

**SIMULADOR VISUAL DE REACH STACKER UTILIZANDO RECURSOS DE
REALIDADE VIRTUAL**

Albino Ribeiro Neto

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil, COPPE, da Universidade Federal do
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de Mestre
em Engenharia Civil.

Orientadores: Luiz Landau

Gerson Gomes Cunha

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2014

SIMULADOR VISUAL DE REACH STACKER UTILIZANDO RECURSOS DE
REALIDADE VIRTUAL

Albino Ribeiro Neto

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIS COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. Luiz Landau, D.Sc.

Prof. Gerson Gomes Cunha, D.Sc.

Prof. José Luis Drummond Alves, D.Sc.

Prof^a. Cristina Jasbinscheck Haguenauer, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

FEVEREIRO DE 2014

Ribeiro Neto, Albino

Simulador Visual de Reach Stacker Utilizando Recursos
De Realidade Virtual / Albino Ribeiro Neto - Rio de Janeiro:
UFRJ/COPPE, 2014.

XVII, 123 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Luiz Landau

Gerson Gomes Cunha

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de
Engenharia Civil, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 105 - 117

1. Realidade Virtual.
 2. Computação Gráfica.
 3. Imersão.
 4. Modelagem 3D.
- I. Landau, Luiz *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

*“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens,
mas em ter novos olhos.”*

(Marcel Proust)

DEDICATÓRIA

À Deus pela minha existência, saúde e discernimento.

*À minha mãe Dona Nice por toda a educação proporcionada, seus ensinamentos, amor
e compreensão...*

*Ao meu falecido pai Seu Carlinhos, por ter sido um exemplo de superação mesmo com
todas as dificuldades enfrentadas no seu percurso e homem justo e correto...*

*À minha amada noiva Maira Fernanda Gizotti por todo amor, companheirismo e
dedicação. Tantas qualidades que fica difícil enumerar.*

*Aos meus queridos irmãos por ter cada um à sua maneira, contribuído para a formação
do meu caráter.*

Agradecimentos

Aos meus orientadores Luiz Landau e Gerson Gomes Cunha, pelas orientações e conselhos no decorrer desta dissertação e oportunidade de trabalho no Grupo de Realidade Virtual aplicada GRVa/LAMCE/COPPE/UFRJ e também por oferecer toda a infraestrutura necessária para a construção do protótipo objeto desta dissertação, essenciais para a conclusão desta fase de pesquisa.

À professora Cristina Jasbinscheck Haguenauer, pela orientação na iniciação científica e projetos que participei no Laboratório de Pesquisa em Tecnologias da Informação e Comunicação – LATEC/UFRJ e todo o suporte no decorrer do desenvolvimento desta dissertação.

Ao professor José Luis Drummond Alves pela participação na banca, disponibilidade e apoio.

Ao professor Álvaro José Rodrigues de Lima e professora Luciana Lima pela oportunidade de monitoria na disciplina de Geometria Descritiva durante a minha graduação e orientação do caminho a ser seguido na vida acadêmica.

Ao Programa de Engenharia - Civil PEC/COPPE/UFRJ por oferecer um curso de Pós Graduação de extrema qualidade.

À todos os professores da Escola de Belas Artes, em especial aos professores Samuel Sampaio Abrantes, Helenise Monteiro Guimarães e Carlos Terra por todo o apoio e incentivo no decorrer da minha graduação.

Aos Colegas de trabalho do Grupo de Realidade Virtual aplicada - GRVa/LAMCE/COPPE/UFRJ pelo incentivo e apoio técnico.

Ao Laboratório de tecnologia Oceânica - LabOceano/COPPE/UFRJ, por permitir o desenvolvimento de outros projetos em paralelo ao desenvolvimento da minha dissertação, em especial ao Coordenador do Laboratório, o professor Paulo de Tarso

Themístocles Esperança e ao professor Sérgio Hamilton Sphaier do Programa de Engenharia Naval e Oceânica – PENO/COPPE/UFRJ.

Aos funcionários da secretaria acadêmica, em especial ao Jairo, Beth e Michael por toda a orientação com os procedimentos e documentação necessários para a conclusão do Mestrado.

Aos responsáveis pelo Terminal de Contêineres da Multirio no Porto do Rio de Janeiro por permitir a pesquisa de campo, acesso aos equipamentos, acesso aos operadores de Reach Stacker e a todo o material técnico bem como os manuais de operação.

À Biblioteca do Centro de Tecnologia por disponibilizar os livros, Dissertações e Teses.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro por disponibilizar ensino de excelência e professores de alto nível.

Ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico por financiar meus estudos através da Bolsa de Mestrado.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

**SIMULADOR VISUAL DE REACH STACKER UTILIZANDO RECURSOS DE
REALIDADE VIRTUAL**

Albino Ribeiro Neto

Fevereiro / 2014

Orientadores: Luiz Landau

Gerson Gomes Cunha

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de simulador visual de Reach Stacker utilizando recursos de realidade virtual e painel similar ao encontrado na cabine do veículo real, desenvolvido através de modeladora 3D e eletrônica utilizando a plataforma Arduino.

A pesquisa e desenvolvimento deste protótipo foram iniciados devido à necessidade de treinamento e capacitação de profissionais na área portuária, principalmente de operadores de Reach Stackers. Por serem veículos de transporte e movimentação de contêineres com grande utilização em pátios de estocagem nos portos, a utilização de um ou mais desses veículos especificamente para treinamento, acarretaria em prejuízo e na diminuição da produtividade, além dos riscos da utilização de um equipamento pesado por operadores inexperientes. A utilização de um simulador possibilita a inserção em um ambiente virtual similar ao real a um custo mais baixo. Os resultados obtidos foram um simulador em realidade virtual que possui recursos suficientes para treinar e capacitar novos operadores e reciclar operadores que já utilizam o equipamento real.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

**VISUAL SIMULATOR OF REACH STACKER USING VIRTUAL
REALITY RESOURCES**

Albino Ribeiro Neto

February / 2014

Advisors: Luiz Landau

Gerson Gomes Cunha

Department: Civil Engineering

This work presents the development of a visual simulator prototype of Reach Stacker using virtual reality resources and a panel similar to the one found in the cabin of the actual vehicle, developed through 3D modeling and electronics using the Arduino platform.

The research and development of this prototype were initiated due to the need for training and qualification of professionals in the port sector, mainly Reach Stackers operators. Considering they are containers transport and handling vehicles with great use in ports' stockyards, the use of one or more of these vehicles, specifically for training, would result in losses and reduction in productivity besides the risks of a heavy equipment use by inexperienced operators. The use of a simulator enables the insertion in a virtual environment similar to real at a lower cost. The results obtained were, a virtual reality simulator which possesses sufficient resources for training and qualifying new operators and reskill workers who already operate the real equipment.

ÍNDICE

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

I.1	Introdução.....	1
I.2	Motivação.....	2
I.3	Objetivos.....	3
I.4	Relevância.....	3
I.5	Definição do problema.....	4
I.6	Resultados esperados.....	6
I.7	Organização da Dissertação.....	6

CAPÍTULO II – ESTADO DA ARTE

II.1	Introdução.....	8
II.2	Realidade Virtual.....	8
II.2.1	O que é Realidade Virtual?.....	9
II.2.2	Utilizações e potencial da Realidade Virtual.....	10
II.3	A Experiência do GRVa/LAMCE/COPPE.....	15

CAPÍTULO III – METODOLOGIA

III.1	Introdução.....	18
III.2	Procedimentos metodológicos.....	18
III.3	Contexto.....	19
III.4	Sujeitos.....	19
III.5	Coleta e análise de informações.....	20
III.6	Etapas.....	20
III.7	Público alvo para a aplicação da simulação.....	21

CAPÍTULO IV – RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO

IV.1	Introdução.....	22
IV.2	Simulador de Passadiço.....	22
IV.3	Simulador de Recuperadora de Roda de Caçamba.....	25
IV.4	Simulador do Centro de Simulação Aquaviária - CSA.....	28
IV.5	Simulador de Colheita Florestal.....	32
IV.6	Simuladores de Reach Stacker similares.....	35
IV.7	Conclusões do capítulo	38

CAPÍTULO V – ELEMENTOS DO SISTEMA

V.1	Introdução.....	39
V.2	Cenários virtuais utilizados em simulação.....	39
V.3	3ds Max.....	40
	V.3.1 Características.....	41
V.4	Quest3D.....	44
	V.4.1 Características.....	47
V.5	Adobe Photoshop.....	51
	V.5.1 Características.....	51
V.6	Pesquisa de Campo.....	53
V.7	Modelagem 3D.....	56
V.8	Programação visual no Quest3D.....	56
	V.8.1 Desenvolvimento do Software do Simulador de Reach Stacker.....	61
	V.8.2 Sistema de engate de contêineres do Simulador de Reach Stacker.....	67
	V.8.3 Botões e luzes do painel do Simulador de Reach Stacker.....	71
V.9	Moldagem do painel utilizando a Modeladora 3D MDX40 da Roland DG	76
	V.9.1 O <i>Vacuum Forming</i>	82
	V.9.2 Construção da estrutura do painel.....	84
V.10	Arduino.....	88
V.11	Periféricos do sistema.....	90
	V.11.1 Monitor de LCD de 47 polegadas Full Hd da LG.....	90

V.11.1.1	Características técnicas.....	90
V.11.2	Volante Logitech G25.....	92
V.11.2.1	Características técnicas.....	92
V.11.3	Computador Dell T3500.....	95
V.11.3.1	Características técnicas.....	95

CAPÍTULO VI – RESULTADOS DA PESQUISA, CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.

VI.1	Introdução.....	96
VI.2	Resultados da pesquisa.....	96
VI.3	Considerações finais.....	98
VI.4	Desenvolvimentos futuros.....	100
VI.4.1	Base móvel utilizando atuadores da D-box.....	100
VI.4.2	Utilização de 5 monitores de 55 polegadas.....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Aplicação da Realidade Virtual na Arquitetura.....	11
Figura 2 - Dinossauro Gondwanatitan faustoi da exposição Dinos virtuais.....	12
Figura 3 - Realidade Virtual na educação e cultura.....	13
Figura 4 - Aplicação da Realidade Virtual na medicina.....	14
Figura 5 - Utilização da Realidade Virtual pelos militares.....	15
Figura 6 - Simuladores desenvolvidos e em desenvolvimento.....	17
Figura 7 - Simulador de Passadiço.....	23
Figura 8 - Simulador de Recuperadora de Roda de Caçamba da Vale.....	26
Figura 9 - Simulador de trem da Vale.....	27
Figura 10 – Simulador de caminhão fora de estradas da Vale.....	28
Figura 11 – Simulador de Passadiço Full Mission do CSA.....	29
Figura 12 – Operação no Simulador de Passadiço Full Mission do CSA.....	30
Figura 13 - Simulador de Colheita Florestal do Senai.....	33
Figura 14 – Simulador de Reach Stacker desenvolvido pela LSyM.....	36
Figura 15a – Simulador de Reach Stacker da Cocodris.....	37
Figura 15b – Simulador de Reach Stacker da Cocodris.....	37
Figura 16 – Vista de topo da área de simulação.....	39
Figura 17 – Contêineres de 20 e 40 pés.....	40
Figura 18 – Reach Stacker virtual.....	40
Figura 19 - Área de trabalho do 3ds Max.....	41
Figura 20 - Chassis do Reach Stacker modelado com o 3ds Max.....	42
Figura 21 - Exemplo de <i>Low Poly</i> aplicado na lança do Reach Stacker e seus componentes.....	43
Figura 22 - Force Editor do Quest3D.....	45
Figura 23 - Área de trabalho do Quest3D.....	46
Figura 24 - Canais do Quest3D.....	46
Figura 25 - Linguagem gráfica no Quest3D.....	48
Figura 26 - Área de trabalho do Photoshop com a textura dos contêineres sendo editada.....	51
Figura 27 - Mapa de textura gerado pelo 3ds Max e editado no Photoshop.....	52
Figura 28 - Localização da Multirio.....	54

Figura 29 - Painel do Reach stacker.....	55
Figura 30 - Manobras no pátio.....	55
Figura 31 - Manobras no pátio.....	55
Figura 32 - <i>Simple Scene</i> no Quest3D.....	57
Figura 33 – <i>Basic Camera</i>	58
Figura 34 – <i>3D Text Object</i>	58
Figura 35 - <i>Square</i>	58
Figura 36 - Representação gráfica do canal <i>Directional Light</i>	59
Figura 37 - <i>Channel Graph</i> com parte da programação do simulador que dá tração às rodas dianteiras.....	60
Figura 38 - <i>Square Item</i>	60
Figura 39 - As nuvens se movimentam dinamicamente de acordo com a direção e a velocidade do vento.....	62
Figura 40 - Retrovisores que geram reflexo em tempo real.....	62
Figura 41 - Faróis atuando durante o dia (à esquerda) e noite (à direita).....	63
Figura 42- Pistões hidráulicos funcionais.....	63
Figura 43 - Pistões hidráulicos recolhidos (acima) e erguendo a lança (abaixo).....	64
Figura 44: Mudança de centro de gravidade do contêiner para ser corrigido pelo operador através do <i>spreader</i>	65
Figura 45 - Engatando ao contêiner.....	65
Figura 46 - Simuladores de Reach Stacker.....	66
Figura 47 – Limitações para manobras na indicação A.....	67
Figura 48 – Programação Lua do engate.....	68
Figura 49 – Programação do engate no Quest3D.....	68
Figura 50 – Contêineres de 40 pés.....	69
Figura 51 – Caixa de diálogo na parte superior com informações da distância e ângulo dos contêineres que podem ser engatados.....	69
Figura 52 – Máximo de contêineres que o equipamento pode empilhar.....	70
Figura 53 – Limitação de altura do equipamento.....	70
Figura 54 – Esquema da programação dos botões do painel.....	71
Figura 55 – Esquema da programação das luzes do painel.....	71
Figura 56 – Luzes do painel do simulador de Reach Stacker.....	72
Figura 57 - Localização e função de cada lâmpada do painel do volante.....	72

Figura 58 – Painel do Reach Stacker.....	73
Figura 59 - Painel desenvolvido para o simulador.....	73
Figura 60 – Função dos pedais do Reach Stacker.....	74
Figura 61 – Pedais desenvolvidos para o simulador.....	74
Figura 62 - Funções do joystick.....	75
Figura 63 - Movimentações de lança e <i>spreader</i>	75
Figura 64 - <i>Joystick</i> utilizado no simulador.....	73
Figura 65 - Fresadora 3D MDX-40.....	77
Figura 66 - Fresadora 3D MDX-40.....	78
Figura 67 - Molde criado em MDF com a fresa para a base do <i>joystick</i> do Reach Stacker.....	80
Figura 68 - Base do <i>joystick</i> do Reach Stacker moldada no poliuretano com o processo de <i>vacuum forming</i> utilizando o molde fresado anteriormente.....	80
Figura 69 - Molde criado em poliuretano com a fresa para o painel do Reach Stacker.....	81
Figura 70 - Painel feito em poliestireno pelo processo de <i>vacuum forming</i> utilizando o molde fresado anteriormente.....	81
Figura 71 - Esquema de funcionamento do sistema de <i>vacuum forming</i>	83
Figura 72 - Painel e volante fixados na mesa por mordentes de metalon.....	84
Figura 73 - Motores e componentes internos do <i>joystick</i> G-25.....	85
Figura 74 - Mordentes de metalon para fixação do painel a qualquer modelo de mesa.....	85
Figura 75 – <i>Joystick</i> para controle dos movimentos do <i>spreader</i> do Reach Stacker.....	86
Figura 76 - Pedais adaptados do <i>joystick</i> G-25 da Logitech.....	86
Figura 77 - Iluminação do painel utilizando Arduino e leds.....	87
Figura 78 - Painel integrado ao software na execução das manobras do Reach Stacker.....	87
Figura 79a - Placa do Arduino.....	88
Figura 79b – Código de programação.....	89
Figura 80 - TV LCD LG 47 polegadas Full HD Modelo 47LG60FR.....	90
Figura 81 - <i>Joystick/volante</i> G25.....	92
Figura 82 - Volante forrado com couro.....	93

Figura 83 - Base de apoio para os pedais.....	94
Figura 84 – O pedal.....	94
Figura 85 - Base móvel posicionada embaixo da cadeira do operador.....	100
Figura 86 - Base móvel onde serão fixados os atuadores.....	101
Figura 87 - Telas múltiplas.....	102
Figura 88 - Posicionamento dos 5 monitores em relação a cadeira de operação.....	102
Figura 89 - Set viewport.....	103
Figura 90 - Exemplo básico de distribuição de viewports no Quest3D.....	103
Figura 91 - Exemplo de programação dos viewports no Quest3D.....	104
Figura 92 - Resposta de freqüência de um atuador padrão.....	120
Figura 93 - D-Box <i>actuator control module</i>	121
Figura 94 - Motor e pistão do atuador.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Elementos principais do Simulador de Passadiço.....	23
Tabela 2 – Informações sobre o Curso Básico de Operador de DP (<i>Induction Course</i>).....	30
Tabela 3 - Conteúdo programático do curso no Simulador de Colheita Florestal da Harvester.....	33
Tabela 4 – Serviços do Terminal de Contêineres II do Porto do Rio de Janeiro – MultiRio.....	53
Tabela 5 – especificações da Modeladora 3D Roland MDX-40.....	78
Tabela 6 - Principais características do poliestireno.....	83
Tabela 7 – Características da TV/ Monitor de LCD de 47 polegadas Full HD da LG....	91
Tabela 8 – Características gerais Dell T3500.....	95
Tabela 9 – Tabela comparativa básica dos simuladores.....	97

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.....	118
Anexo 2.....	120

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

I.1 - Introdução

A criação de simuladores para equipamentos portuários utilizando a Realidade Virtual tem se mostrado uma ferramenta eficiente na realização de programas de treinamento e capacitação de profissionais da área portuária. Ao considerarmos os parâmetros principais em comparação aos métodos tradicionais, podemos perceber uma redução drástica no custo e no tempo necessário para capacitação, diminuindo também riscos que um treinamento real poderia ocasionar.

Os simuladores podem expor os profissionais em treinamento à grande maioria dos riscos e situações adversas que ocorrem na vida real sem, no entanto, ocasionar prejuízos físicos ou financeiros. Os simuladores de equipamentos portuários têm como objetivo fundamental a redução de custos e de riscos operacionais como vemos no trabalho de (BRUZZONE, MOSCA *et al.*, 2000) e são utilizados na aprendizagem, na capacitação e atualização dos atuais ou futuros operadores desses equipamentos alcançando o seu máximo aproveitamento. Podemos definir equipamento portuário como um conjunto de instalações de grande porte estrutural, utilizados para a movimentação de carga entre tipos diferentes de transporte com diversidade em capacidade de carga e de tecnologia. Um simulador é um objeto de aprendizagem e, como tal, necessita do processo de desenvolvimento que engloba o planejamento, a modelagem, a implementação e a distribuição (LIMA *et al.*, 2009).

LOPES, *et al.*, (2008) consideram o simulador em realidade virtual como uma ferramenta de apoio factível tecnicamente e essencial para o treinamento de operadores de máquinas, resultando em ganhos na produtividade e qualidade. O simulador de Reach Stacker foi criado e desenvolvido pelo Grupo de Realidade Virtual aplicada GRVa/LAMCE/COPPE/UFRJ em parceria com a COPPE/UFRJ.

O simulador de Reach Stacker funciona a partir de uma réplica do painel com todos os comandos ativos integrados a um sistema de visualização avançado. Para FERNANDES (2006) as ramificações decorrentes das tecnologias de visualização reduzem as curvas de aprendizado e aprimoram o trabalho do homem diminuindo com isso a incidência de erros, associando de maneira visual os problemas e soluções. O cenário virtual em 3D, que pode ser projetado em *CAVE* ou em monitores interligados,

simula sons e condições meteorológicas em tempo real. Os cenários são reproduções do ambiente de portos brasileiros.

I.2 - Motivação

Um dos principais motivos da utilização da Realidade Virtual é pela necessidade cada vez maior de educação continuada como resposta às rápidas mudanças tecnológicas. A computação, nesse contexto, é utilizada como ferramenta de apoio à educação e vem se tornando indispensável para melhorar a dinâmica e qualidade do processo de ensino. A Realidade Virtual conquista mais espaço como ferramenta para criação de Ambientes Virtuais, por suas características, que permitem o desenvolvimento de soluções interativas, com uma capacidade melhor de simulação e maior sensação de imersão do usuário, resultando em ambientes de grande potencial cognitivo. Exemplos de trabalho com simuladores portuários em Realidade Virtual podem ser encontrados em (BRUZZONE, FADDA *et al.*, 2011). Nos ambientes tridimensionais criados com recursos de Realidade Virtual, o usuário amplia suas possibilidades de manipulação e visualização de objetos. Em um mundo virtual um operador pode fazer escolhas, pesquisar e manipular objetos. BRAGA (2007) sugere que a finalidade primordial da realidade virtual é a do indivíduo se sentir dentro do mundo virtual, esquecendo-se do mundo real. O ideal em uma simulação é que ela seja o mais fiel possível à realidade, mas geralmente esbarramos em uma série de dificuldades para que isso se torne viável, pois a maioria dos sistemas de Realidade Virtual tem deficiências: são caros, tem visual gráfico deficiente e baixo desempenho. Essas são algumas das limitações que a própria tecnologia e a falta de aprimoramento prévio da simulação podem repercutir.

Dentro desse contexto e baseada nas considerações relatadas anteriormente a motivação do presente trabalho se deve ao fato da necessidade da criação de um sistema que repercuta em uma menor utilização do equipamento real (Reach Stacker) durante os treinamentos dos novos operadores. Por serem equipamentos de grande custo e serem de extrema necessidade nos portos onde são utilizados, uma utilização desse equipamento em treinamentos ocasionaria uma menor movimentação de contêineres, causando prejuízo. O desenvolvimento do simulador de Reach Stacker é uma solução viável e com menor custo de operação. Segundo RODRIGUES (2010) “O foco no

baixo custo em um trabalho acadêmico é uma característica presente nos círculos científicos de países em desenvolvimento, dadas às necessidades da sociedade”.

I.3 - Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é o de gerar uma ferramenta que contribua para o treinamento e formação de novos operadores de Reach Stacker (equipamento utilizado para movimentação e organização de contêineres em portos).

