das funcionalidades do simulador.

Você poderá fazer qualquer pergunta durante esta etapa.

O treinamento será realizado em duas ou três voltas pela pista.

Na primeira você deve dirigir normalmente. Na segunda será solicitado que realize algumas tarefas, assim que concluir as tarefas poderemos parar o treinamento quando desejar.

Podemos começar?

*Na segunda volta do treinamento*

Situação	Ação
Iniciando a segunda volta	Parar o caminhão
Caminhão parado	Arrancar em 2 <sup>a</sup> . marcha reduzida Andar normalmente até atingir 40km/h
Com o caminhão acima de 40Km/h	Ligar o freio motor Frear até parar o caminhão Desligar o freio motor quando o caminhão parar
Caminhão parado	Arrancar normalmente Atingir 50km/h Ligar o freio estacionário Frear até parar
Caminhão parado	Arrancar normalmente, quando estiver em 3 <sup>a</sup> . marcha reduzida engatar a 6 <sup>a</sup> . Marcha normal

*Finalizar o processo de treinamento*

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE INFORMÁTICA

**“Uso de Ambientes Virtuais para Monitoramento de Técnicas de Condução Econômica em Caminhões”**

**Roteiro de testes - Simulação**

***Estado inicial***

*Para iniciar a simulação o estado dos dispositivos deve estar da seguinte forma:*

*Marcha: Ponto morto  
Reduzida: ligado (para baixo)  
Shift: caixa baixa (para baixo)  
Freio motor: desligado  
Freio estacionário: ligado*

***Detalhamento***

Agora que já passamos pela etapa de treinamento daremos início à simulação propriamente dita. Lembra novamente que não é você que está sendo avaliado e sim os equipamentos aqui presentes. A simulação está sendo gravada e será acompanhada por um instrutor com o objetivo de verificar se o sistema consegue identificar corretamente suas ações.

A partir do momento que a simulação iniciar não poderei mais responder suas perguntas. Caso não se sinta à vontade ou não se sinta bem durante a simulação basta solicitar que ela seja interrompida.

A simulação consiste em dirigir um caminhão por uma estrada realizando tarefas que serão solicitadas a medida que o tempo for passando. O percurso possui em torno de 13 km. Você deve dirigir da forma como costuma dirigir normalmente, utilizando os equipamentos que estão a sua disposição. Antes de iniciar a simulação você deve responder algumas questões relacionadas ao caminhão para que possamos verificar seus equipamentos básicos.

*Preencher a tela de check-list*

Agora podemos iniciar a simulação. No entorno da pista estão dispostas placas vermelhas com letras brancas. A cada uma destas placas será solicitado que você execute alguma operação. Ao chegar no ponto final da simulação, que estará indicado no asfalto, basta parar o caminhão.

Podemos começar?

*Iniciar a simulação*

**Ações**

A-Pare na primeira faixa de pedestre e aguarde por 3 minutos  
B-Entre a direita no cruzamento  
C- Passe a lombada e engate marcha ré em frente ao cruzamento.  
Ande por alguns metros de ré. Arranque normalmente e siga  
D-Pare no acostamento e arranque em aclave íngreme  
E-Utilize o freio motor para a descida  
F-Siga reto no trevo  
G-Contorne o viaduto e retorne pela pista posta a esta  
H-Pare o caminhão na indicação presente no asfalto

**Quando o usuário terminar.**

*Encerrar o processo de simulação*

Obrigado por te participado dos testes do simulador. Agora gostaria que você preenchesse este formulário para falar de como foi sua experiência com o uso destes equipamentos.

**Criando o relatório**

*Executar o arquivo analise.exe*

*Criar um diretório com o nome do número do teste e o nome do participante*

*Copiar o arquivo relato.txt para o diretório*



**APÊNDICE D - Questionário pré-teste**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE INFORMÁTICA

**“Uso de Ambientes Virtuais para Monitoramento de Técnicas de Condução Econômica em Caminhões”**

**Formulário de pré-teste**

1. Qual sua idade?

---

2. Utiliza óculos ou lente de contato?

sim

não

3. Quanto tempo de experiência possui dirigindo caminhões?

---

4. Há quanto tempo realizou o treinamento teórico de direção econômica?

não realizei

menos de 2 meses

de 2 a 6 meses

mais de 6 meses

5. Com relação a sua profissão:

sou *trainee*

sou motorista autônomo

sou motorista de empresa

não sou motorista profissional

6. Qual o modelo do caminhão que está habituado a dirigir?

---





3. Atribua uma nota de 1 a 5 para o nível de realismo percebido por você referente à **representação visual** do simulador

Quesito	1 Péssimo	2 Ruim	3 Bom	4 Muito bom	5 Ótimo
Reação da aceleração					
Reação da frenagem					
Reação da troca de marcha					
Reações da direção					
Condições da superfície da estrada					
Sinalização vertical da estrada (placas)					
Conjunto da interface gráfica					

4. Sugestões de melhorias ou reclamações sobre a apresentação visual do simulador.

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

5. O tempo utilizado para adaptação aos equipamentos foi adequado? Se puder, justifique sua resposta.

sim       não

---



---



---

6. Quanto se sentiu dirigindo um caminhão durante a simulação?

nada     um pouco     presente     muito presente



3. Atribua uma nota de 1 a 5 para o nível de realismo percebido por você referente à **representação visual** do simulador

Quesito	1 Péssimo	2 Ruim	3 Bom	4 Muito bom	5 Ótimo
Reação da aceleração					
Reação da frenagem					
Reação da troca de marcha					
Reações da direção					
Condições da superfície da estrada					
Sinalização vertical da estrada (placas)					
Conjunto da interface gráfica					

4. Sugestões de melhorias ou reclamações sobre a apresentação visual do simulador.

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

5. É possível perceber as ações do motorista utilizando o simulador?

- ( ) todas  
 ( ) a maioria  
 ( ) algumas  
 ( ) poucas  
 ( ) nenhuma

6. O relatório emitido é útil para realizar uma avaliação do motorista? Por que?

- ( ) sim  
 ( ) não

---



---



---



---





## ANEXO A - Formulário de Avaliação de Aulas Práticas do ISETT

### AVALIAÇÃO DAS AULAS PRÁTICAS

#### PROGRAMA DE TREINAMENTO DE MOTORISTAS DE CAMINHÃO

#### ISETT - 2008

ITEM	DESCRIÇÃO	NOTA 0 - 5	MÉDIA				
01	Como se comunica com o cliente						
02	Hábitos de higiene e conservação						
03	É calmo, objetivo, equilibrado						
04	Respeita normas e regras						
05	É atencioso						
06	Realiza pré-inspeção						
07	Verifica pneus e rodas						
08	Verifica o funcionamento de luzes e faróis						
09	Frenagens						
10	Acelerações						
11	Aclives						
12	Declives						
13	Retornos						
14	Estacionamento						
15	Marchas						
16	Curvas						
17	Distância do veículo da frente						
18	Velocidade						
19	Cruzamentos						
20	Ultrapassagens						
21	Arrumação de cargas						
22	Conhece e respeita os sinais de trânsito						
23	Utiliza planilha de custos para acompanhar a evolução financeira do caminhão						
24	Quando necessário, utiliza os mapas e guias						
	MÉDIA FINAL						

MULTIPLICADOR

ALUNO

COORD.PEDAGÓGICO