O objetivo específico é a análise através da revisão de literatura e de maneira presencial dos simuladores em realidade virtual utilizados como método de treinamento.

A partir desta análise será possível identificar as possibilidades para a criação de um protótipo de simulador de Reach Stacker utilizando a Realidade Virtual em um ambiente sintético com modelos tridimensionais e painel similar ao real, com boa relação custo/benefício se comparado ao método tradicional de treinamento através de um ambiente sintético semi-immersivo e criação de um painel de operações similar ao que está presente na cabine do equipamento real (Reach Stacker) com posterior validação.

I.4 - Relevância

Os equipamentos utilizados em portos tem um custo extremamente elevado para a compra e manutenção, um Reach Stacker custa em torno de 1,2 milhão de reais. A utilização desses equipamentos em treinamento acarretaria uma menor produção dentro de toda a logística portuária, implicando em prejuízo e risco de acidentes por serem utilizados por pessoas sem prática alguma.

De acordo com CHIAVENATO (1989):

A educação profissional é a educação institucionalizada ou não, que visa o preparo do homem para a vida profissional, onde a educação, propriamente dita, compreende três etapas: formação profissional, desenvolvimento e treinamento. Assim sendo, a capacitação desses profissionais compreende um aprendizado profissional direcionado a um aprimoramento da função que irão exercer.

A utilização de simuladores em Realidade Virtual surgiu para suprir cada vez mais a necessidade de treinamento sem a utilização dos equipamentos reais, pelo menos no começo do processo de formação de novos operadores. Através do desenvolvimento de um simulador de Reach Stacker pode-se criar um ambiente sintético com grande capacidade de imersão proporcionando formação profissional compatível com a função a ser exercida pelo operador. Segundo SANTOS (1978):

A Formação Profissional ou Educação Técnica é um sistema intencional voltado para criar habilitações, tanto quanto possível permanentes, para os papéis que a sociedade exige na produção de bens e serviços. Coloca o indivíduo em um panorama completo, integrando-o como ente produtor de alguma coisa, mas também, como ser social que julga e dirige seus atos de trabalho.

I.5 - Definição do problema

O autor Ziv (2005) define simulação como uma “técnica em que se utiliza um simulador, considerando-se simulador como um objeto ou representação parcial ou total de uma tarefa a ser replicada”.

O desenvolvimento de ambientes sintéticos em Realidade Virtual é uma resposta a uma demanda crescente por treinamento com um custo mais baixo para diversos tipos de necessidades e áreas distintas. O desenvolvimento e testes de metodologias e tecnologias para criação de ambientes virtuais imersivos auxiliam no estudo sobre os processos cognitivos (NETO *et al.*, 2011). Segundo a Revista Dinheiro Rural (2011):¹

Um dos principais gargalos portuários são os atrasos nos embarques e desembarques. A morosidade se traduz em prejuízos. Segundo a Centronave², entre janeiro e setembro de 2010, nos 17 principais terminais de contêineres os atrasos totalizaram mais de 72.401 horas. A espera levou ao cancelamento de 741 embarques e desembarques previstos.

Por causa desses atrasos e cancelamentos em operações de carga e descarga de contêineres é necessária a agilização no processo. Devido ao grande risco de acidentes

¹ <http://revistadinheirorural.terra.com.br/secao/agroeconomia/portos-congestionados>

² <http://www.centronave.org.br/pt/index.php>

nos portos, principalmente durante os treinamentos de novos operadores, a criação de simuladores vem se tornando uma solução cada vez mais efetiva para o problema, descartando em parte a utilização do equipamento real, diminuindo assim os atrasos nos portos. Uma das dificuldades recorrentes no desenvolvimento de simuladores era a capacidade de processamento das informações pelos computadores utilizados. Isso já está sendo contornado pela capacidade cada vez maior de processamento e memória das máquinas atuais, possibilitando assim o desenvolvimento de ambientes extremamente realistas e com grande grau de imersão, sendo possível a criação de cenários com condições climáticas: sol, chuva, neve, ventos, etc... Pois quanto maior a sensação de realidade usufruída na utilização pelo usuário, maior será a qualificação obtida por este na utilização do simulador.

De acordo com BRAGA (2001) a tecnologia está avançando de tal forma que a capacidade dos computadores pessoais está permitindo que o uso da realidade virtual deixe de ser exclusividade dos grandes centros de pesquisa e possa ser utilizada também por usuários domésticos.

Podemos citar como exemplo de utilização da Realidade Virtual os *games* que representam o mundo realisticamente com grande habilidade e diversos recursos interativos e tudo isto em tempo real (PARREIRAS, 2009). O Sistema foi concebido a partir dos problemas encontrados, apontados anteriormente, acarretando assim no desenvolvimento do protótipo do simulador de Reach Stacker. PARREIRAS (2011) nos mostra que a utilização dos *games* em aplicações científicas possui potencial comprovado na obtenção de novas habilidades e cumprimento de metas de maneira prazerosa e divertida. Foram desenvolvidos dois modelos de fabricantes distintos que apresentam somente diferença visual nos modelos. O protótipo foi criado para ser uma ferramenta de treinamento móvel, podendo assim ser utilizada em qualquer local que disponibilize uma mesa e energia elétrica. Após o desenvolvimento do primeiro protótipo é possível replicar e criar outros com menor tempo de construção e menor custo. É composto basicamente por: uma tv/monitor de led de 40 polegadas, um painel com comandos através de botões, *joystick*, volante e pedais de aceleração e freio similares aos utilizados no Reach Stacker real e de um computador. De acordo com BRAGA (2006) a estrutura da simulação deve ser reproduzida de maneira idêntica ao real para que se possa obter a característica de envolvimento necessária durante a simulação, sendo um dos requisitos da realidade virtual. Todo o sistema permite perfeita interação com o software instalado, software este que possui um ambiente sintético

tridimensional modelado com as mesmas especificações e medidas de um pátio, nele são efetuadas as manobras dentro da área portuária para permitir uma imersão mais realista durante o treinamento.

O simulador deve proporcionar ao usuário durante o treinamento: a) Visualização eficaz, com modelos tridimensionais e painel de operação similar aos reais; b) Facilidade de interação entre o usuário e o sistema do simulador; c) Sistema com possibilidade de expansão para implementações futuras de cenários e outros equipamentos portuários.

I.6 - Resultados esperados

Os resultados esperados com a utilização do simulador de Reach Stacker são: maior destreza aos profissionais dos terminais portuários, agilidade na formação e manutenção da proficiência recorrendo em maior agilidade na indústria portuária, maior confiança do operador em trabalhar no equipamento em que está habilitado, implementação de tecnologia nacional em área estratégica para o crescimento do país, possibilidade de crescimento da indústria marítima em virtude da economia gerada, geração de mão de obra especializada, tornar o treinamento mais seguro, otimizado e didático quando executado em um ambiente adequado, formação de pessoal em curto espaço de tempo, evitar interrupção das operações para treinamento, não há dependência de condições meteorológicas propícias para treinamento e vários equipamentos poderão ser simulados em apenas um dispositivo de simulação.

I.7 - Organização da Dissertação

A dissertação está organizada e definida em cinco capítulos desenvolvidos da seguinte maneira: no Capítulo 1 é feita a introdução demonstrando a motivação, os objetivos, relevância, problemas e resultados esperados; o Capítulo 2 apresenta o Estado da Arte com uma breve definição do que é Realidade Virtual, suas utilizações, potencial e a Experiência do GRVa/LAMCE/COPPE; no Capítulo 3 é apresentada a Metodologia onde é relatado os procedimentos metodológicos, contexto, sujeitos, coleta e análise de

informações, etapas e público alvo para a aplicação da simulação; no Capítulo 4 são apresentados os resultados da pesquisa de campo e projetos que utilizaram a Realidade Virtual no desenvolvimento de simuladores de maneira similar ao desenvolvido nesta dissertação; no Capítulo 5 são apresentados os elementos do sistema onde é feita a descrição dos programas utilizados, periféricos do sistema, pesquisa de campo, modelagem 3D, desenvolvimento da programação visual no software Quest3D, utilização da fresa CNC na construção do painel, a plataforma Arduino e os periféricos do sistema; no Capítulo 6 temos os resultados da pesquisa, considerações finais e desenvolvimentos futuros.

CAPÍTULO II – ESTADO DA ARTE

II.1 - Introdução

A utilização da Realidade Virtual em simuladores surgiu como uma solução viável para o treinamento em grande escala em diversos setores, priorizando a economia de recursos e uma melhor produtividade e aproveitamento por parte dos usuários desse tipo de sistema. Esta forma de utilização já não é novidade, a grande maioria dos protótipos é desenvolvida pelas próprias empresas ou em parceria com Universidades e vem gerando resultados positivos além de trazer retorno financeiro para quem os produz e economia para quem os utiliza.

Segundo BARILLI (2007), a Realidade Virtual resulta de um processo longo de evolução e suas aplicações remontam a partir da década de 60 devido às necessidades das forças armadas para treinamento de seus pilotos. Ao utilizar um ambiente virtual, minimizou os fatores de risco e custos elevando assim os níveis de eficiência do treinamento. No setor marítimo e portuário vemos uma grande ascensão na utilização de simuladores, por isso a importância do desenvolvimento de um simulador de Reach Stacker, pois são máquinas de extrema importância em toda a logística dos portos. A padronização dos contêineres permitiu uma intermodalidade no seu meio de transporte, utilizando assim diversos equipamentos de transporte compatíveis: Porteiner, Transteiner, Caminhão Portuário, Reach Stacker, etc. o que tornou viável o comércio mundial. Essa consolidação de um transporte marítimo que utiliza contêineres padronizados pelos terminais permitiu que a partir da década de 80 houvesse grande crescimento nesse setor. As perspectivas de um aumento da demanda no transporte marítimo são crescentes, assim sendo, o treinamento de novos operadores na área portuária tem grande importância na cadeia de transporte e logística dos portos.

A simulação permite representar vários tipos de carga, bem como vários tipos de navios (NEVINS, *et al.*, 1995). O desenvolvimento de tecnologias capazes de criar "mundos" virtuais, a possibilidade de simulação de ambientes sintéticos para treinamento, a simplificação de equipamentos e resolução de seus problemas técnicos possibilita em um melhor resultado cognitivo na interação homem-máquina aumentando o grau de ilusão na realidade virtual através de interfaces interativas, vem crescendo a cada dia, tornando-se um "mundo" com possibilidades praticamente ilimitadas nos seus usos e aplicações.

No Ambiente Virtual os objetos e personagens se apresentam imersos (CARVALHO, 2010), esta imersão, ou no caso deste simulador, imersão parcial, se faz necessária para uma simulação mais eficiente.

A finalidade deste capítulo é a de apresentar alguns exemplos de utilização de simuladores desenvolvidos em Realidade Virtual para o aprendizado e treinamento visitados e pesquisados no decorrer deste projeto, explorando suas aplicações e um pouco do seu desenvolvimento.

II.2 - Realidade Virtual

A utilização da Realidade Virtual no treinamento e aprendizado não é algo novo, mas desde sua primeira utilização pelos militares, vem se tornando uma ferramenta cada vez mais útil. “Mundo virtual é um espaço imaginário, frequentemente manifestado através de um meio. Uma descrição de uma coleção de objetos em um espaço e as regras em relações que governam estes objetos.” SHERMAN & CRAIG, (2006).

II.2.1 - O que é Realidade Virtual?

A realidade Virtual pode ser definida de maneira simplificada como a utilização de várias tecnologias digitais, técnicas e equipamentos computacionais para a criação de ilusão de uma realidade, através de um ambiente sintético imersivo. Por seu intermédio cria-se em tempo real “mundos” virtuais que tentam transmitir aos utilizadores o máximo de sensação da realidade. Nos ambientes tridimensionais desenvolvidos a partir de recursos de Realidade Virtual, o usuário aumenta suas possibilidades de manipular e visualizar objetos (NETO, 2010).

“Na verdade, a rigor, virtual e real não são conceitos que se opõem. O virtual, do latim *virtus* (virtude, força), é o que existe potencialmente no real, o que tem em si mesmo todas as condições essenciais para sua realização” (CADOZ 1994).

LATTA (1994 apud Machado 1995) cita Realidade Virtual como uma avançada interface homem-máquina que simula um ambiente realista e permite que participantes interajam com ele. PIMENTEL (1995 apud Machado 1995) define Realidade Virtual como o uso da alta tecnologia para convencer o usuário de que ele está em outra

realidade - um novo meio de “estar” e “tocar” em informações. Em termos conceituais, Realidade Virtual é uma interpretação da realidade que é aceita como verdadeira, embora não necessariamente exista fisicamente (VINCE, 1998).

II.2.2 - Utilizações e potencial da Realidade Virtual

A realidade virtual tem muitas aplicações, embora considerada ainda como tecnologia do futuro, tem suas aplicações presentes em diversos setores: Arquitetura, museus, educação, cultura, medicina, entretenimento, treino militar, formação técnica e profissional, visualização científica e reconstituições diversas.

Na Arquitetura, figura 1, temos a possibilidade de “caminhar” entre as construções virtuais através da imersão que a Realidade Virtual possibilita dentro da maquete eletrônica 3D. Segundo FREITAS *et al.*, tem-se:

A disponibilidade, porém, de walkthrough³, flythrough⁴ e a tecnologia de Realidade Virtual (RV) aumentam a versatilidade dos modelos geométricos digitais, em alguns casos, possibilitando um ambiente completamente imersivo, impossível com modelos em escala.

³ Walkthrough é usado para mostrar um ponto de vista atual de uma pessoa caminhando por uma cena um pouco abaixo do nível do olhar.

⁴ Flythrough é menos limitado que o walkthrough, podendo ser feito de qualquer ponto de vista desejado, velocidade e ângulo.



Figura 1 – Aplicação da Realidade Virtual na Arquitetura

Fonte: Inovação tecnológica.

A utilização de ambientes virtuais e recursos de Realidade Virtual em museus, figura 2, contribuem no enriquecimento e ampliação do acesso ao conhecimento dos visitantes. MARINS, *et al.*, (2008) afirma que:

A potencialidade do uso de Realidade Virtual nos museus está baseada exatamente nestas características, pelo fato de permitir que o visitante explore ambientes, processos ou objetos e experimente o conhecimento de forma interativa, aprendendo a partir de sua imersão no próprio contexto deste assunto.

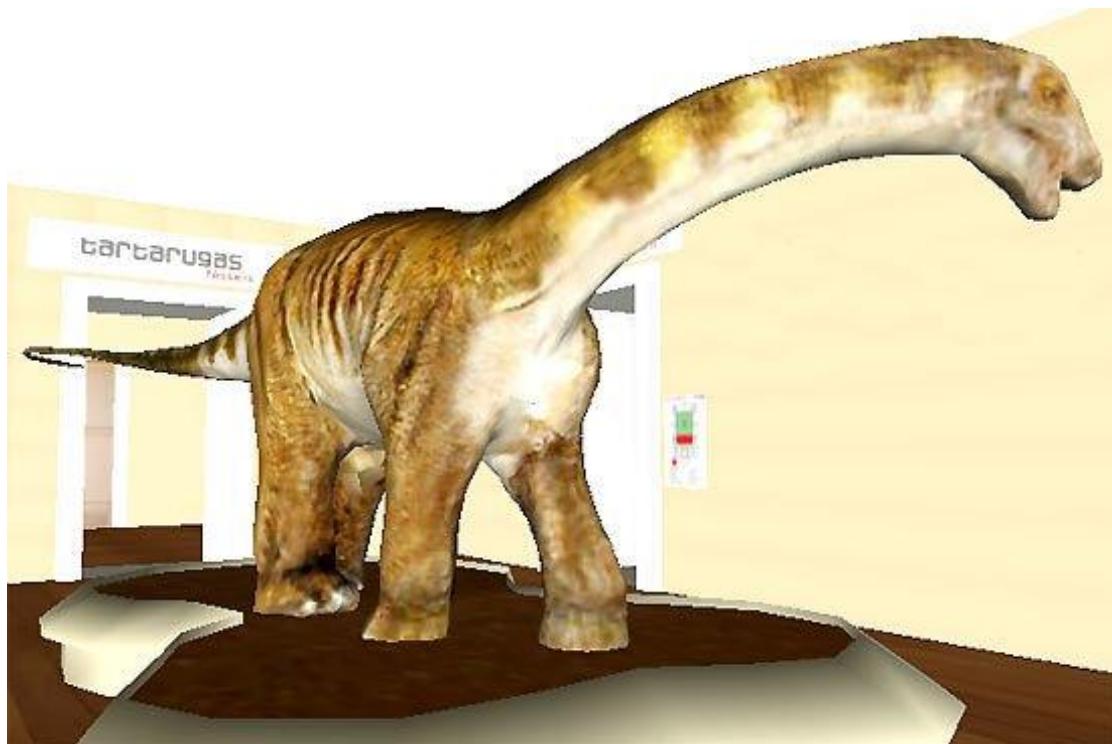


Figura 2 - Dinossauro *Gondwanatitan faustoi* da exposição Dinos virtuais.

Fonte: Exposição Dinos Virtuais.⁵

Na educação e cultura, figura 3, temos aplicações voltadas para o ensino geralmente por intermédio de jogos educacionais, utilizando a realidade virtual como ferramenta didática complementar aos métodos tradicionais, graças aos avanços tecnológicos. A Realidade Virtual é bastante promissora, pois não se limita apenas às paredes da sala de aula. MARTIN *et al.*, (2013) Determina que:

Atualmente, ao se falar em RV⁶ na Educação, a primeira aplicação que se pode pensar é em educação a distância. Porém, esta é apenas uma das possibilidades de uso de RV. Existem sistemas de imersão total ou parcial, visitação de museus, escolas, teatros e jogos educativos, entre outros, onde o usuário realmente pode interagir e vivenciar a realidade desses ambientes todos educativos.

⁵ <http://www.latec.ufrj.br/dinosvirtuais/catalogo/>

⁶ Sigla da palavra Realidade Virtual.

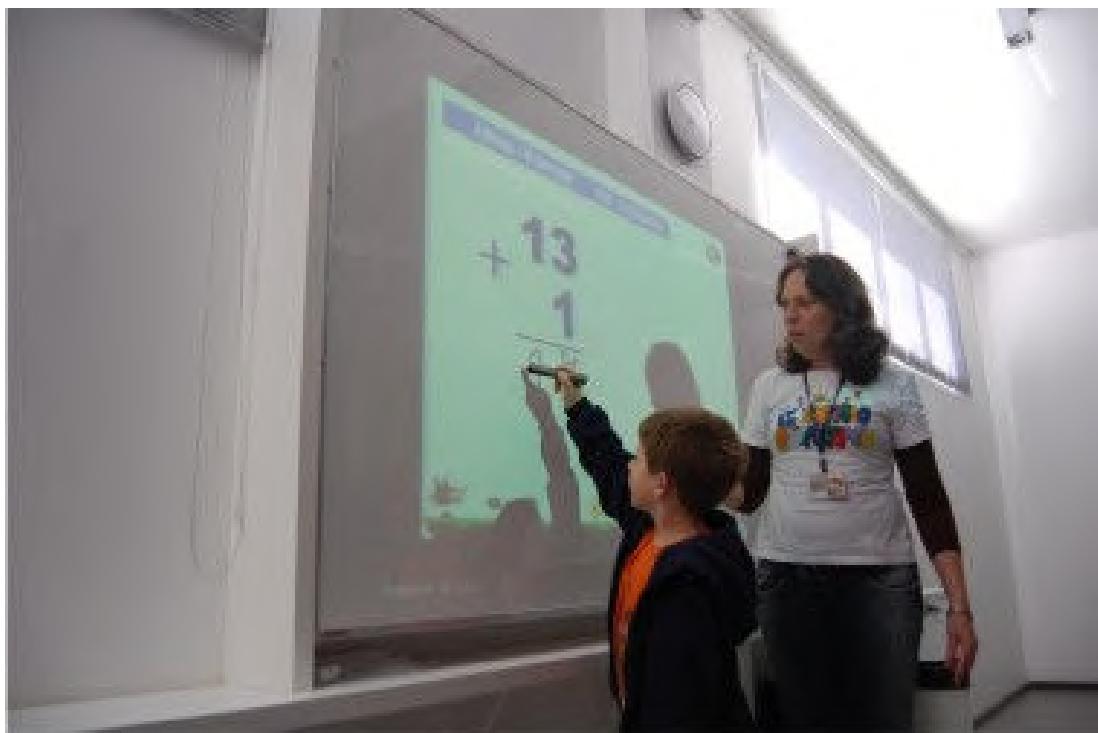


Figura 3 – Realidade Virtual na educação e cultura.

Fonte: Escola educação infantil.⁷

A Realidade Virtual na Medicina, figura 4, pode ser utilizada em praticamente todas as especializações permitindo realizar simulações e experimentações variadas sobre temas distintos e auxiliar no tratamento de deficiências físicas e cognitivas e reabilitação de pacientes. Segundo MONTERO *et al.*, (2003):

Na educação médica cirúrgica dos países desenvolvidos, a RV tem sido empregada no ensino de anatomia e na simulação de operações, principalmente para o treinamento operatório de cirurgia video-laparoscópica⁸, no planejamento pré-operatório e no suporte intraoperatório. As imagens de modelos virtuais têm como vantagem a possibilidade de se avaliar os órgãos tridimensionalmente, de se observar a estrutura interna do órgão com o recurso da semitransparência, de se avaliar as relações entre os órgãos com suas topografias e de se produzir visões seletivas do corpo. Além destas vantagens, não apresenta limitação de tempo de utilização.

⁷ <http://edinfantil.com.br/internas.php?url=lousa>

⁸ Videolaparoscopia é uma técnica cirúrgica minimamente invasiva realizada por auxílio de uma endocâmera no abdômen (laparo).

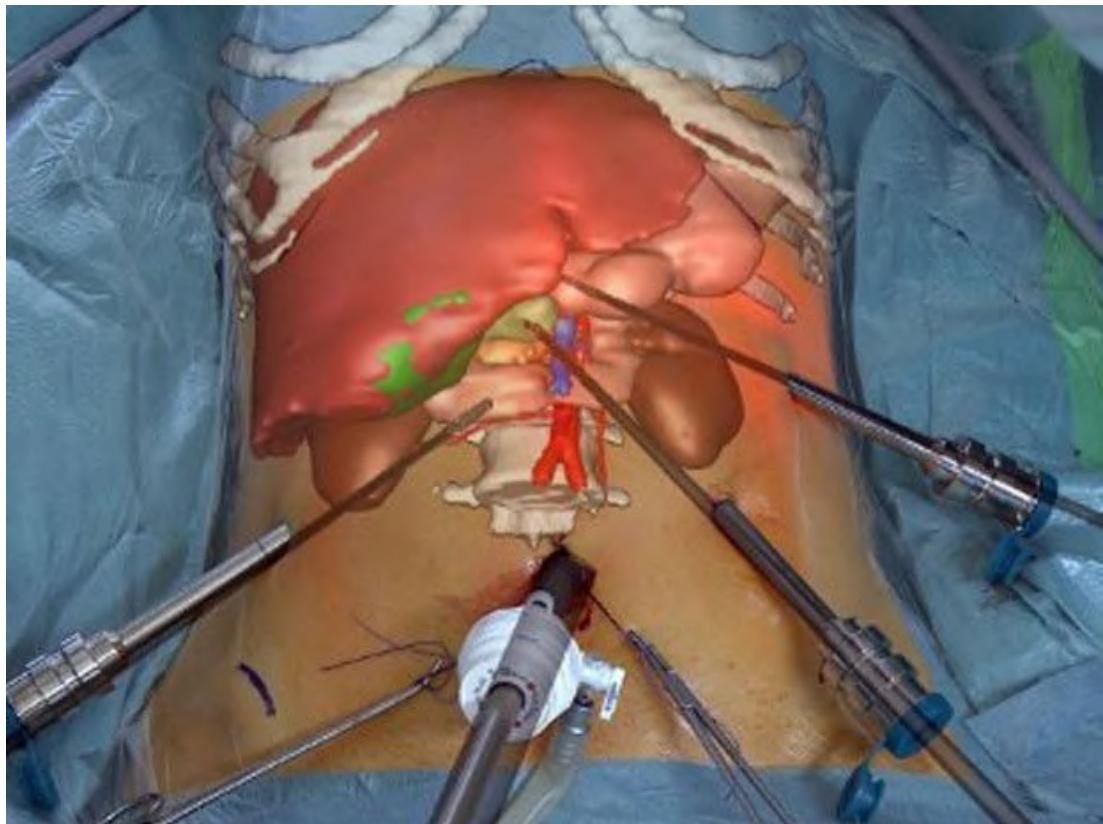


Figura 4 – Aplicação da Realidade Virtual na medicina.

Fonte: Dr. Emerson – laboratório e imagem⁹

A utilização militar, figura 5, em ambientes virtuais é de extrema importância no adestramento da tropa principalmente por causa dos perigos inerentes aos equipamentos de defesa utilizados e pela complexidade no manuseio de armamentos e condução de veículos. As principais aplicações militares em Realidade Virtual são em simuladores de operação de aviões, helicópteros, tanques, submarinos, navios, etc, facilitando com isso o treinamento e aprendizado. PIMENTEL *et al.*, (1993) afirma o seguinte “Imagine a dificuldade em aprender a pilotar um F-15. Tem nove botões diferentes no joystick de controle, e mais sete na base. No stress e confusão de batalha, os pilotos têm de escolher corretamente.”

Devido à multiplicidade de aplicações da Realidade Virtual a sua utilização se faz presente cada vez mais em áreas distintas, por causa do avanço tecnológico, vem deixando de ser exclusividade de grandes centros de pesquisa e passa a ser utilizada cada vez mais por usuários comuns.

⁹ <http://www.emmerson.com.br/novo/cirurgia-que-usa-imagens-3d-e-robos-e-o-futuro-da-medicina-diz-cientista/>



Figura 5 – Utilização da Realidade Virtual pelos militares.

Fonte: Último Segundo¹⁰

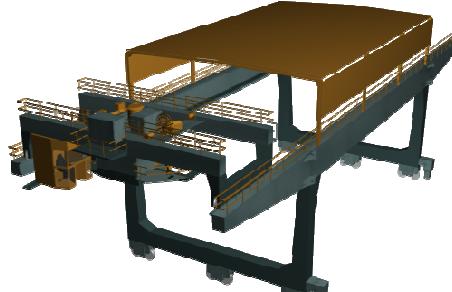
II.3 - A Experiência do GRVa/LAMCE/COPPE

O Grupo de Realidade Virtual aplicada – GRVa, do Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia – LAMCE da COPPE/UFRJ, tem grande experiência nas áreas de realidade virtual, realidade aumentada, simulação *offshore*, visão computacional e visualização científica. Sua equipe é formada por pesquisadores, engenheiros e alunos de graduação, mestres e doutores.

Desde 2010 sua equipe vem desenvolvendo simuladores de guindastes e equipamentos portuários em Realidade Virtual. Além do desenvolvimento de simuladores de equipamentos portuários o grupo iniciou o desenvolvimento de simuladores de máquinas para mineração. A figura 6 apresenta os simuladores desenvolvidos e em desenvolvimento: (a) portainer; (b) Reach Stacker; (c) guindaste

¹⁰ <http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/2012-12-14/simulador-safo-permite-tiro-virtual-e-economia-real-da-artilharia-do-exercito.html>

móvel; (d) transtainer; (e) pá carregadeira; (f) escavadeira; (g) caminhão de mineração; (h) ponte rolante; (i) guindaste de bordo; (j) guindaste de construção; e (k) guindaste *offshore*; (l) simulador de descarregador de navios.

	
(a) Tela do Simulador de Portainer.	(b) Telas do Simulador de Reach Stacker.
	
(c) Guindaste móvel.	(d) Tela do Simulador de Transtainer.
	

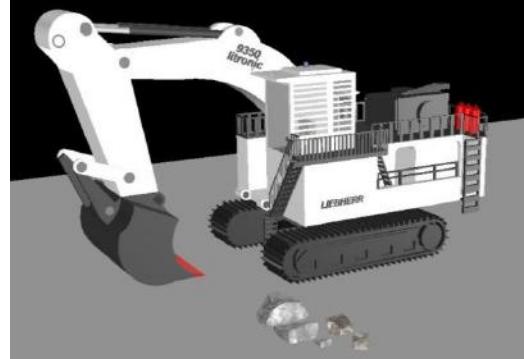
<p>(e) Ponte rolante.</p>	<p>(f) Tela do simulador de caminhão de mineração.</p>
	
<p>(g) Pá carregadeira.</p>	<p>(h) Escavadeira de mineração.</p>
	
<p>(i) Tela do simulador de guindaste de construção.</p>	<p>(j) Tela do simulador de guindaste offshore.</p>
	
<p>(k) Tela do simulador de guindaste de bordo.</p>	<p>(l) Descarregador de navios.</p>

Figura 6- Simuladores desenvolvidos e em desenvolvimento.

Fonte: Elaborada pelo autor.

CAPÍTULO III – METODOLOGIA

III.1 - Introdução

Neste capítulo, é descrita a metodologia utilizada neste trabalho. São apresentados os procedimentos metodológicos, cenário, os sujeitos, a coleta e análise de informações e as etapas de desenvolvimento, utilizados durante a execução deste trabalho.

III.2 - Procedimentos metodológicos

Foi realizado um estudo exploratório, de forma a permitir uma familiarização preliminar e gradativa com o tema abordado, preparando, assim o terreno para aprofundamento posterior, em pesquisas futuras.

O estudo exploratório baseia-se em diversas técnicas e a partir de amostras permite a definição do problema em questão com maior precisão e a formulação de hipóteses permitindo também a escolha das técnicas de pesquisa mais apropriadas, facilitando também na decisão das questões principais do treinamento.

Essa metodologia baseia-se em entrevistas com pessoas que têm ou tiveram experiência prática com o problema, assim como análises de exemplos que permitem a sua compreensão.

Esta metodologia de pesquisa se aplica sobre problemas ou pesquisas de assunto com reduzido estudo anterior. Nesse tipo de pesquisa procuram-se ideias, hipóteses ou padrões. São utilizadas no estudo exploratório observações e análises históricas dos fenômenos o que resulta em dados qualitativos ou quantitativos. Por seu intermédio se avaliam quais teorias e conceitos se aplicam a um determinado problema ou se novas teorias devem ser desenvolvidas.

O estudo exploratório auxilia o pesquisador a solucionar e/ou aumentar sua expectativa em função do problema determinado (TRIVINÓS, 1987). RICHARDSON (1999) também afirma “quando não se tem informação sobre determinado tema e se deseja conhecer o fenômeno”, este tipo de estudo é o exploratório. GIL (1999) complementa “este tipo de pesquisa é realizada especialmente quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e

operacionalizáveis". Além disso, o mesmo autor enfatiza que a pesquisa exploratória pode ser a primeira etapa de um projeto maior.

A abordagem do problema foi efetuada através de pesquisa qualitativa por não ser necessária a utilização de métodos e técnicas estatísticas e por ser o ambiente natural a fonte direta para a coleta dos dados. Na pesquisa qualitativa o pesquisador é o instrumento principal e faz a análise de dados de maneira indutiva, todo o processo e o seu significado são focos principais de abordagem (SILVA, *et al.*, 2005). O método para a obtenção de informações foi a entrevista não-estruturada, que não exige rigidez no roteiro, para que os participantes da pesquisa respondessem de maneira informal as suas experiências. A entrevista é uma técnica de coleta de dados muito utilizada, é bastante adequada para obter informações a respeito do que as pessoas sabem, acreditam, desejam e é um procedimento utilizado na investigação social (SILVA, *et al.*, 2005). .

III.3 - Contexto

O contexto desta pesquisa envolveu simuladores utilizados por empresas e instituições localizados no Rio de Janeiro e Espírito Santo que foram analisados no decorrer do trabalho.

III.4 - Sujeitos

Os sujeitos desta pesquisa foram os desenvolvedores dos simuladores pesquisados e os operadores dos equipamentos.

Os perfis dos entrevistados variam em sua área de formação e nível de escolaridade. Foram entrevistados engenheiros, programadores, profissionais de computação gráfica e técnicos de nível médio. O tempo de experiência na área dos entrevistados variou entre 10 e 25 anos.

III.5 - Coleta e análise de informações

Os instrumentos de coleta de dados usados nesta pesquisa foram: a) Pesquisa de campo, realizada durante as visitas aos simuladores; b) Entrevista não-estruturada, que foi aplicada aos desenvolvedores dos simuladores para obtenção de informações relacionadas ao desenvolvimento, problemas, soluções e aplicação dos simuladores e aos operadores dos equipamentos reais para coleta de informações relacionadas as operações e utilização destes equipamentos.

Na pesquisa de campo foram visitados os seguintes simuladores para a coleta de dados: a) Simulador de Passadiço, que simula um passadiço de navios da Marinha mercante para adestramento de equipes; b) Simulador de Recuperadora de Roda de Caçamba, que simula toda a área de estocagem do Porto de Tubarão, bem como o processo de recuperação dos granéis sólidos; c) Simulador do Centro de Simulação Aquaviária – CSA, que simula um passadiço offshore, que pode ser utilizado por duas embarcações; d) Simulador de Colheita Florestal, que simula as máquinas da Harvester, Forwarder e Feller Buncher de maneira virtual; e) Simuladores de Reach Stacker similares, observados em pesquisa pela internet.

Informações também foram coletadas a partir da pesquisa de campo no local de utilização do Reach Stacker onde foram fornecidas as informações relativas ao funcionamento do equipamento, procedimentos empregados durante a operação, manuais de operação e manutenção, familiarização com o pátio onde são executadas as manobras reais e materiais fotográficos e em vídeo para auxiliar na modelagem 3D do simulador.

III.6 - Etapas

Para atingir os objetivos do trabalho, foram estabelecidas as seguintes etapas: a) Levantamento de simuladores para treinamento disponíveis na literatura; b) Seleção prévia dos simuladores em operação no Rio de Janeiro e estados vizinhos; c) Pré análise dos simuladores identificados em (b) a partir de documentação disponível; d) Seleção dos simuladores para aprofundamento da análise; e) Pesquisa de campo; f) Compilação de dados e análise comparativa do desempenho dos simuladores selecionados para aprofundamento; g) Projeto e construção de um simulador de Reach Stacker; h) Análise

comparativa do desempenho dos simuladores desenvolvidos. Essas etapas serão descritas nos Capítulos IV, V e VI.

III.7 - Público alvo para a aplicação da simulação

Profissionais da área portuária que irão operar ou que já operam o Reach Stacker, adquirindo a capacitação necessária para a operação básica do equipamento real em operações de movimentação e empilhamento dos contêineres de 20 e 40¹¹ pés¹², adquirindo: coordenação motora e visão do processo, características da área onde há movimentação do equipamento, reconhecimento do equipamento e seu funcionamento básico, procedimentos de segurança, principais etapas da operação e utilização e manuseio dos comandos básicos.

¹¹ Medidas externas do contêiner de 40 pés: Comprimento 12.192 mm, Largura 2.438 mm, altura 2.591 mm.

Peso do contêiner de 40 pés: Máximo 30.480 Kg, Tara 3.550 Kg, Carga 26.930 Kg.

Medidas externas do contêiner de 20 pés: Comprimento 6.058 mm, Largura 2.438 mm, Altura 2.591 mm.

Peso do contêiner de 20 pés: Máximo 24.000 Kg, Tara 2.080 Kg, Carga 21.920 kg.

<http://www.gbaduaneira.com.br/portugues/containeres.htm>

¹² A medida de 1 pé é equivalente a 30,48 centímetros. [http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9_\(unidade\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9_(unidade))

CAPÍTULO IV – RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO

IV.1 - Introdução

A pesquisa de campo é uma atividade de grande importância para a coleta de dados estreitando assim a relação entre teoria e prática, neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com as visitas a simuladores desenvolvidos e em desenvolvimento e entrevistas não-estruturadas com alguns de seus desenvolvedores e operadores dos equipamentos simulados.

IV.2 - Simulador de Passadiço

O Simulador de Passadiço¹³ (SIMPASS), figura 7, foi desenvolvido pela equipe do Centro de Análise de Sistemas Navais da Marinha – CASNAV em colaboração com a Universidade Federal Fluminense (UFF) e com o Laboratório de Sistema Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e apoiado pela FINEP¹⁴ – Financiadora de Estudos e Projetos. É provido de tecnologia que permite uma aplicação para simular um passadiço de navios da Marinha mercante para adestramento de equipes, foi desenvolvido inteiramente com tecnologia nacional e futuramente poderá ser utilizado em outras aplicações, como exercícios de controle de avarias, treinamento de tripulações de submarinos e de carros de combate e em simuladores de voo¹⁵.

O Simulador de Passadiço possui módulos independentes, tabela 1, o que permite futuras adaptações e o torna capaz de se expandir, tem a possibilidade de se comunicar com outros simuladores. De acordo com LAGE (2012) “O software tem particular interesse em simular navios da marinha mercante, que apresentam características importantes se comparados a outros tipos de embarcações”.

¹³ http://www.mar.mil.br/caaml/Revista/2011/passadico_2011_portugues/index.html

¹⁴ <http://www.finep.gov.br/>

¹⁵ <https://www.casnnav.mar.mil.br/s/?q=node/69>



Figura 7 - Simulador de Passadiço.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 1 – Elementos principais do Simulador de Passadiço.

MÓDULOS	Módulo de Instrutor	
	Gerenciador de exercício	O gerenciador de exercício é o componente que coordena o carregamento, o controle e o monitoramento do exercício com os demais módulos de simulação através do <i>Network Server</i> .
	Módulo de Usuário	O módulo de usuário está divido em submódulos, a saber: visualização, física, oceano, painel de instrumentos, radar e AIS (sistema de identificação automática).
	Módulo de Visualização	A visualização da simulação é realizada através de um sistema de multiprojeção desenvolvido utilizando a plataforma Unity3D, onde diferentes instâncias da mesma aplicação podem ser executadas ao mesmo tempo, permitindo ao usuário observar os

		exercícios de vários pontos de vista.
	Radar	O radar é um sistema crucial para garantir a segurança da navegação. Assim como o simulador de passadiço, o simulador de radar ARPA (<i>Automatic Radar Plotting Aids</i>) é destinado para uso em exercícios de treinamento dos operadores de radar.
	Painel de Instrumentos	O painel de instrumentos é um dos módulos mais importantes do simulador. É nele que o usuário é capaz de interagir com o navio através do telégrafo de manobra e do leme.
	AIS	O AIS (<i>Automatic Identification System</i>) é um sistema de monitoramento utilizado por navios para localizar outras embarcações.

Fonte: XI SBGames, Brasília, DF, Brazil¹⁶.

O simulador veio atender a uma demanda cada vez maior nos diversos setores da Marinha do Brasil no desenvolvimento de ambientes sintéticos imersivos, diminuindo assim a margem de erro nas operações que envolvem sistemas críticos, priorizando a integridade física dos usuários pelo fato de todo o processo ser virtual, proporcionando também grande economia de recursos e custos no adestramento, pois os gastos em uma operação real são bem onerosos. Segundo RODRIGUES (2010):

Atualmente a Marinha do Brasil treina seus oficiais de passadiço a bordo de suas embarcações, durante os exercícios em mar. Este tipo de treinamento

¹⁶ http://sbgames.org/sbgames2012/proceedings/papers/simulacao/W_2.pdf

é de alto risco, pois um erro pode influenciar diretamente a segurança da embarcação e até a vida de seus tripulantes. Os gastos com combustível também tornam este tipo de treinamento caro, devido ao consumo das grandes embarcações da Marinha do Brasil.

O desenvolvimento do Simulador de Passadiço foi desenvolvido somente com softwares livres, como a biblioteca de computação gráfica OpenGL¹⁷ e o Unity 3D¹⁸.

Aspectos positivos: a) Telas de radar e de comandos realistas; b) Tecnologia nacional; c) Possui módulos independentes; d) Desenvolvido em OpenGL e Unity 3D; e) Cabine similar à real; f) Física realista; g) Inserção de dados hidrodinâmicos¹⁹ fornecidos pelo LabOceano (Laboratório de tecnologia Oceânica).

Aspectos negativos: a) Projetores não possuem alta resolução; b) Telas onde é projetado tem formato retangular (pode-se ver a emenda) diminuindo com isso a sensação de imersão;

IV.3 - Simulador de Recuperadora de Roda de Caçamba

O Simulador de Recuperadora de Roda de Caçamba²⁰ ou Simulador de Realidade Virtual de Operação de Recuperadora (SRVOR), figura 8, foi desenvolvido pela Companhia Vale²¹ Do Porto de Tubarão no Espírito Santo em parceria com a GlobalSim²².

¹⁷ <http://www.opengl.org/>

¹⁸ <http://portuguese.unity3d.com/>

¹⁹ A hidrodinâmica é a responsável pelo estudo do movimento dos fluídos.

²⁰ <http://saladeimprensa.vale.com/pt/noticias/interna.asp?id=21345>

²¹ <http://www.vale.com/PT/Paginas/Landing.aspx>

²² <http://www.km.kongsberg.com/>



Figura 8 - Simulador de Recuperadora de Roda de Caçamba da Vale.

Fonte: Elaborada pelo autor.

No ambiente sintético de simulação está representada toda a área de estocagem do Porto de Tubarão²³ bem como o processo de recuperação dos granéis sólidos. O software simula com precisão toda a recuperação de carvão, pelotas, minério de ferro, condições climáticas similares às reais, ventos fortes ou chuva e os defeitos que acontecem na recuperadora. O simulador possui uma cabine com adaptações. Por causa do tamanho dos monitores, a cabine ficou menor que a cabine real, por isso optou-se por uma cadeira giratória para uma melhor movimentação dentro da cabine. Simula a translação, elevação e a velocidade de giro, podendo também executar a simulação de duas máquinas de maneira consecutiva com a representação de alarmes para alertar a sobrecarga nos tipos de operação executadas pelos usuários do equipamento de simulação. Representam de maneira realista os elementos estocados no pátio: coque, carvão e minério de ferro.

O Simulador de recuperadora de roda de caçamba possui os cenários tridimensionais de todos os pátios, para que o usuário do simulador tenha a mesma visualização do pátio real, aumentando assim a sensação de imersão e não sinta diferenças ao operar posteriormente o equipamento real. As recuperadoras têm rodas

²³<http://www.vale.com/PT/aboutvale/news/Paginas/porto-de-tubarao-no-brasil-vive-fase-de-modernizacao.aspx>

dentadas que atingem aproximadamente 39 metros de altura. É o primeiro equipamento de simulação de equipamentos portuários da Vale, recebeu um investimento na ordem de três milhões de reais. O treinamento realizado neste simulador visa treinar e qualificar os futuros operadores, o que repercutirá futuramente em um melhor desempenho na produtividade. O sistema é formado além das recuperadoras, por seus carregadores e esteiras que transportam o minério para o porão dos navios. Ao treinar novos operadores no ambiente virtual não haverá necessidade de ocupar a recuperadora de roda de caçamba real, pelo menos no início, gerando com isso economia.

O Simulador também poderá ser utilizado por operadores experientes para melhorar o seu desempenho e segurança nas operações. Para o desenvolvimento do cenário do ambiente sintético foi necessária a filmagem do pátio e uma digitalização posterior das imagens. Cada novo operador tem 16 horas de aulas teóricas além de 8 horas de aulas práticas, possui módulos que vão do básico ao avançado. A Vale pretende utilizar mais simuladores de recuperadora de roda de caçamba nos seus outros Portos: Terminal Portuário da Ponta da Madeira, em São Luís - Maranhão, Companhia Portuária Baía de Sepetiba (CPBS) – RJ, Terminal da Ilha Guaíba (TIG) – RJ, somando um total de 217 operadores. Fonte: Vale²⁴

Também foi iniciado o desenvolvimento de um simulador de Descarregador de Navios (Ship Unloader). A intenção da Companhia é a de desenvolver outros simuladores, já foram desenvolvidos pela Vale um simulador para treinamento de maquinistas de trem, figura 9, e de caminhão²⁵ fora de estradas, figura 10, que operam nas minas.



Figura 9 - Simulador de trem da Vale.

Fonte: Laboratório de Dinâmica e Simulação Veicular da Universidade de São Paulo²⁶.

²⁴ <http://www.portodesantos.com.br/clipping.php?idClipping=20231>

²⁵ <http://www.vale.com/PT/aboutvale/initiatives/simulators/Paginas/default.aspx>

²⁶ <http://www.lcsv.poli.usp.br/simulador.htm>



Figura 10 - Simulador de caminhão fora de estradas da Vale.

Fonte: Vale²⁷.

Aspectos positivos: a) Representa toda a área de estocagem do Porto de Tubarão; b) Simula com precisão todo o processo de recuperação dos granéis sólidos; c) Gráficos e monitores de alta resolução (utilização de textura real aplicada ao modelo 3D); d) Simula a translação, elevação e a velocidade de giro; e) Possui modelagem matemática.

Aspectos negativos: a) 1 computador para cada tela de visualização; b) Não possui sombras dinâmicas dificultando a sensação de profundidade; c) Cabine com tamanho inferior à cabine real em função do tamanho dos monitores; d) Travamentos do sistema exigindo reinicialização das máquinas; e) Cabine com excesso de calor, mesmo com ventilador adaptado a ela; f) Física regular; g) Excesso de computadores.

IV.4 - Simulador do Centro de Simulação Aquaviária – CSA

O Centro de Simulação Aquaviária - CSA²⁸ utiliza os softwares desenvolvidos pela Transas Marine²⁹, por sua qualidade operacional e por permitirem perfeita integração uns com os outros permitindo simulações nas mais diversas situações de um ambiente marítimo. O CSA foi idealizado por Oficiais da Marinha Mercante, o que repercutiu num aprimoramento da utilização dos simuladores. Os softwares são

²⁷ <http://www.vale.com/PT/aboutvale/initiatives/simulators/Paginas/default.aspx>

²⁸ <http://www.csaq.org.br/site/>

²⁹ <http://www.transas.com/>

integrados para o caso de ocorrência de falhas, que será identificada no Passadiço, figura 11. O trabalho de um aquaviário não se dá individualmente, mas sempre em equipe, o que reflete diretamente no sucesso das operações. O simulador consegue representar com fidelidade este trabalho em equipe, tudo é monitorado pelos instrutores por intermédio de câmeras pelos compartimentos, em todas as salas em que ocorrem os treinamentos virtuais. Tudo é gravado para que possam ser revistas todas as operações de treinamento efetuadas, para visualizar e corrigir os erros e acertos dos usuários em treinamento em conjunto com os seus respectivos instrutores.



Figura 11 - Simulador de Passadiço Full Mission do CSA.

Fonte: Centro de Simulação Aquaviária³⁰.

O equipamento simula um passadiço *offshore*, figura 12, que pode ser utilizado por duas embarcações. Ele se compõe de um console de avante com visão de 240°, que utiliza sete telas de plasma, e um console de ré. Possui um simulador de posicionamento dinâmico classe dois em cada um de seus consoles, outro para gerenciamento de crises (combate à poluição) e a sua praça de máquinas, sendo todos integrados. Simula a intensidade de vento e corrente marítima, a interação do fundo, altura de ondas, interação com outras embarcações, condições climáticas: chuva, neve, tempestades, trovões, luz do dia, noite, constelações para de acordo com a posição geográfica e balanço real da embarcação.

³⁰ <http://www.csaq.org.br/site/>



Figura 12 - Operação no Simulador de Passadiço Full Mission do CSA.

Fonte: Elaborada pelo autor.

As informações sobre um dos cursos que utilizam o simulador estão na tabela 2, que foi reproduzida do site do CSA – Centro de Simulação Aquaviária da Marinha:

Tabela 2 – Informações sobre o Curso Básico de Operador de DP (*Induction Course*).

DPB – Curso Básico de Operador de DP (<i>DP Induction Course</i>)	
Definição do curso	- O Curso Básico de Operador de Posicionamento Dinâmico tem como objetivo transmitir os conhecimentos iniciais sobre esse sistema, abordando os equipamentos, tipos de sistemas, operações realizadas em DP, práticas seguras e regras aplicáveis a um operador. É o primeiro passo para

	obtenção do Certificado de Operador de Posicionamento Dinâmico Limitado ou Sem Restrições do <i>Nautical Institute</i> .
Certificação e reconhecimento	- O Curso é acreditado pelo <i>Nautical Institute</i> por cumprir todas as suas regras, podendo emitir, portanto, a documentação e o <i>LOG BOOK</i> necessários ao cumprimento do esquema de certificação de Operador de Posicionamento Dinâmico.
Público alvo	- Oficiais da Marinha Mercante com STCW II/1, II/2, II/3, III/1, III/2 e III/3 válido; - Praticante de Oficial da Marinha Mercante.
Quantidade de alunos	- 6 alunos por turma.
Duração	- 35 horas/aula em 5 dias de curso
Documentos necessários	- Certificado de Competência (STCW) válido

Fonte: Centro de simulação Aquaviária³¹

O espaço disponibilizado para o Centro de simulação representa as salas do Passadiço, a Praça de Máquinas em PC, a Praça de Máquinas com consoles reais e o sistema de Posicionamento Dinâmico possuem equipamentos e programas de simulação que interagem perfeitamente entre si, além destas salas, o Centro de simulação possui a sala de treinamento em Gerenciamento de Crises, nele os marítimos enfrentarão diversidade de problemas tendo que solucioná-los em treinamentos específicos.

Para o desenvolvimento do simulador foi firmada uma parceria entre o Sindmar - Sindicato Nacional dos Oficiais da Marinha Mercante com a UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro em Outubro de 2005, o convênio foi assinado entre o Sindicato e a UFRJ, segundo o ex-reitor da Universidade Federal da UFRJ, Aluizio Teixeira, a parceria entre a instituição de ensino e a entidade sindical significa um importante intercâmbio de conhecimentos técnicos e científicos para o setor marítimo.

³¹ <http://www.csaq.org.br/site/cursos/pagina/4>

Foram financiados 2,5 milhões de reais para a compra dos equipamentos do simulador pelo MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia por solicitação da UFRJ. O equipamento da Transas Marine USA foi escolhido por ter apresentado a melhor cotação de preços, melhor tecnologia de simulação e integração dos seus produtos. Fonte: Centro de Simulação Aquaviária³².

Aspectos positivos: a) Cabine Realista; b) Comandos e painéis de embarcações reais; c) Integração com outros simuladores; d) Representação de diversos portos; e) Software desenvolvido pela Transas Marine; f) Física realista; g) Excelente programa de treinamento.

Aspectos negativos: a) Gráficos com média resolução; b) Não pode ser transportada de maneira provisória; c) Excesso de computadores, um por tela.

IV.5 - Simulador de Colheita Florestal

O Simulador de Colheita Florestal, figura 13, foi desenvolvido pelo Senai. Ele simula as máquinas da Harvester, Forwarder e Feller Buncher de maneira virtual através de um ambiente sintético de simulação. O equipamento da Harvester corta, derruba, descasca, desgalha e traça a árvore. A Forwarder efetua o transporte das toras de dentro do talhão para o estaleiro mais próximo ou carrega o caminhão para o transporte até a empresa. A Feller Buncher também efetua a derrubada de árvores.

A função do simulador é a de fixar os conhecimentos de operação da máquina e fazer com que o aluno desenvolva as primeiras habilidades nos variados tipos de terreno, segundo o depoimento feito por um dos desenvolvedores o simulador foi criado para representar as condições de terreno e de utilização brasileira desses equipamentos, um dos exemplos foi o da distância entre as árvores que aqui no Brasil é menor e a proximidade com fios de alta tensão. Essas particularidades foram representadas no ambiente de simulação com a máxima fidelidade possível.

³² <http://www.csaq.org.br/site/home/pagina/simuladores>



Figura 13 - Simulador de Colheita Florestal do Senai.

Fonte: Florestal e Biomassa.³³

Abaixo, tabela 3, o conteúdo programático do curso no simulador de colheita florestal retirada do site do Senai³⁴ de Santa Catarina:

Tabela 3 - Conteúdo programático do curso no Simulador de Colheita Florestal da Harvester.

Simulador de Colheita Florestal - HARVESTER	
Área	- Segurança no Trabalho
Nível	- Qualificação / Aperfeiçoamento
Carga Horária	- Módulo Único - 40hs
Público-alvo	- Profissionais da área florestal (exploração de madeira na área florestal) e pessoas interessadas em atuar na operação de colheita florestal mecanizada
Objetivos	- Capacitar o operador de máquina florestal - (HARVESTER) em operações de derrubada de árvores, descascamento, desgalhamento de

³³ <http://www.florestalbiomassa.com.br/noticias-2012/168-senai-lancara-naflorestalabiomassa-o-simulador-de-colheita-florestal.html>

³⁴ <http://www.sc.senai.br/siteinstitucional/>

	<p>fustes, traçamento de toras, utilizando o SIMULADOR VIRTUAL de acordo com a sua capacidade e finalidade de utilização, bem como, zelar pelo melhor desempenho e rendimento, evitando manutenções corretivas e riscos de acidente.</p>
<p>Conteúdo programático</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Coordenação motora e visão do processo. - Características que compõem a área florestal. - Reconhecimento do equipamento e suas particularidades. - Funcionamento do equipamento. - Manutenção preventiva: Inspeção de segurança antes do uso da máquina e implemento, inspeção/verificação diária. - Técnicas de segurança na operação. - Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). - Conceitos básicos de higiene, segurança, saúde e meio ambiente. - Princípio de funcionamento dos conjuntos, onde a má operação poderá influenciar no desgaste prematuro e riscos de acidentes. - Causas de acidentes. - Tipos de acessórios. - Operador e suas obrigações. - Planejamento das atividades. - Área de segurança na operação com a máquina. - Prática de operação das etapas da

	<p>atividade.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Segurança no trabalho - Riscos de acidentes. - Reconhecimento da área de trabalho (terreno/atividade). - Utilização e manuseio dos comandos da máquina e cabeçote. - Regras gerais.
--	--

Fonte: Senai de Santa Catarina.³⁵

Aspectos positivos: a) Fixação dos conhecimentos de operação da máquina; b) Representa as condições de terreno no Brasil; c) Gráficos de alta resolução; d) Física realista; e) Bom programa de treinamento.

Aspectos negativos: a) Possui uma tela, o que dificulta a visualização da totalidade do terreno de dentro da cabine, a não ser por visão externa geralmente aérea; b) Não possui painel similar ao equipamento real, limitando-se a joysticks comuns.

IV.6 - Simuladores de Reach Stacker similares

O simulador de Reach Stacker que foi desenvolvido pela LSyM (*Laboratory for Simulation and Modeling*)³⁶, da Universidade de Valência é utilizado pela Incatep³⁷, figura 14. A LSyM é um grupo de pesquisa avançada, faz parte da IRTIC (Instituto de Robótica e Tecnologias de Informação e Comunicações), pertencente à Universidade de Valência. LSyM vem desenvolvendo há mais de uma década simuladores de máquinas e equipamentos civis para fins de educação e formação profissional.

³⁵ <http://www.sc.senai.br/siteinstitucional/servicos/curso/show/curso/4480/nome/simulador-de-colheita-florestal--harvester>

³⁶ <http://smagris3.uv.es/irtic/?q=en/proyecto/lSYM/reach-stacker-crane-simulator>

³⁷ <http://www.inatep.com.br/>



Figura 14 - Simulador de Reach Stacker desenvolvido pela LSyM.

Fonte: LSyM³⁸.

Simulador de Reach Stacker desenvolvido pela Cocodris³⁹, figuras 15a e 15b. A Cocodris é um centro de treinamento que desenvolve simuladores de condução de veículos e equipamentos em tempo real com sua base de desenvolvimento completado pelo DIPTEM (*Dipartimento di Ingegneria della Produzione, Termoenergetica e Modelli Matematici*) da Universidade de Gênova. O uso de simuladores para treinamento e educação garantem vantagens estratégicas, possui suporte para soluções modulares e sob medida, reduzindo drasticamente o uso do equipamento real.

³⁸ <http://smagris3.uv.es/irtic/?q=en/proyecto/lSYM/reach-stacker-crane-simulator>

³⁹ <http://www.liophant.org/cocodris/>



Figura 15a – Simulador de Reach Stacker da Cocodris.

Fonte: Cocodris.⁴⁰



Figura 15b – Simulador de Reach Stacker da Cocodris.

Fonte: Cocodris.⁴¹

⁴⁰ <http://www.liophant.org/cocodris/stacker1.jpg>

⁴¹ <http://www.liophant.org/cocodris/stacker2.jpg>

IV.7 - Conclusões do capítulo

Todos os exemplos de simuladores apresentados neste capítulo oferecem solução eficaz para as propostas apresentadas por seus desenvolvedores, fornecendo assim uma ampla pesquisa para o desenvolvimento do simulador de Reach Stacker, tema desta dissertação. Embora alguns simuladores apresentados sejam de outros modelos de equipamentos, todos convergem para a solução do mesmo problema: diminuição do uso do equipamento real, diminuição dos custos e riscos operacionais utilizando recursos de Realidade Virtual, agregando dessa maneira novos conhecimentos para a viabilização e desenvolvimento deste projeto.

CAPÍTULO V – ELEMENTOS DO SISTEMA

V.1 - Introdução

Os elementos deste sistema e os seus principais componentes são descritos neste capítulo, assim como as características básicas dos softwares utilizados e os periféricos utilizados no simulador.

V.2 - Cenários virtuais utilizados na simulação

Sobre a utilização de cenários virtuais segundo MURRAY apud CARDOSO (2002) "A ênfase hoje está no realismo (...) o nível de realismo tem aumentado a tal ponto que o ambiente virtual é virtualmente indistinguível do físico".

Os Cenários tridimensionais foram modelados com o 3ds Max e são constituídos por: pátio, figura 16, Contêineres de 20 e 40 pés, figura 17, e pelo próprio Reach Stacker, figura 18.

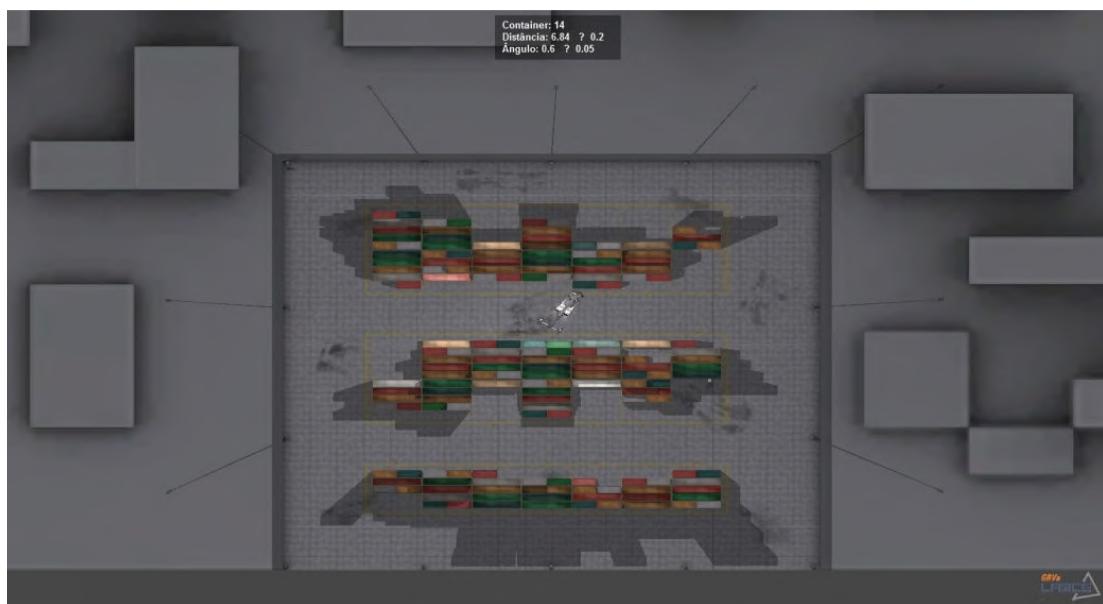


Figura 16 – Vista de topo da área de simulação.

Fonte: Elaborada pelo autor.

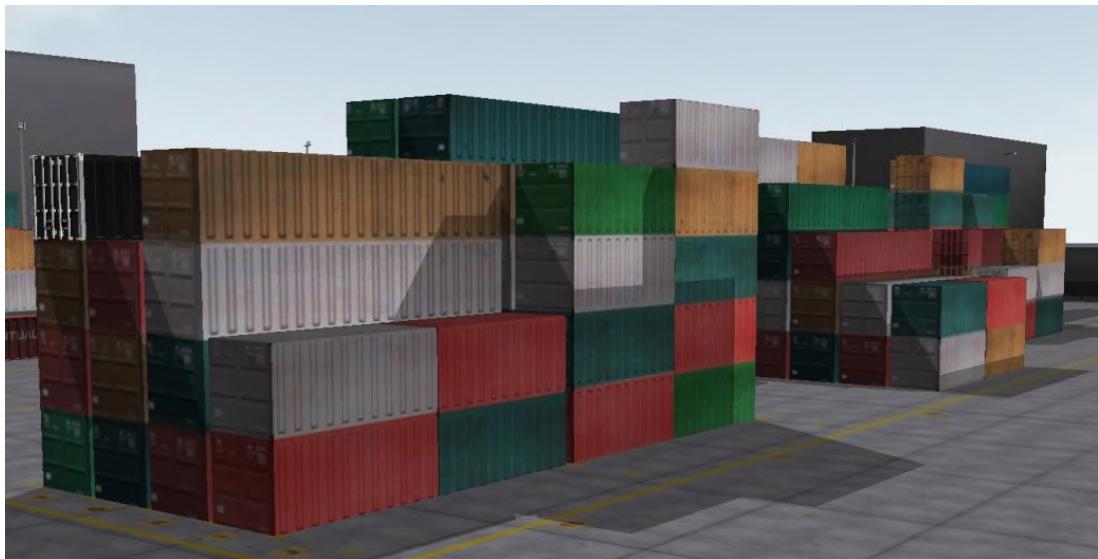


Figura 17 – Contêineres de 20 e 40 pés.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 18 – Reach Stacker virtual.

Fonte: Elaborada pelo autor

Através do ambiente virtual cria-se a imersão no interior de um modelo computadorizado, gerando assim uma Realidade Virtual, possibilitando a inclusão de objetos virtuais com sombras e reflexos projetados e transição desses mesmos cenários de maneira instantânea. Os cenários foram desenhados para serem percebidos da mesma maneira que os espaços reais.

V.3 - 3ds Max

A escolha deste software para a modelagem 3D se justifica pelo fato de que já era utilizado pelo Grupo de Realidade Virtual aplicada – GRVa a bastante tempo e sempre

supriu as necessidades durante o desenvolvimento dos modelos tridimensionais, além de ser um dos mais utilizados e conhecidos programas de modelagem e animação 3D do mercado. No seu lançamento chamava-se 3D Studio para MS Dos, desenvolvido em 1998 pela *Yost Group* para a Autodesk. A partir de 1995 por motivos de marketing lançou uma nova versão para a plataforma Windows, modificou o seu nome para 3D Studio Max⁴². Software de modelagem 3D, animação, simulação e renderização, sendo utilizado em produção de filmes de animação, criação de personagens de jogos em 3D, vinhetas e comerciais para TV, animação de partículas e combinação de perspectivas. É utilizado por artistas de jogos, cinema e gráficos animados, é usado também na criação de maquetes eletrônicas e na criação de qualquer mundo virtual. Na figura 19 podemos observar a área de trabalho do 3ds Max.

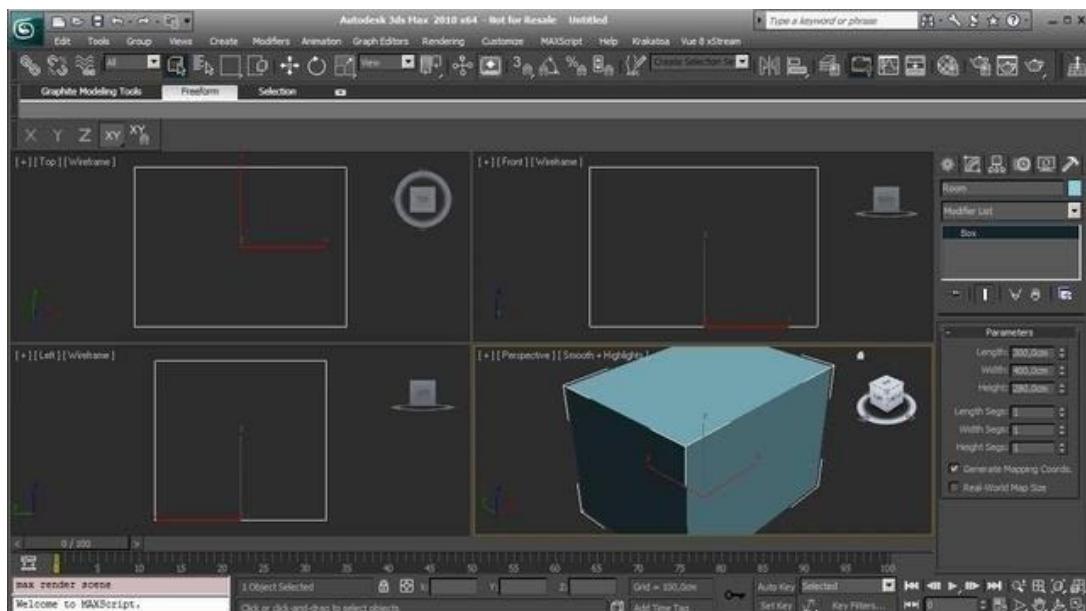


Figura 19 - Área de trabalho do 3ds Max.

Fonte: Autodesk.⁴³

V.3.1 - Características

- Modelagem 3D: o software disponibiliza diversas ferramentas avançadas de modelagem poligonal e para modelagem tridimensional livre. Pode-se modelar ou desenhar uma enorme diversidade de figuras geométricas livres que fogem à geometria

⁴² <http://www.autodesk.com.br/products/autodesk-3ds-max/overview>

⁴³ <http://www.autodesk.com.br/products/autodesk-3ds-max/overview>

convencional: personagens, pessoas, rostos, carros e plantas, etc. Podemos observar o chassis do Reach Stacker modelado na figura 20.

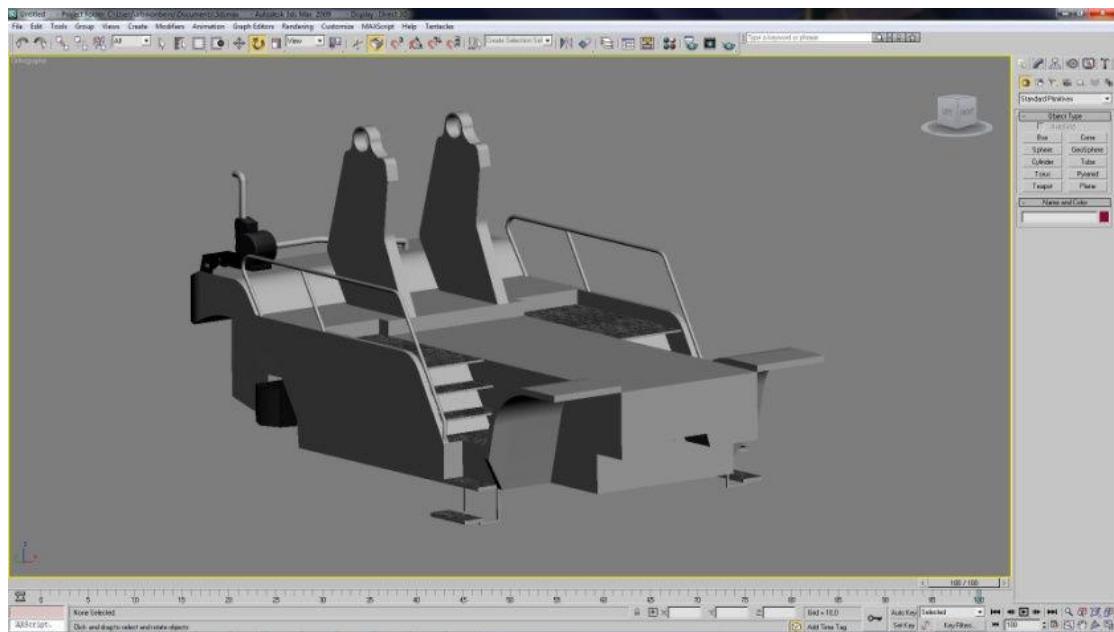


Figura 20 - Chassis do Reach Stacker modelado com o 3ds Max.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O 3ds Max gera uma extensão nativa .MAX. Mesmo assim, demonstra compatibilidade com a grande maioria dos programas (*softwares*) de modelagem tridimensional. Um dos atributos fundamentais é a capacidade de gerar superfícies NURBS⁴⁴. Mantém permuta de arquivos com as extensões mais conhecidas: .3DS, .DXF, .DWG, etc. Tem a capacidade de modelagem poligonal: *Edit Poly*, *Edit Mesh*, *Edit Path* e NURBS. Podem ser utilizados modificadores se necessário, alguns destes podem ser utilizados por intermédio de *plugins*⁴⁵, *Editable Poly*, *Editable Mesh* ou *polygon by polygon*, neste tipo de modelagem criam-se polígonos, um de cada vez.

Na matemática, polígonos são definidos como superfícies planas que se limitam por linhas poligonais fechadas. A Linha poligonal forma-se apenas por segmentos de reta. Os lados de um polígono são coincidentes com o seu número de ângulos e precisam ser elementos fechados. O simulador é uma aplicação que ocorre em tempo real, por esse motivo optou-se pela geometria da modelagem baseada em *Low Poly*, que é uma malha em computação gráfica 3D que tem um número relativamente pequeno de polígonos, tornando a renderização mais rápida e consumindo menos recursos gráficos.

⁴⁴ Non Uniform Rational Basis Spline (NURBS) é um modelo matemático usado regularmente em programas gráficos para gerar e representar curvas e superfícies.

⁴⁵ Plugins são ferramentas para estender a funcionalidade de softwares.

Na figura 21 temos um exemplo de *Low Poly* aplicado na lança do Reach Stacker e seus componentes.

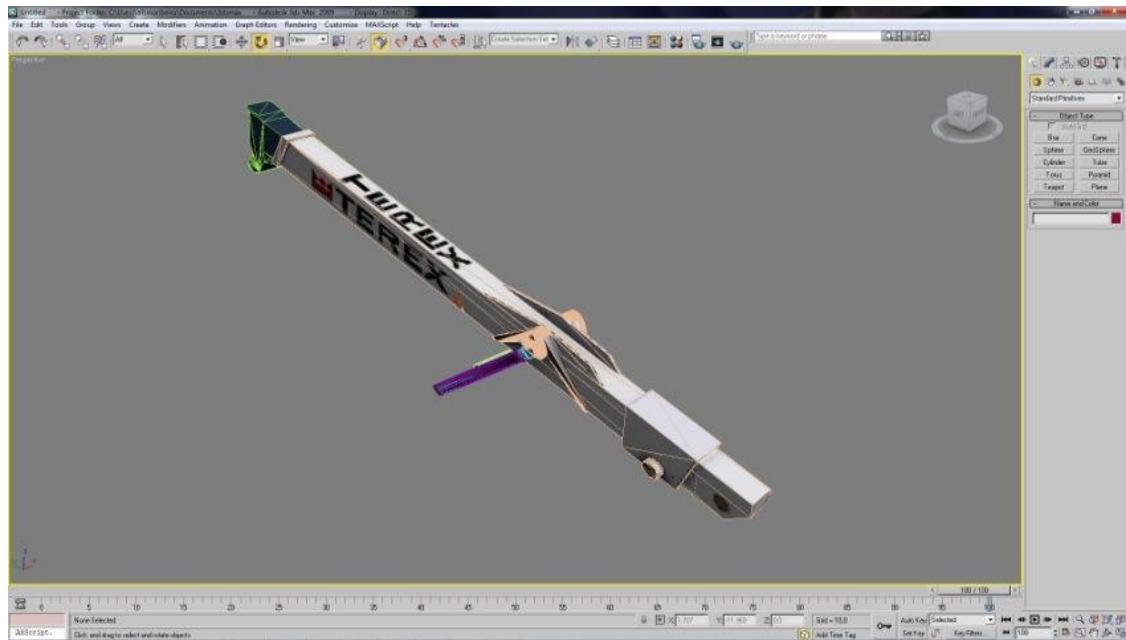


Figura 21 - Exemplo de *Low Poly* aplicado na lança do Reach Stacker e seus componentes.

Fonte: Elaborada pelo autor.

TORI, *et al.*, (2006) afirma:

Para poder suportar a navegação em tempo real, o sistema deverá ter desempenho suficiente para ler os sensores do dispositivo de navegação, posicionar o usuário no mundo virtual, realizar testes de colisão, se estiver habilitado para isto, e calcular e mostrar a cena com o número de quadros por segundo apropriado.

Por este motivo, além da preocupação com a utilização de máquinas com desempenho elevado, foram realizadas otimizações na maior parte dos modelos tridimensionais utilizados no simulador, repercutindo em um maior número de FPS (frames por segundo), em torno de 30 a 40, proporcionando um nível de realismo convincente.

- NURBS: O modo mais avançado para substituir os polígonos, dando uma superfície suave ao modelo. O NURBS é matematicamente exato para representação de superfícies de forma livre usado para formas de carros e casco de navios. Pode ser exatamente reproduzido em qualquer tamanho. Com o NURBS você pode modelar

objetos com formas suaves facilmente. Mas lembrando de que o NURBS não foi bem desenvolvido no 3D Studio Max, e o método mais utilizado é a modelagem poligonal.

- Texturização e sombreamento: Disponibiliza muitas possibilidades para mapeamento, texturização e camadas, possibilitando assim, por seu intermédio a criação de objetos 3D com texturas realistas. A Textura é definida como o material que reveste os objetos na modelagem para lhes dar a aparência que tem na vida real. Se você modela uma parede, você pode representá-la com texturas de azulejos, concreto ou tijolos, etc. A texturização pode ser aplicada a tudo o que é modelado no 3ds Max, até mesmo figuras humanas.

- Animação⁴⁶: O software disponibiliza a possibilidade de criação de animações tridimensionais com extrema qualidade. Podem-se criar animações de personagens, animação de objetos, reprodução de vida de forma realista e de maneira foto realística.

- Efeitos e Simulações: ferramentas avançadas para a criação de efeitos dinâmicos, com movimentação e cenas. É capaz de produzir efeitos especiais, que são usados em *games*, cinema e comerciais de TV.

- Renderização⁴⁷: ferramentas avançadas para a obtenção de animações e imagens para apresentações.

V.4 - Quest3D

O Quest3D⁴⁸ é um software utilizado para criação de aplicativos em tempo real. Foi escolhido para o desenvolvimento do simulador por suas características que permitem ser utilizado por pessoas que não sabem programar e por disponibilizar uma ferramenta extra para configuração do *force feedback* (reorientação de força), o *Force Editor*, figura 22, podem ser ajustados os tipos de vibração dos motores do volante com arquivos pré configurados, ou com modificações posteriores. Através do Quest3D o usuário pode desenvolver simuladores, softwares, páginas da web em 3D,

⁴⁶ A animação digital é a arte de criar modelos tridimensionais em movimento utilizando computadores, mais especificamente usando recursos de computação gráfica.

⁴⁷ Renderização é o processo pelo qual se pode obter o produto final de um processamento digital qualquer.

⁴⁸ <http://quest3d.com/>

demonstrações de projetos de arquitetura, treinamento por intermédio do computador, aplicações para a televisão, filmes e jogos.

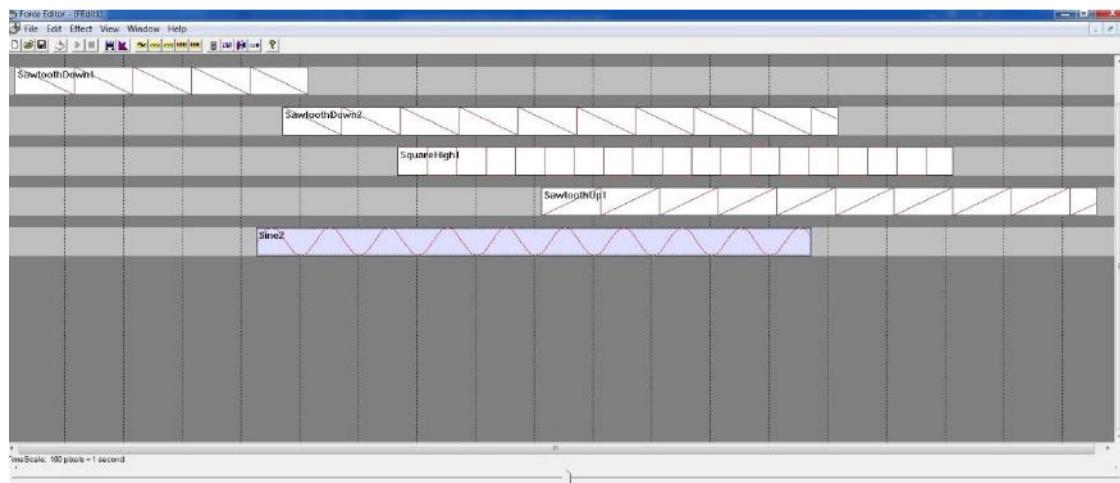


Figura 22 – Force Editor do Quest3D.

Fonte: Elaborada pelo autor.

É uma solução ideal para visualizações de produtos, entretenimento digital, e *High-End*⁴⁹ VR⁵⁰. Tudo isso permite ao usuário uma grande interatividade em seus projetos podendo assim visualizar todo o processo de criação em tempo real, através do seu exclusivo método visual e utilização dos seus canais. Figura 23, área de trabalho do Quest3D e seus canais na figura 24. Segundo PARREIRAS (2011):

Seu sistema funciona com um modelo de “blocos”, onde cada um possui rotinas pré-programadas para desempenhar determinada função, a semelhança dos *toolkits*, onde esses blocos chamados Canais, se comunicam com outros blocos de mesma função ou funções diferentes, assim construindo um sistema de programação maior. Cada canal se comunica com os outros por meio de relação pai-filho, onde as funções que estiverem associadas à um determinado canal pai, estão subordinadas ao seu funcionamento e diretrizes, e este pai, sendo filho de outro canal também lhe está subordinado e assim por diante. As relações de comando e subordinação, e as ligações entre os canais são representados por linhas com setas. As linhas indicam as relações, e as setas o fluxo da dependência.

⁴⁹ Alta qualidade.

⁵⁰ Sigla de Virtual Reality.

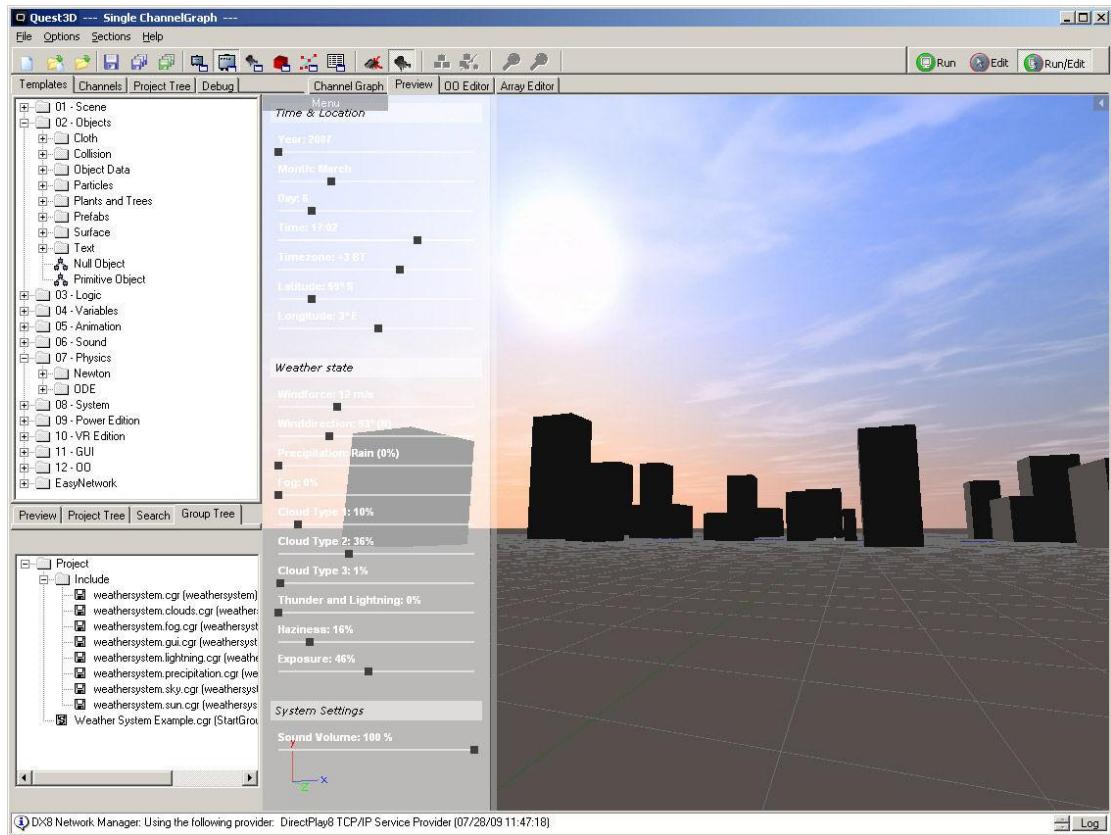


Figura 23 - Área de trabalho do Quest3D.

Fonte: Elaborada pelo autor.

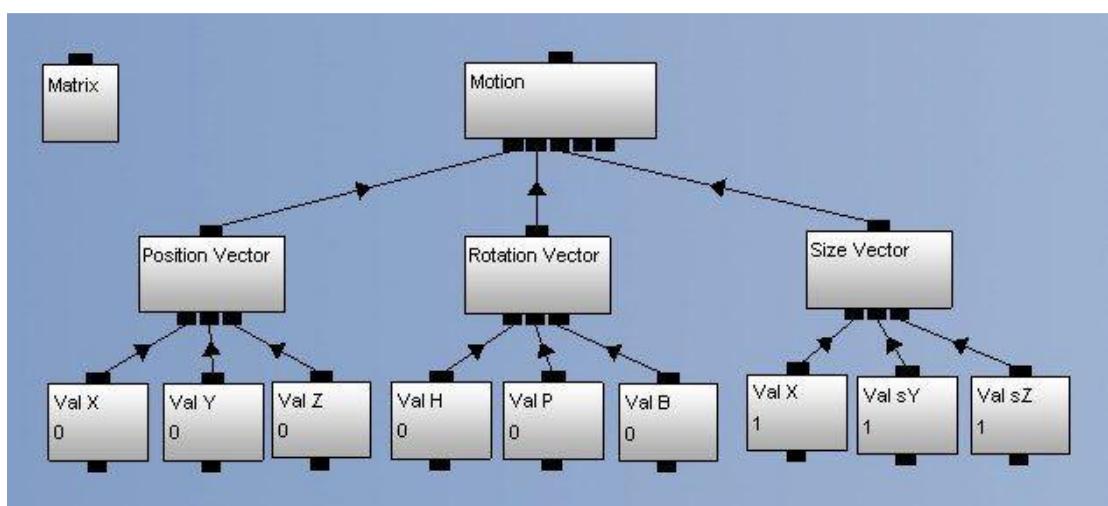


Figura 24 - Canais do Quest3D.

Fonte: Elaborada pelo autor.

V.4.1 - Características

O Quest3D usa um novo sistema gráfico para desenvolver os aplicativos, a *Graphic Language, Building Blocks ou Visual Programming* (programação visual), figura 25. Nele, trabalha-se com caixas, ligando-as e inserindo as informações em cada uma, descartando assim a preocupação com os erros de sintaxe de uma programação convencional otimizando os resultados e voltando toda a atenção do usuário somente para a concepção do projeto, a interface é de fácil compreensão, assim como o seu fluxo de trabalho, não sendo necessário o conhecimento de nenhuma linguagem de programação para a sua utilização o que o deixa em grande vantagem com relação a outros softwares similares, a versão utilizada para o desenvolvimento do simulador foi a 4.3.2.

Para MEDEIROS (2010) “O Quest3D funciona através de um gráfico de canais, uma tela onde as estruturas dos canais são construídas. Os programas criados dentro do Quest3D são construídos com blocos que se assemelham a blocos de madeira, aqueles que as crianças usam para construir edifícios”. No Quest3D, esses blocos são chamados de canais. Isto também permite que pessoas sem formação em programação possam pegar modelos 3D, texturas e criar aplicações para a web ou executáveis de maneira imediata. Esta funcionalidade também permite que artistas e *designers* possam testar cenários e soluções de interface sem depender de programadores e a sua funcionalidade de orientação de objetos “*Object Oriented Development*” o torna fundamental para a criação de grandes projetos, pois se trata de um software extremamente poderoso para diversos tipos de aplicações, o que não descarta também a sua utilização em projetos de menor escala nos mais diversos setores, inclusive em escolas e universidades para a demonstração de conteúdo das disciplinas pelos respectivos professores de cada curso.

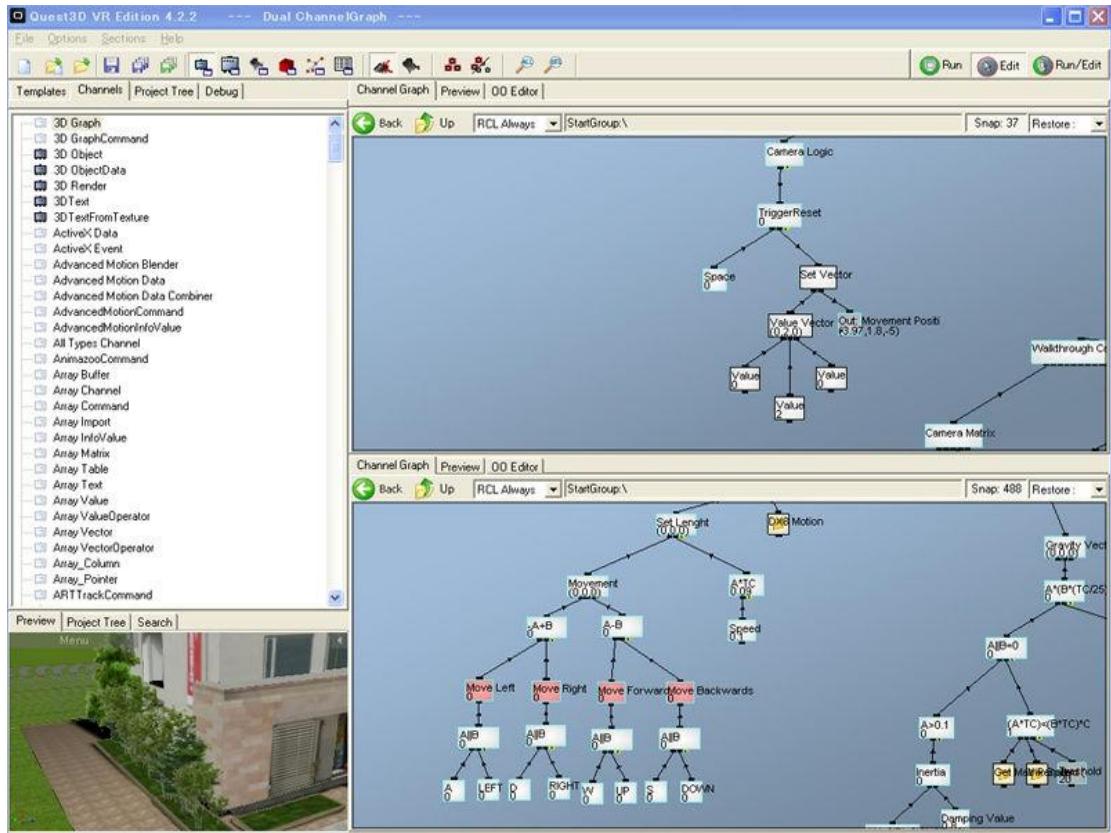


Figura 25 - Linguagem gráfica no Quest3D.

Fonte: Elaborada pelo autor.

É um programa de Visualização 3D, e não de modelagem ou texturização, isso quer dizer que para a criação dos objetos 3D importados para ele é necessário o uso de um modelador/texturizador. Ou simplesmente a importação de modelos 3D e texturas prontas. A plataforma de exportação do Quest3D fornece uma fácil transferência de modelos que utilizem textura com vários conjuntos de luz, podem ser gerados e, em seguida, transferidos para o software. Formatos de textura suportados são de .TGA, .BMP, .DDS, .JPG e .PNG. Formatos de som .WAV e .MP3. Utilizado mundialmente por empresas e instituições grandes e pequenas. É usado principalmente para visualização de arquitetura e de formação, mas outros mercados estão ganhando terreno rapidamente. As instituições educacionais utilizam para o ensino, investigação e desenvolvimento. Os produtos finais variam desde executáveis que rodam na Web ou ser instalado em um computador para grandes sistemas dedicados.

O usuário pode trabalhar os objetos tridimensionais no software de sua preferência. Modelos tridimensionais e cenários com alto grau de sofisticação podem ser importados no Quest3D através de três formatos de arquivos: .cgr (Quest3D), .dae (COLLADA) ou .x (DirectX). A produção desses modelos poderá ser realizada em

qualquer editor ou modelador tais como 3ds Max, Maya, Lightwave, SketchUp, Blender etc. Caso o modelador adotado não salve em um dos formatos compatíveis com o software, *plugins* específicos podem ser utilizados para a exportação ou pode-se ainda utilizar uma ferramenta de conversão de arquivos como o Deep Exploration⁵¹ que é uma ferramenta de visualização e conversão de arquivos 3D (modelos) e 2D (imagens) entre diferentes formatos. Esta ferramenta pode ser útil quando os programas de modelagem utilizados não exportam para um dos formatos compatíveis, ou quando temos um arquivo em um formato para o qual não temos editor, ou o Okino PolyTrans que permite a transferência de uma ampla gama formatos 3D diretamente. PolyTrans é um software de conversão de formato 3D, que deve ser comprado separadamente. Quando o PolyTrans está instalado, o Quest3D irá oferecer automaticamente as muitas opções de importação extra.

Supora também uma grande variedade de dispositivos, incluindo mouse, teclado, telas *touch-screen*, *joysticks*, *Wiimote*, Luvas 3D, *Motion Trackers*, Monitores 3D como o Philips WOWvx e *Render* em *Stereo* para uso em CAVES (Cavernas de Projeção Digital), também pode ser utilizado para a prototipação e até o desenvolvimento de jogos completos, sem restrições.

Qualquer profissional seja da área de Computação Gráfica ou não pode utilizar o software e obter bons resultados. Para quem tem conhecimento em programação, o Quest3D possui suporte à *LUA scripting* e *Finite State Machine*.

Ao adquirir uma licença do Quest3D, você ganha uma licença comercial, para produzir e comercializar seus projetos sem cobrar Royalties sobre o que você desenvolve. É possível publicar seus projetos em executáveis (.EXE), páginas da web (necessita a instalação do Quest3D Web Viewer); *screen savers* e instaláveis (como qualquer programa que você instala e executa da sua máquina). O Quest3D também vem com o seu SDK⁵², para quem quiser desenvolver seus próprios canais para utilizar no programa.

Além disso, conta com vários recursos avançados como suporte a *shaders* (técnica que dá qualidade visual aos modelos tais como *Normal Mapping* e *Relief Mapping*) de acordo com MEDEIROS (2010) Quest3D “suporta *shaders* de excelente qualidade, exibindo gráficos tridimensionais comparáveis aos consoles Playstation 3 e Xbox 360”.

⁵¹ <http://deep-exploration.software.informer.com/>

⁵² SDK é a sigla de Software Development Kit, ou seja, Kit de Desenvolvimento de Software ou Kit de Desenvolvimento de Aplicativos.

Possui *High Dynamic Range rendering* (HDR - técnica que simula a adaptação do olho humano a ambientes com pouca ou muita luz), *Nature Painting* (técnica para desenvolver grandes cenários em tempo real), *Cloth Rendering* (simulação de tecidos), *Crowd Rendering* (simulação de multidões), *Path Finding* (definição de caminhos a serem percorridos por câmeras, avatares ou objetos), *Water Rendering*, já vem com um sistema embutido para simulação de água, tanto em pequena quanto em larga escala, com controle de ondas, etc), *Particle Simulation* (Simulação de Partículas, como fumaça, fogo, etc), *Animation Blending* (técnica muito usada em personagens - este sistema faz uma mistura de diferentes animações criadas para um personagem, como andar e correr, permitindo uma transição mais suave em tempo real), *GUI rendering* (técnica para criação de interface gráfica como botões, barras, etc), *Stereo Rendering* (técnica para visualização em *CAVES*⁵³ com óculos 3D polarizados ou *Anaglifo*⁵⁴, que são os óculos vermelhos e azuis, podendo ser utilizados em qualquer monitor ou TV), *Weather System* (esse sistema já vem pronto no Quest3D, ele simula a passagem do dia em tempo real, inclusive com chuva); Três sistemas de Física: *ODE*, *Newton* e o *Physics*⁵⁵, da *NVIDIA*⁵⁶.

Oferece suporte à rede, permitindo aplicações e *Games Multiplayer* em redes locais e online. Também oferece acesso a banco de dados *MySQL*, *ODBC*, suporta diferentes arquivos de áudio e vídeo, e vários dispositivos de entrada e saída de dados. PARREIRAS (2011) afirma que o Quest3D é “um *engine* completo, com sistema de física próprio, iluminação e vários outros sistemas que facilitam muito a criação de aplicações de realidade virtual.”

O Quest3D vem em três edições (Anexo 1). Cada edição tem um valor diferente. O software pode ser encontrado na página web do fabricante. É necessária uma licença para cada local que use o software. Pode ser adquirido por um preço menor se for para uso educacional.

⁵³ Caverna digital ou *CAVE* (*Cave Automatic Virtual Environment*) é uma pequena sala onde são projetados gráficos em três dimensões, em suas paredes.

⁵⁴ *Anaglifo* é uma imagem (ou um vídeo) formatada de maneira especial para fornecer um efeito tridimensional estereoscópico quando visto com um óculos de duas cores (cada lente com uma cor diferente).

⁵⁵ *PhysX* é uma tecnologia criada pela AGEIA, recentemente comprada pela nVidia, que tornou tal tecnologia exclusiva para Processadores gráficos(GPUs) *GeForce* da *NVIDIA*.

⁵⁶ <http://www.nvidia.com.br/page/home.html>

V.5 - Adobe Photoshop

O Adobe Photoshop⁵⁷ é um dos mais reconhecidos programas de edição de imagens do mercado. A escolha para a edição de imagens e texturização dos modelos 3D e cenários do simulador foi devido a sua grande quantidade de recursos que ajudam a aprimorar e transformar imagens, através dos seus filtros, efeitos, pincéis, texturizações e uma imensa quantidade de outras ferramentas. As suas versões são disponibilizadas para os sistemas operacionais Windows e Mac, disponibiliza ferramentas para a produção de trabalhos de alta qualidade. Uma das ferramentas que mais repercutiu no desenvolvimento rápido das imagens para o simulador foi o *Mercury Graphics Engine* aproveitando assim o processamento gráfico do computador ampliando bastante a produtividade. A área de trabalho do Photoshop com a textura dos contêineres sendo editada na figura 26.

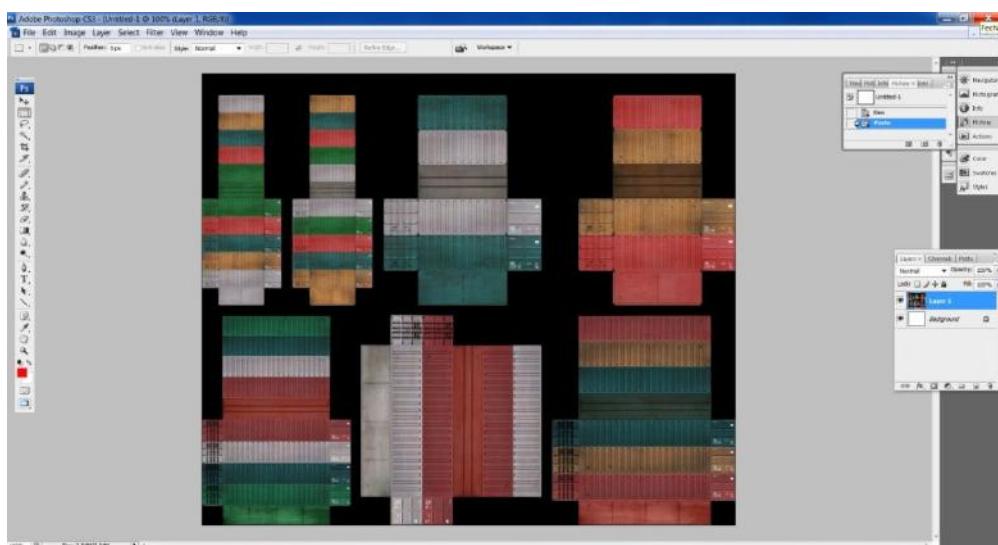


Figura 26 - Área de trabalho do Photoshop com a textura dos contêineres sendo editada.

Fonte: Elaborada pelo autor.

V.5.1 - Características

O Photoshop utiliza uma extensão de arquivo padronizada o .PSD (*Photoshop document*). Este tipo de arquivo possibilita o armazenamento de uma imagem que suporta a maioria das imagens disponíveis no próprio Photoshop: camadas com

⁵⁷ <http://www.adobe.com/br/products/photoshopfamily.html>

máscaras, texto, transparência, canais alfa e cores especiais, caminhos de recorte e configurações duotônicas⁵⁸. Isto está em contraste com muitos outros formatos de arquivo. Por ser tão popular, os arquivos .PSD do Photoshop são amplamente utilizados e suportados de alguma forma pela maioria dos softwares concorrentes. Segundo MEDEIROS (2010) “Apesar de ter sido concebido para edição de imagens para impressão em papel, o Photoshop está a ser cada vez mais usado também para produzir imagens destinadas à Internet”.

É como um editor de imagem baseado em *pixels*⁵⁹, ao contrário dos outros editores de imagem que são baseados em vetores. O Photoshop também permite a edição de gráficos vetoriais através de suas ferramentas. Estas ferramentas e comandos são convenientes para combinar imagens de pixel baseadas em vetor em um documento Photoshop.

Na figura 27, podemos observar o mapa de textura criado pelo 3ds Max e editado no Photoshop com as cores e logotipos similares aos utilizados pelo Reach Stacker real.

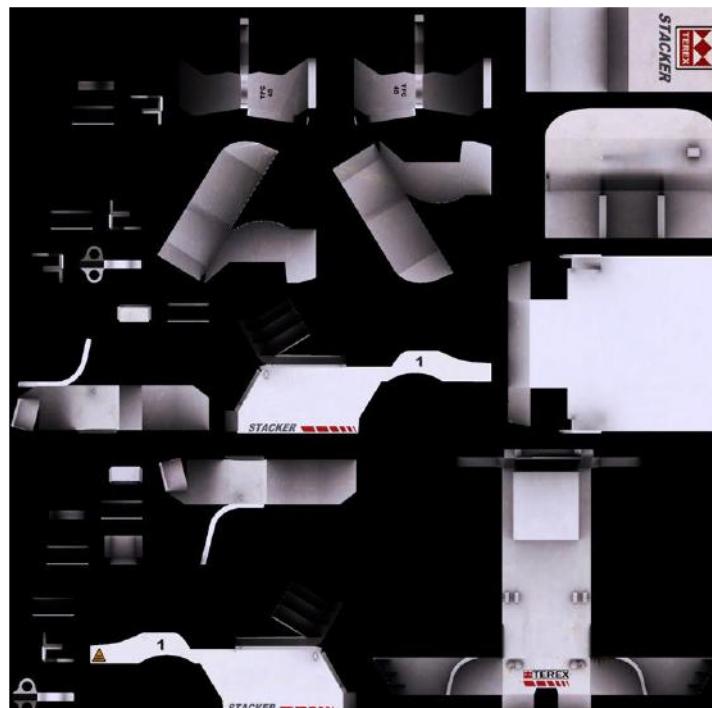


Figura 27 - Mapa de textura gerado pelo 3ds Max e editado no Photoshop.

Fonte: Elaborada pelo autor

⁵⁸ Duotônicos, tritônicos e quadritônicos são imagens em tons de cinza impressas com duas, três e quatro tintas, respectivamente. Nessas imagens, em vez de diferentes tons de cinza, tintas coloridas são usadas para reproduzir as tonalidades de cinza.

⁵⁹ Pixel (sendo o plural pixels ou píxeis) (aglutinação de Picture e Element, ou seja, elemento de imagem, sendo Pix a abreviatura em inglês para Picture) é o menor elemento num dispositivo de exibição (como por exemplo um monitor), ao qual é possível atribuir-se uma cor.

Pode ser estendido com a utilização de programas *add-on* chamados Photoshop *plugins* (ou *plug-ins*). A própria Adobe⁶⁰ desenvolve alguns *plugins*, como o *Adobe Camera Raw*, mas as empresas concorrentes desenvolvem a maioria dos *plugins* de acordo com as especificações definidas pela Adobe. Alguns são gratuitos e outros são softwares comerciais. A maioria dos *plugins* trabalha somente com Photoshop ou programas compatíveis com o Photoshop, mas alguns também podem ser executados como aplicativos independentes.

Os principais tipos existentes são: filtro, exportação, importação, seleção, correção de cor e automação. Os mais populares são os *plugins* filtro (também conhecidos como 8bf *plugins*), disponíveis sob o *menu filtro* no Photoshop. Os *plugins* filtro podem modificar a imagem atual ou criar alguma forma de conteúdo.

V.6 - Pesquisa de Campo

A pesquisa de campo foi efetuada no Terminal de Contêineres II do Porto do Rio de Janeiro, o qual a MultiRio⁶¹ em 1998 se tornou arrendatária após vencer a licitação. Oferece serviços a diversos importadores, exportadores e armadores, sendo considerada uma das melhores em níveis de serviços. Os serviços do Terminal de Contêineres II podem ser vistos na tabela 4. Opera cargas das seguintes companhias: CCL, CMA-CGM, CSCL, DSR, GRIMALDI, GTG, HANJIN, LIBRA NAVEGAÇÃO, MAERSK, MARUBA, MITSUI, MSC, NIVER LINES, PIL, ZIM, CHINA SHIPPING, CSAV, HAMBURG SUD, K LINE e PIL.

Tabela 4 – Serviços do Terminal de Contêineres II do Porto do Rio de Janeiro - MultiRio

SERVIÇOS DO TERMINAL	Estiva e desestiva em navios especializados.
	Armazenagem.
	Controle total do inventário.
	Separação por lotes.
	Serviços complementares de embalagem, etiquetagem, paletização e

⁶⁰ A Adobe é uma companhia norte-americana que desenvolve programas de computador com sede em San Jose, Califórnia, desenvolveu também o Photoshop.

⁶¹ http://www.multiterminais.com.br/e_multirio.html

	retirada.
	Movimentação de volumes pesados (<i>heavy lifting</i>)
	Vistoria para efeitos de seguro

Fonte: MultiRio⁶²

A Multirio possui uma área total de 184.000 m², sua extensão do berço possui 533 m e 25.200 m² de área coberta, figura 28.

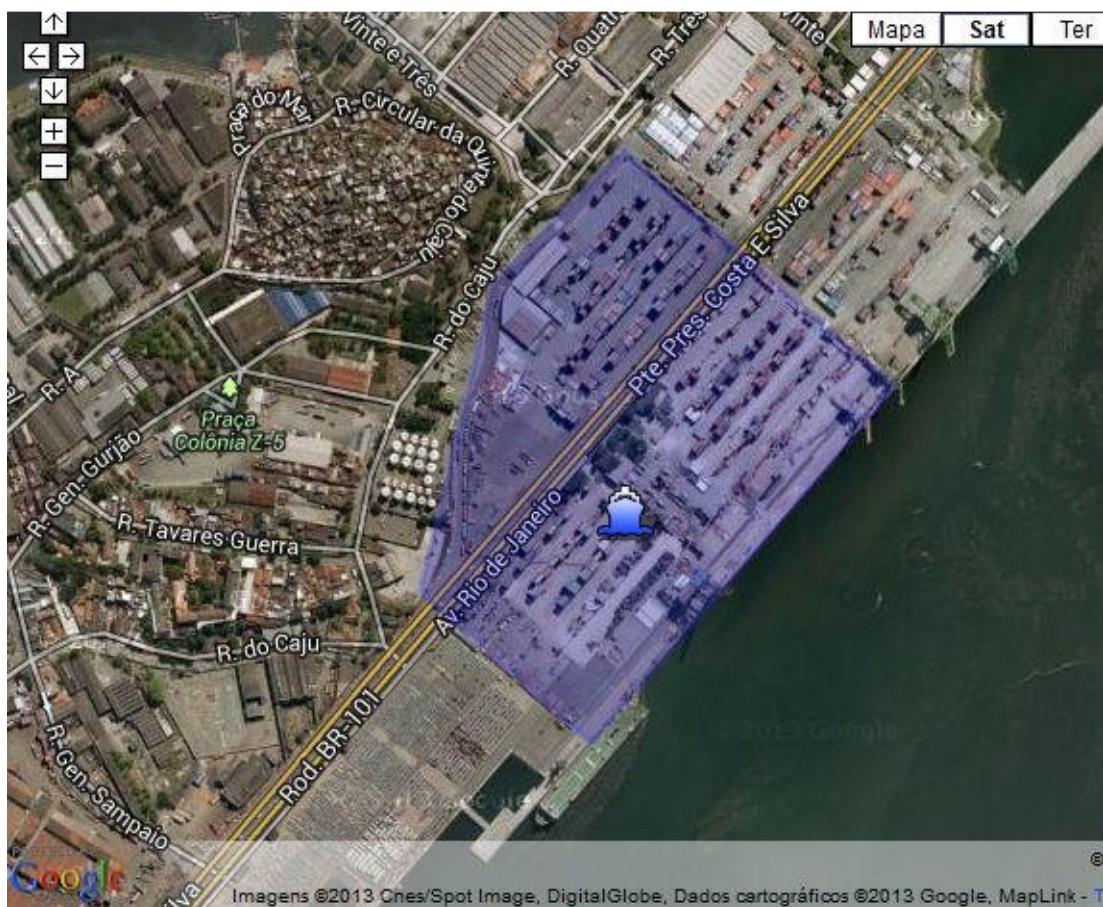


Figura 28 - Localização da Multirio.

Fonte: MultiRio⁶³

⁶² http://www.multiterminais.com.br/e_multirio.html

⁶³ http://www.multiterminais.com.br/e_multirio.html

Na figura 29 temos o painel do Reach Stacker, com os comandos sendo demonstrados pelo operador.



Figura 29 - Painel do Reach stacker

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nas figuras 30 e 31 as manobras no pátio, onde podemos observar parte da pesquisa de campo sendo efetuada.



Figura 30 - Manobras no pátio.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 31 - Manobras no pátio.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A pesquisa de campo foi efetuada através de captura de imagens (fotografias) e vídeos das operações do Reach Stacker no próprio terminal de contêineres da Multirio, por coleta de informações técnicas (manuais técnicos e de operação) e orientações de operadores de Reach Stacker mais experientes sobre os procedimentos de operação do veículo e seu funcionamento.

Para SEABRA (2001), o procedimento metodológico deve incluir as concepções teóricas de abordagem, isto é, o conjunto de técnicas que possibilitam compreender a realidade e a contribuição do potencial criativo do pesquisador. É o caminho do pensamento e a prática exercida no processo de apreensão da realidade.

V.7 - Modelagem 3D

A modelagem 3D de todos os elementos presentes no simulador visual de Reach Stacker foi desenvolvida no software 3ds Max da Autodesk e exportada para o formato Collada⁶⁴, através do *plugin* Open Collada⁶⁵ previamente instalado no 3ds Max, para futura importação pelo Quest3D através do *plugin* Open Collada previamente instalado no 3ds Max, para futura importação pelo Quest3D. Segundo MEDEIROS (2010) “Trata-se de um formato de intercâmbio para arquivos 3D”.

V.8 - Programação visual no Quest3D

O Software Quest3D funciona através de um sistema de programação que utiliza blocos que são chamados canais, através deles flui a programação inserida nos blocos, as setas de cada canal indicam a direção do fluxo de programação e seu respectivo filho na hierarquia. Para entender o esquema de programação visual no Quest3D basta olharmos o seu funcionamento básico abrindo um exemplo já disponível nos modelos do Quest3D, a *Simple Scene*, figura 32. Do lado esquerdo da cena simples, temos o *Channel Graph*, e do lado direito o *Preview*.

⁶⁴ COLLADA (abreviação do inglês para Collaborative Design Activity) é um padrão de exportação e importação de arquivos criado pela Sony.

⁶⁵ <https://collada.org/mediawiki/index.php/OpenCOLLADA>

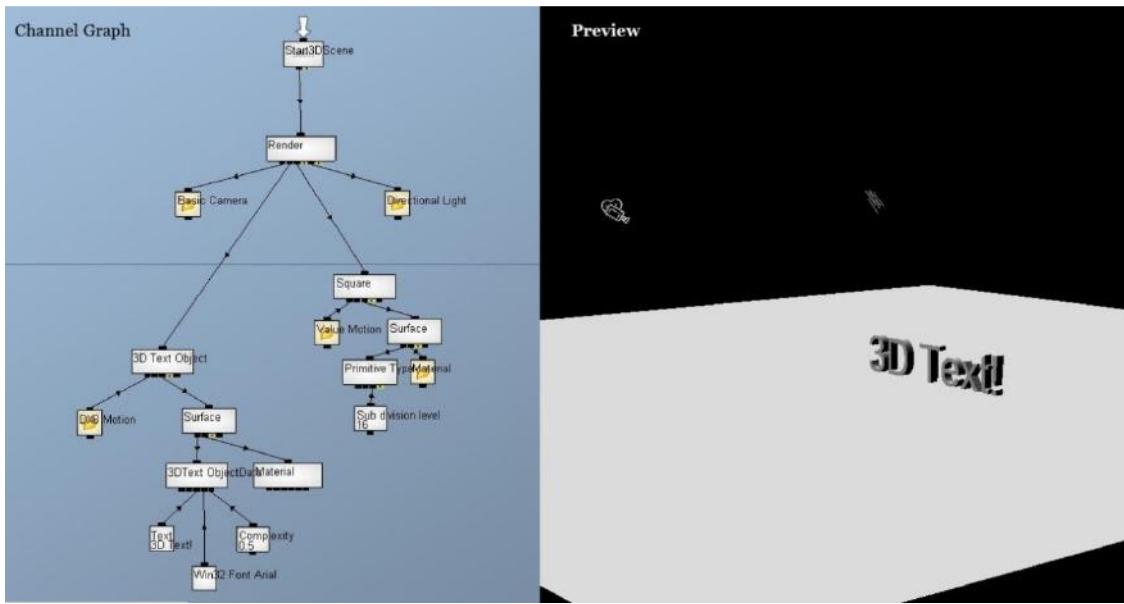


Figura 32- *Simple Scene* no Quest3d.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao acompanharmos o fluxo de programação no canal gráfico vemos que o início do processo se dá pelo *Start3DScene*, a partir daí o fluxo prossegue do lado esquerdo de cada canal (*channel*) e seguem a direção das setas que acompanham as linhas de conexão de cada um desses blocos (canais), a partir deste raciocínio podemos facilmente observar o fluxo e ordenação de cada comando executado pelo programa. A partir do *Start3DScene*, ativa-se o *render* (*3D render*), que permite toda a visualização gráfica 3D através da *Basic Camera* que vem a seguir, figura 33, por intermédio dela podemos posicionar a visualização na posição e tamanho que quisermos, é similar a uma câmera de filmagem real, seguindo a hierarquia, da esquerda para a direita do canal *Render*, temos o *3DText Object*, figura 34, modelo 3D do texto que aparece na visualização, é composto pelo *DX8 Motion*, que são os seus parâmetros de posição, rotação e tamanho e pela *Surface*, o qual contém as especificações do que será escrito no modelo 3D e o tipo de fonte que será utilizada, assim como o material utilizado.

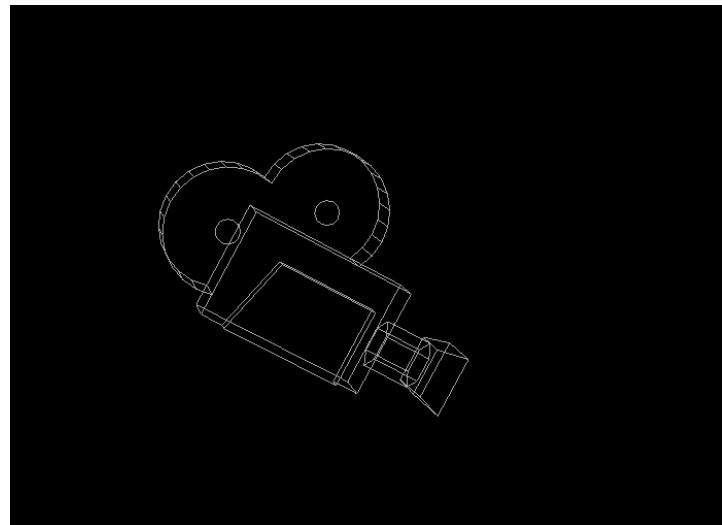


Figura 33 - *Basic Camera*.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 34 – *3DText Object*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Seguindo a lógica de hierarquia dessa programação temos na próxima conexão no *Render* o canal *Square*, figura 35, que representa o piso da cena, através de um objeto primitivo 3D retangular e seus parâmetros, movimento e superfície.

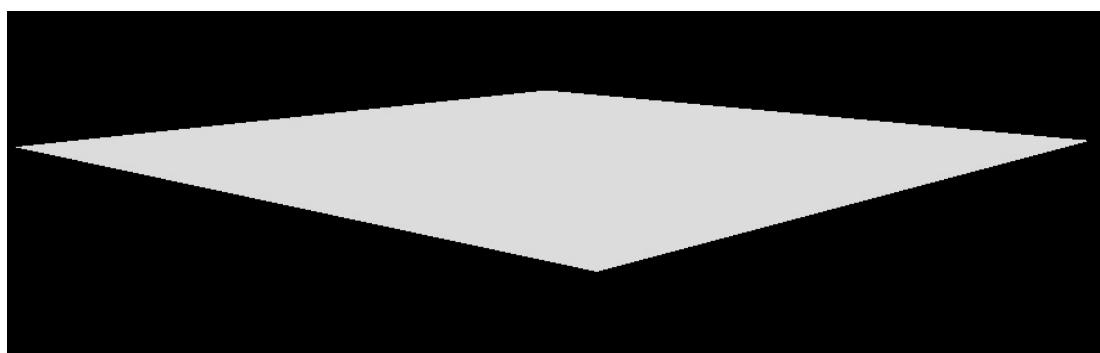


Figura 35 - *Square*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A seguir temos a representação gráfica do canal *Directional Light*, figura 36, que ilumina toda a cena e é extremamente configurável através de seus parâmetros internos.

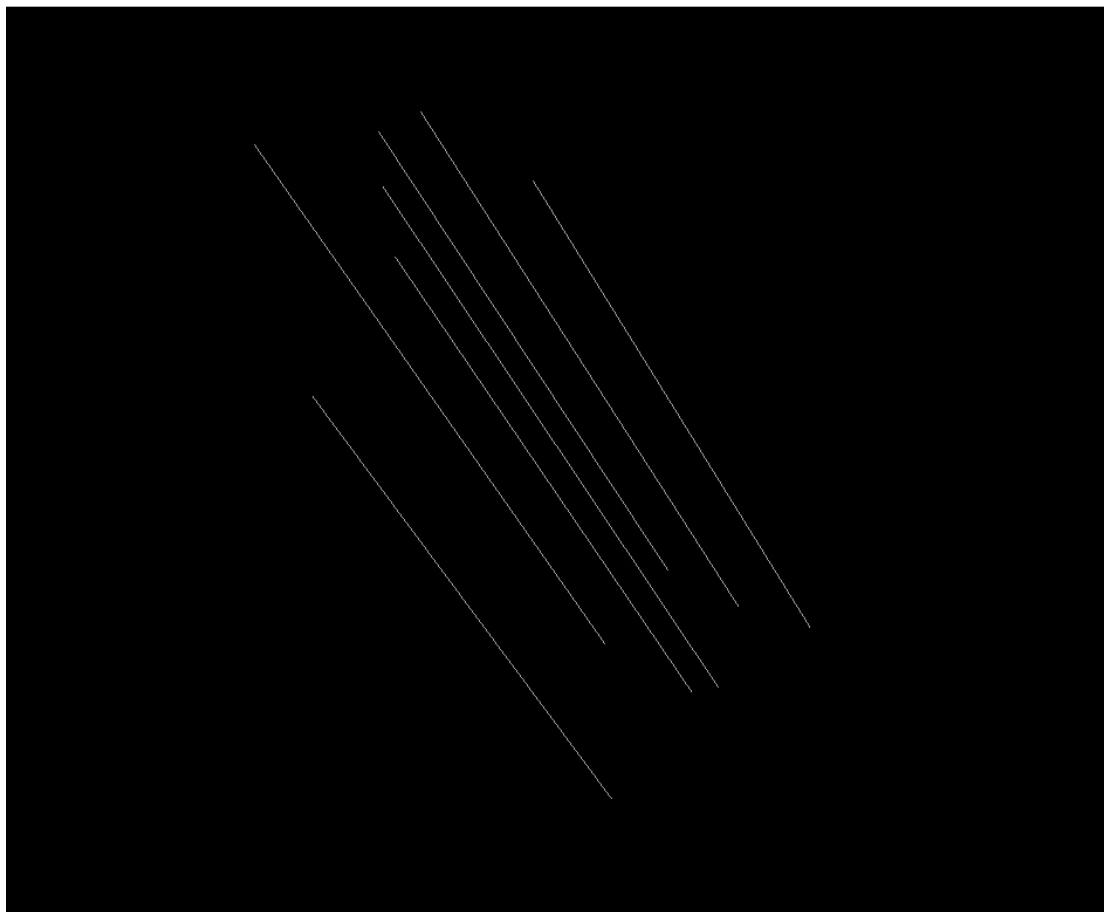


Figura 36 – Representação gráfica do canal *Directional Light*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir desses princípios básicos de programação visual no Quest3D podemos entender melhor a lógica de programação utilizada no desenvolvimento do Simulador de Reach Stacker. Na figura 37, podemos observar o *Channel Graph* com parte da programação do simulador que dá tração às rodas dianteiras.

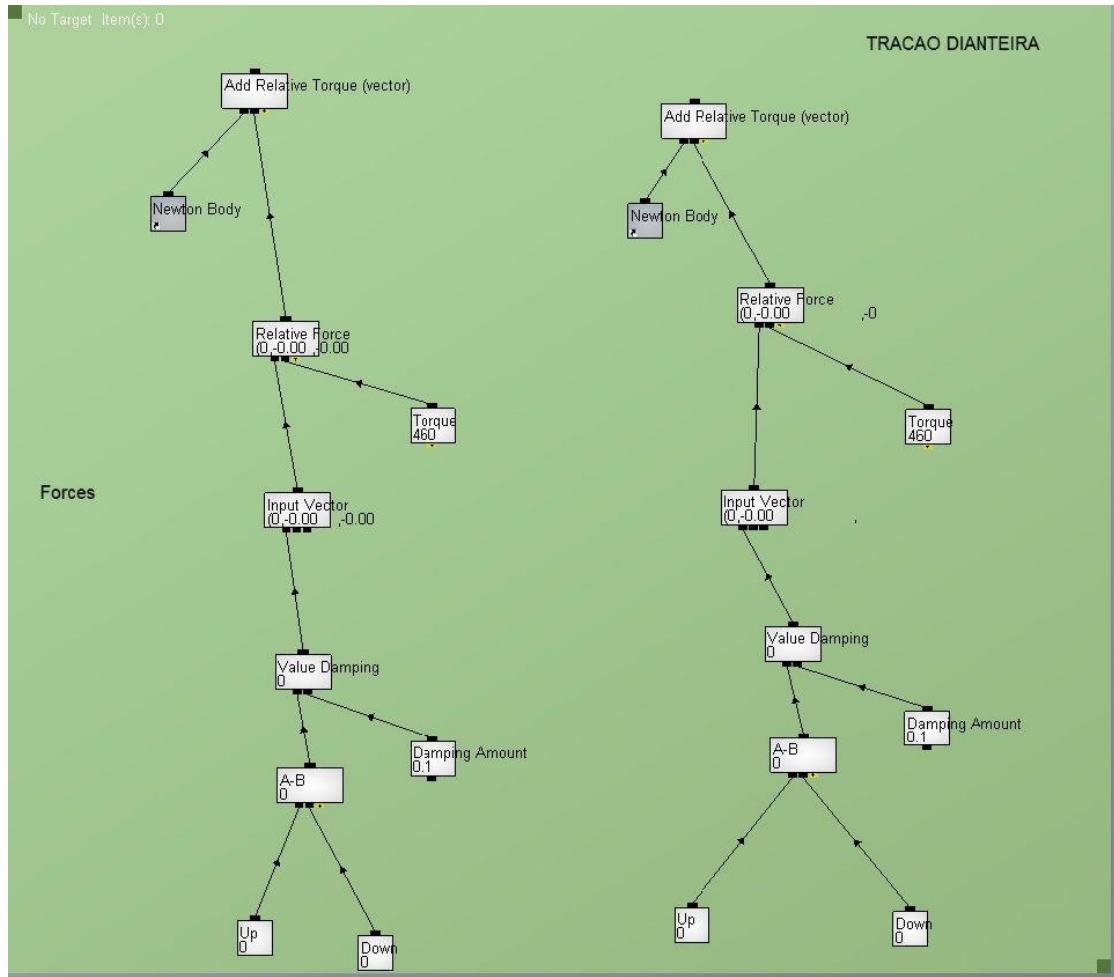


Figura 37 - *Channel Graph* com parte da programação do simulador que dá tração às rodas dianteiras.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foram utilizados na programação visual os *Square Item*, figura 38, que são caixas coloridas que ficam atrás de cada conjunto de canais para uma melhor localização e classificação desses grupos.

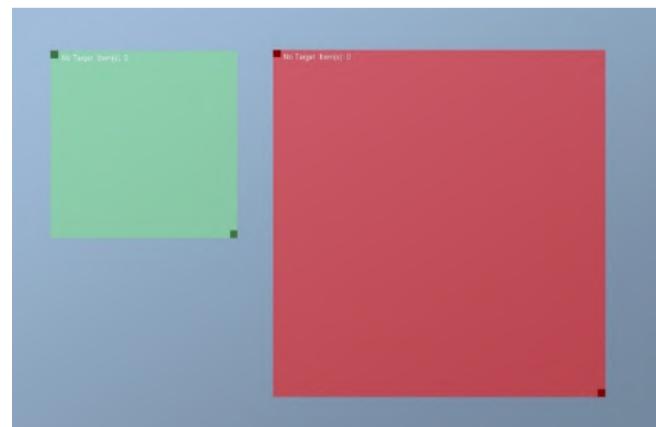


Figura 38 – *Square Item*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

V.8.1 - Desenvolvimento do Software do simulador de Reach Stacker.

A modelagem geométrica de todos os elementos visuais da simulação foi gerada pelo 3ds Max da Autodesk, a programação de interação foi criada através de uma aplicação computacional que utiliza o motor de física baseado nas leis de *Newton*⁶⁶. Uma vez modelados os elementos do simulador e dispostos nas coordenadas corretas foi iniciada a importação dos modelos do gerador de conteúdo 3D para o aplicativo que gera a interatividade.

O formato ideal para a passagem de conteúdo é o Collada⁶⁷ gerado pelo próprio 3ds Max, através do *Plugin* gratuito Open Collada, aplicando-se a seguir a interatividade com o simulador, sendo este, uma ferramenta de desenvolvimento para a geração de aplicações 3D em tempo real, o software utiliza o Visual Programming (programação visual) este recurso permite que pessoas sem formação em programação possam pegar modelos 3D, texturas e diversas outras mídias e criar aplicações para a web ou executáveis de maneira direta. Esta funcionalidade também permite que artistas e *designers* possam testar cenários e soluções de interface independentemente de serem ou não programadores. Não descartando também a possibilidade de programar, pois o software disponibiliza a linguagem de scripts LUA e a criação de funcionalidades e *plugins* através do seu SDK, programando em C++. Testes com estereoscopia⁶⁸ também tem sido feitos com resultados bastante positivos.

O motor de física utilizado gera um ambiente físico extremamente realista e amplamente configurável. O simulador gera sombras de maneira dinâmica em tempo real, está incluído um sistema de geração climática com chuva, neve e nuvens, figura 39, posicionamento do sol em diversos momentos do dia e velocidade do vento para um melhor realismo nas operações com guindaste, exemplos de trabalho sobre a influência de vento em operações com guindastes podem ser encontrados em (Sang e Jong 2008), para que o operador tenha uma sensação o mais próxima possível do real.

⁶⁶ Leis de Newton:

- Primeira lei de Newton - a lei da inércia.
- Segunda lei de Newton - o princípio fundamental da dinâmica.
- Terceira lei de Newton - a lei da ação e reação.

⁶⁷ COLLADA (abreviação do inglês para Collaborative Design Activity) é um padrão de exportação e importação de arquivos criados pela Sony.

⁶⁸ Estereoscopia é uma técnica usada para se obter informações do espaço tridimensional, através da análise de duas imagens obtidas em pontos diferentes.

Outra parte importante é a configuração dos coeficientes de atrito dinâmico e estático, que torna o piso e o atrito entre os diferentes materiais próximos aos dos reais. O som é configurado de acordo com sua posição geográfica dentro do simulador, assim sendo cada som vem de uma direção específica dentro da simulação, ou seja, quanto mais próximo o operador estiver de uma máquina, maior será o som ouvido.

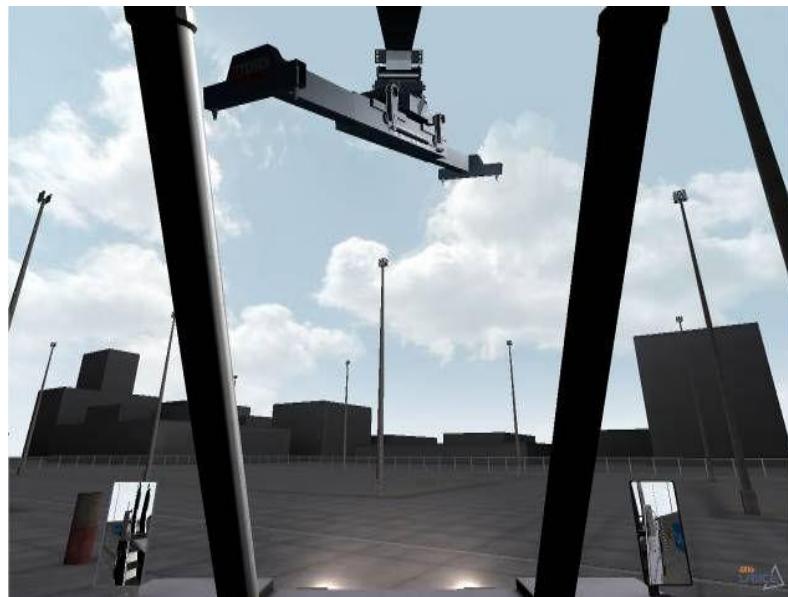


Figura 39 - As nuvens se movimentam dinamicamente de acordo com a direção e a velocidade do vento.

Fonte: Elaborada pelo autor.

No simulador de Reach Stacker foram incluídos espelhos retrovisores, para que ao serem operados possamos identificar possíveis obstáculos na parte traseira dos veículos, figura 40, e luz real em seus faróis e lâmpadas de ré, figura 41.



Figura 40 - Retrovisores que geram reflexo em tempo real.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 41 - Faróis atuando durante o dia (à esquerda) e noite (à direita).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Graças a seu eficiente motor de física foram desenvolvidos pistões hidráulicos que exercem força sobre a estrutura que está sendo simulada, figuras 42 e 43.



Figura 42- pistões hidráulicos funcionais.

Fonte: Elaborada pelo autor.

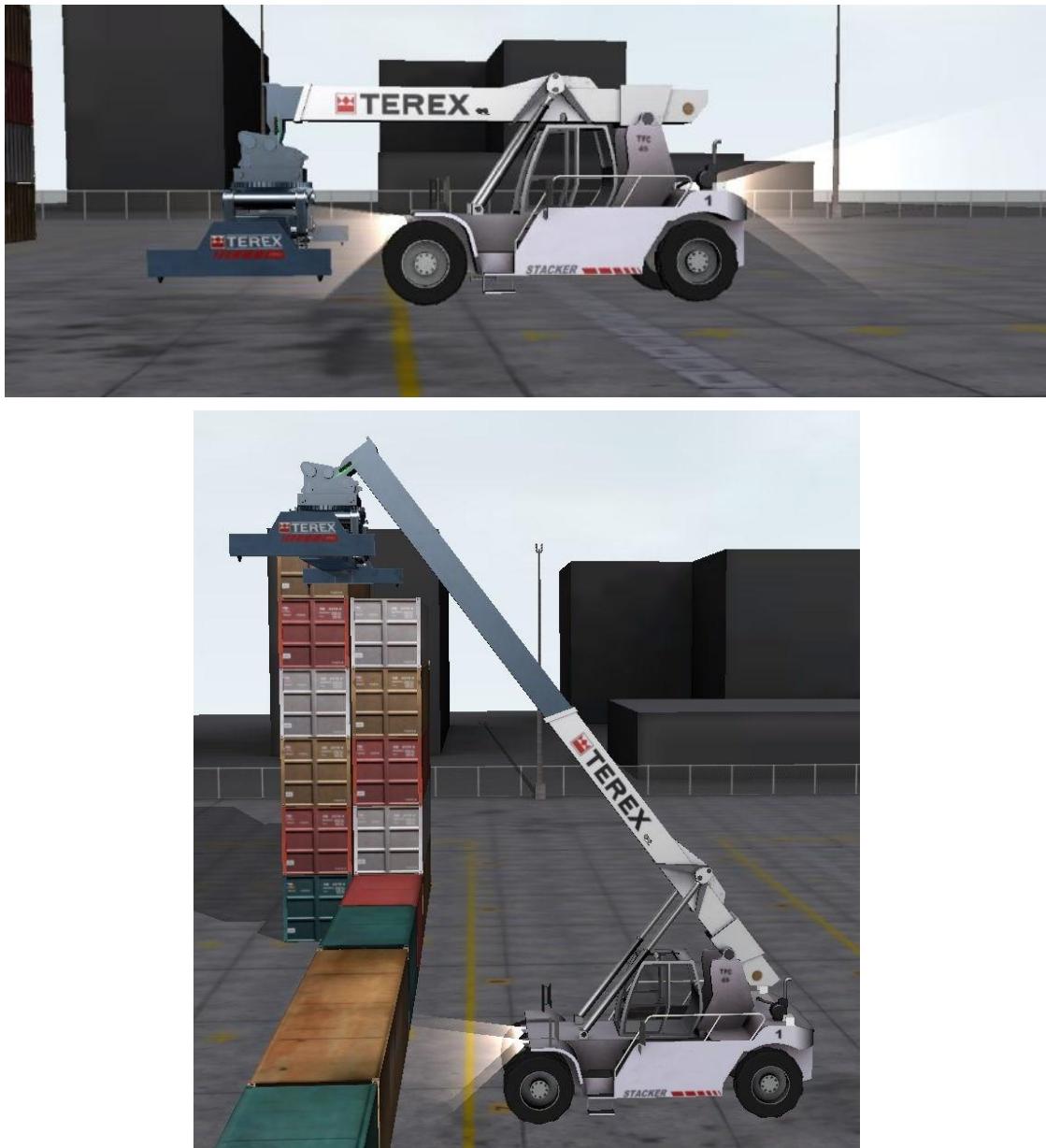


Figura 43 - Pistões hidráulicos recolhidos (acima) e erguendo a lança (abaixo).

Fonte: Elaborada pelo autor.

A fim de atender ao grau de realismo necessário para a simulação, foi utilizado o recurso de mudança de centro de gravidade dos contêineres para que fosse aumentado o grau de dificuldade de estabilização e comportamento dinâmico através do *spreader*⁶⁹ do Reach Stacker e em outras situações que fosse necessário este recurso, figura 44, encontrado no trabalho de (Ju *et al.*, 2010) e utilização de geometria de colisão primitiva para o perfeito engate do *spreader* com o contêiner, figura 45.

⁶⁹ O *spreader* é um dispositivo utilizado para levantar contêineres e carga unitizada. A versão para contêineres tem um mecanismo de travamento (chamado "twist lock") em cada extremidade que se prende aos quatro cantos do contêiner e sinaliza o seu travamento através de lâmpadas localizadas na lança.

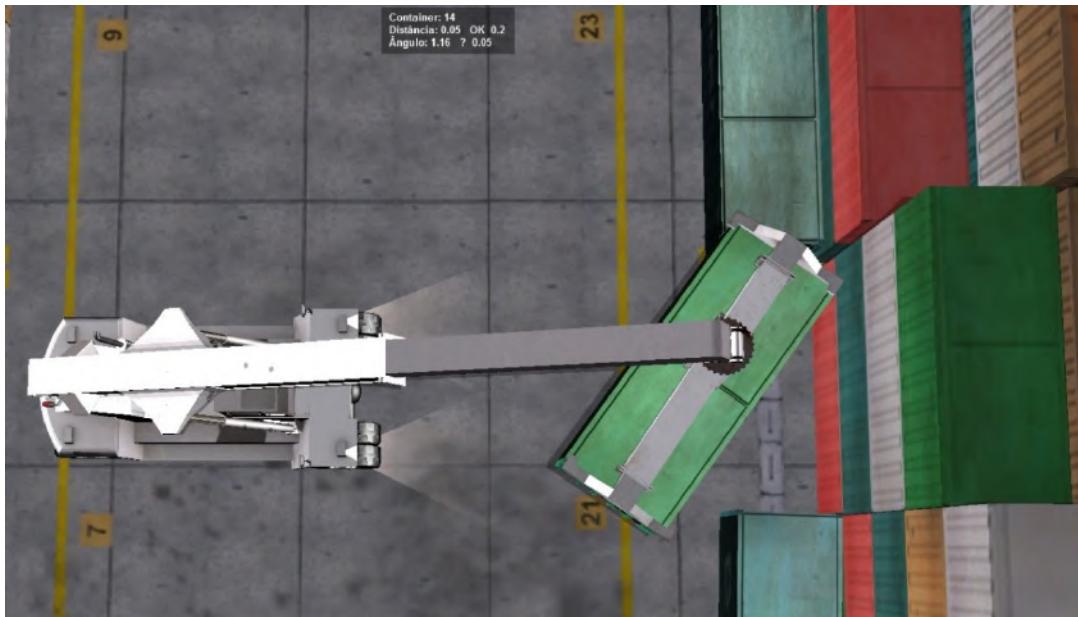


Figura 44 - Mudança de centro de gravidade do contêiner para ser corrigido pelo operador através do *spreader*.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 45- Engatando ao contêiner.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foram tratados com igual ênfase os defeitos e falhas apresentadas pelo equipamento real com envio de *logs*⁷⁰ para uma estação de instrutor para que fosse avaliado o desempenho dos alunos nos simuladores.

O Reach Stacker, é um equipamento portuário móvel e sua utilização consiste na movimentação de cargas em percursos variados onde o espaço é delimitado, se classifica através da sua capacidade de carga como de pequeno e grande porte. De acordo com FERNANDES (2001) “Fundamentalmente, o objetivo de um terminal

⁷⁰ Um arquivo de log pode ser utilizado para auditoria e diagnóstico de problemas em sistemas computacionais.

portuário é realizar carregamentos e descarregamentos de navios. Num terminal marítimo de contêineres e veículos, como o próprio nome diz, são movimentadas tipicamente cargas unitizadas em contêineres e também veículos". Os Reach Stackers movimentam contêineres numa curta distância de forma ágil. Suas principais características são a velocidade, a manobrabilidade, a sua eficiência e precisão na movimentação.

São máquinas modernas, com alta tecnologia e ferramentas fundamentais em terminais de cargas e de contêineres. A utilização dos Reach Stackers permite um aproveitamento maior da área e podem ser adaptados para utilização com diferentes tipos de materiais com a ajuda de uma grande variedade de ferramentas opcionais. Tudo isso contribui para melhorar o desempenho e garantir a segurança na operação, o que aumenta a sua taxa de disponibilidade e diminui o custo de manutenção. Simuladores de Reach Stacker, figura 46.



Figura 46 - Simuladores de Reach Stacker.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Podemos ressaltar os elementos implementados para um melhor grau de realismo: modelos 3D fiéis ao original em características e dimensões, iluminação e sombras, para termos noção de profundidade, manobrabilidade idêntica ao veículo original com o esterçamento de rodas com o mesmo grau do real, isto foi necessário para que fossem realizadas as movimentações dentro do pátio de acordo com o que especifica o manual do fabricante na indicação A, figura 47.

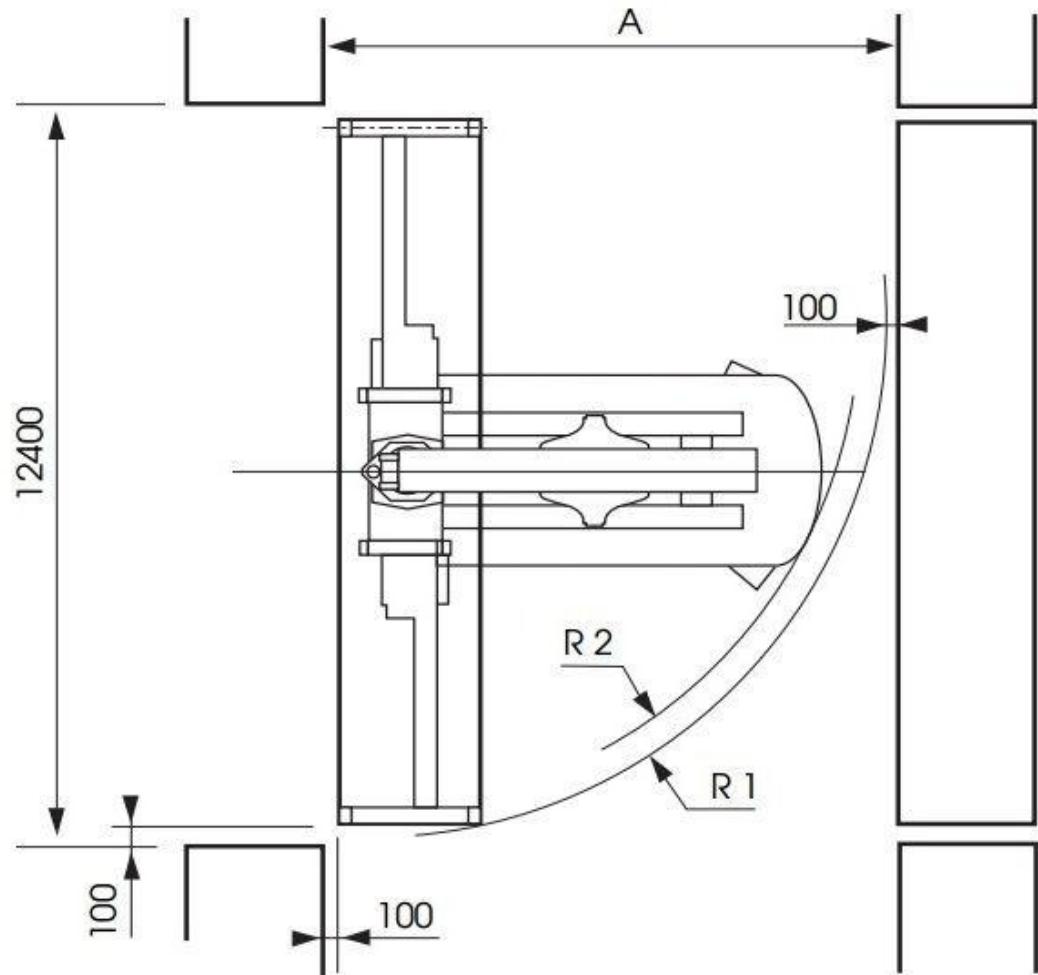


Figura 47 – Limitações para manobras na indicação A.

Fonte: Elaborada pelo autor.

V.8.2 - Sistema de engate de contêineres do Simulador de Reach Stacker

O Sistema de engate do *spreader* ao contêiner funciona basicamente através da programação Lua, figura 48, inserida dentro de um dos canais da programação do simulador no Quest3D. As propriedades foram inseridas no *Script Lua* para determinar qual contêiner está mais próximo, sua distância e o seu ângulo para que o engate ao *spreader* seja o mais preciso possível, a distância e ângulo mínimos podem ser configurados com milímetros de precisão.

```

-- CallChannel function is called when channel is called
function CallChannel()
    local dist = channel.GetChild(0)
    local ang = channel.GetChild(1)
    local dTol = channel.GetChild(2)
    local aTol = channel.GetChild(3)
    local flag = channel.GetChild(4)

    local distancia = dist:GetValue()
    local angulo = ang:GetValue()
    local distTol = dTol:GetValue()
    local angTol = aTol:GetValue()

    local ff = 0
    if distancia < distTol then
        ff=1
    end
    if angulo < angTol then
        ff=ff+2
    end
    flag:SetValue(ff)
    local i=0

end

-- GetValue function is called when this channels is used as value
function GetValue()
    return -1
end

```

Figura 48 – Programação Lua do engate.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 49, podemos observar 19 canais, em azul, eles representam os contêineres que podem ser engatados ao *spreader*, eles estão conectados ao canal *Newton Body Switch* (que efetua a interligação de canais), nesta configuração os canais são lidos continuamente em *loop*, verificando qual container está mais próximo.

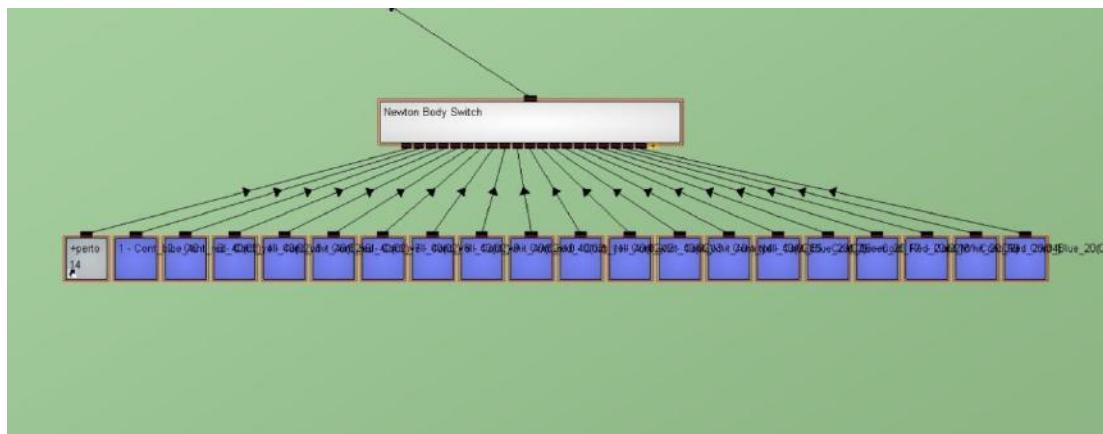


Figura 49 – Programação do engate no Quest3D.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 50 temos os contêineres de 40 pés, a informação sobre qual contêiner está mais próximo, sua distância e seu ângulo com relação ao *spreader* ficam disponíveis na caixa de diálogo na parte superior da tela do simulador, figura 51.



Figura 50 – Contêineres de 40 pés.

Fonte: Elaborada pelo autor

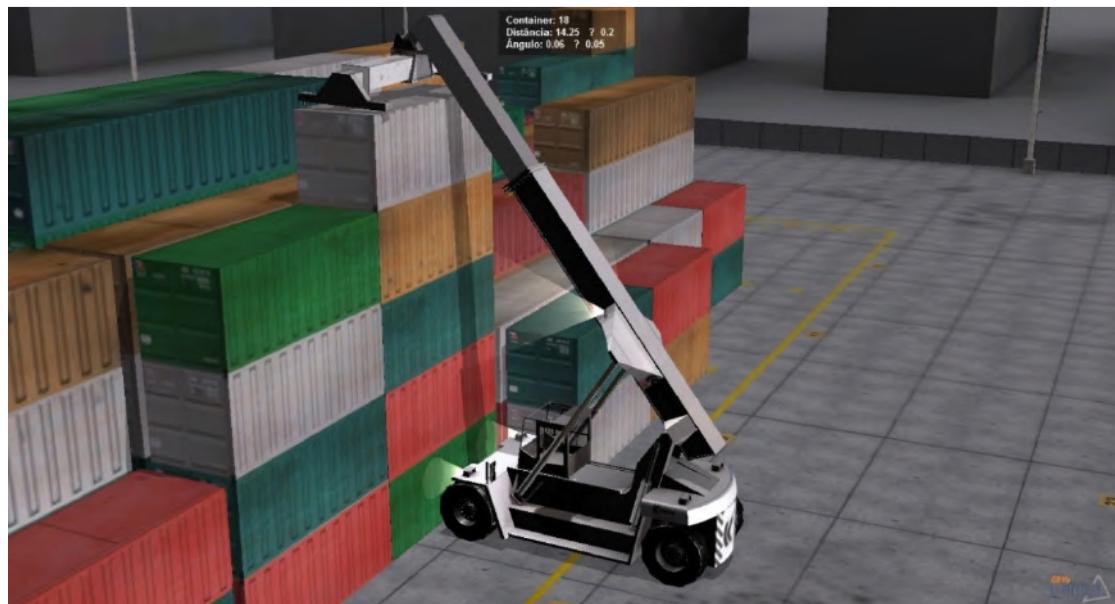


Figura 51 – Caixa de diálogo na parte superior com informações da distância e ângulo dos contêineres que podem ser engatados.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Altura máxima da pilha de contêineres que pode ser manipulada pelo equipamento varia de acordo com dois parâmetros: a) Número de contêineres empilhados; b) Tamanho da carga e do seu centro de gravidade em relação à máquina.

Durante o trabalho de levantamento, deve ser certificado de que o máximo da capacidade de elevação não seja ultrapassado. A capacidade varia entre modelos e versões de Reach Stackers, para se estimar a posição do centro de gravidade é necessário observar se a máquina parece estar mais pesada de um lado, a carga deve ser reduzida e ajustada com deslocamento lateral, de modo que o centro da carga de gravidade seja movido para uma posição ao longo da linha central da máquina. Essas funcionalidades foram implementadas no simulador para melhorar o realismo, na figura 52 podemos observar o número máximo de contêineres que o equipamento pode empilhar, e a sua limitação de altura em 14,5 metros, figura 53.

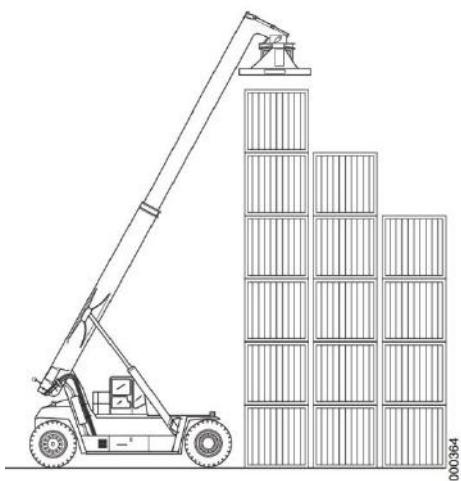


Figura 52 – Máximo de contêineres que o equipamento pode empilhar.

Fonte: Manual de operação Kalmar.

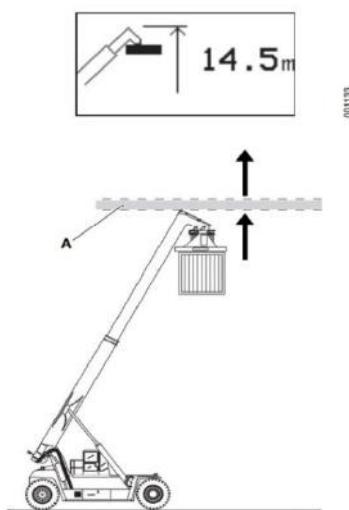


Figura 53 – Limitação de altura do equipamento.

Fonte: Manual de operação Kalmar.

V.8.3 - Botões e luzes do painel do Simulador de Reach Stacker

A comunicação entre a placa Arduino que controla os botões e luzes do painel do simulador é feita através da porta USB do computador, a programação desta conexão pode ser vista nas figuras 54 e 55.

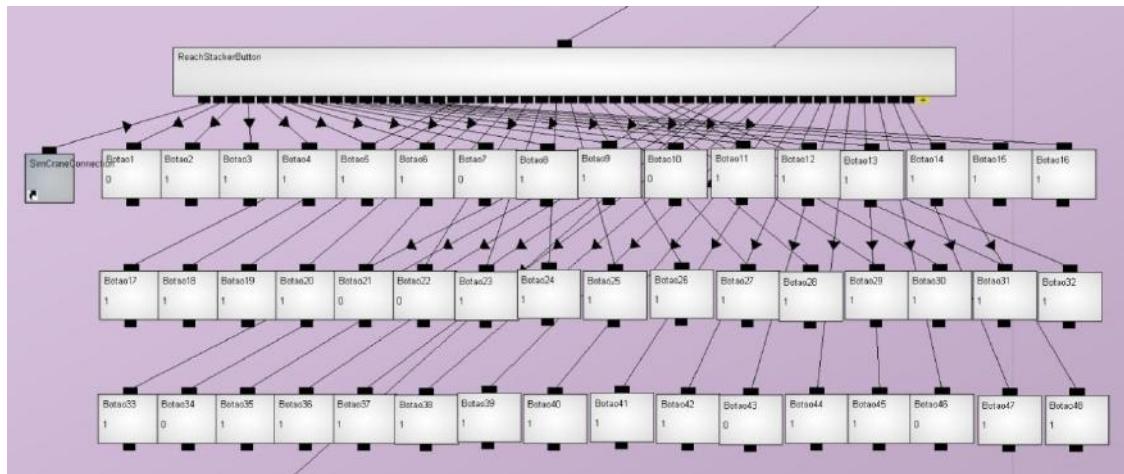


Figura 54 – Esquema da programação dos botões do painel.

Fonte: Elaborada pelo autor.

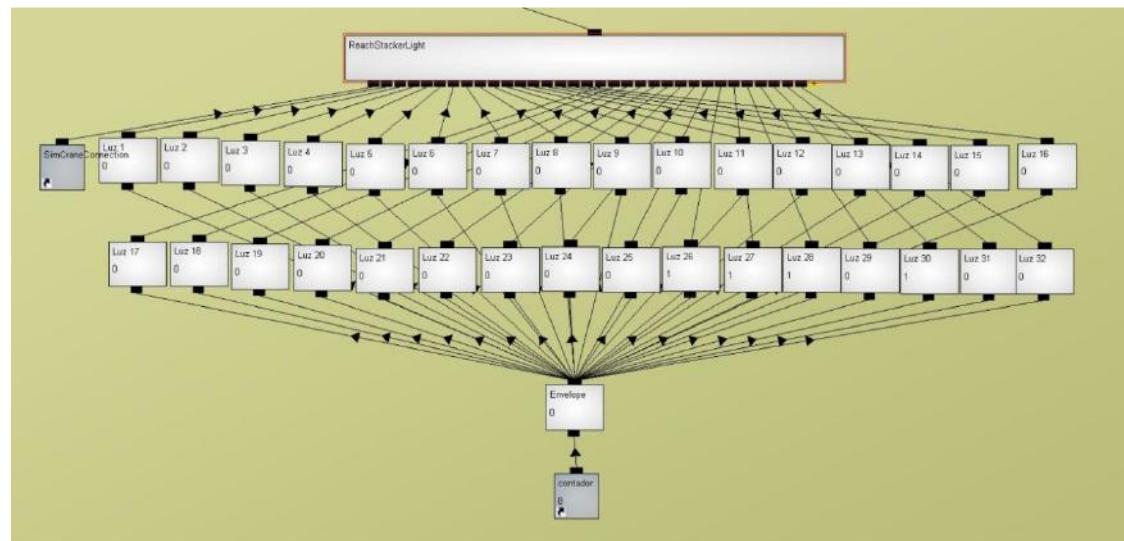


Figura 55 – Esquema da programação das luzes do painel.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Luzes do painel do simulador de Reach Stacker, figura 56 e a localização e função de cada lâmpada do painel do volante podem ser vistas na figura 57.



Figura 56 – Luzes do painel do simulador de Reach Stacker.

Fonte: Elaborada pelo autor.

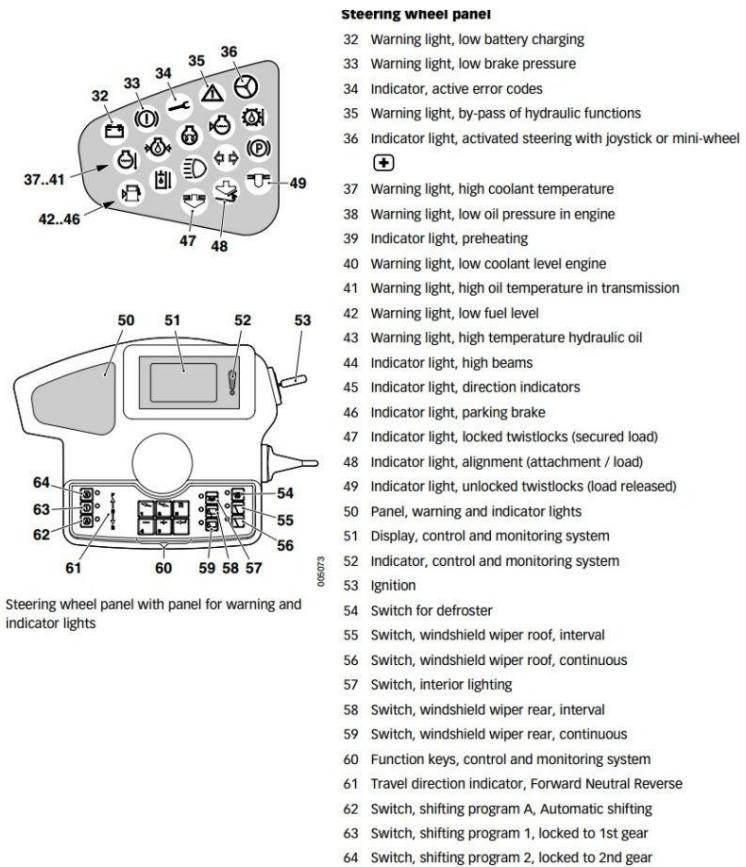


Figura 57 - Localização e função de cada lâmpada do painel do volante.

Fonte: Manual de operação Kalmar.

O painel foi elaborado para ser o mais fiel possível ao real, foram seguidas as especificações técnicas do manual do fabricante, na figura 58 podemos observar a função de cada componente e na figura 59 o painel desenvolvido para o simulador.

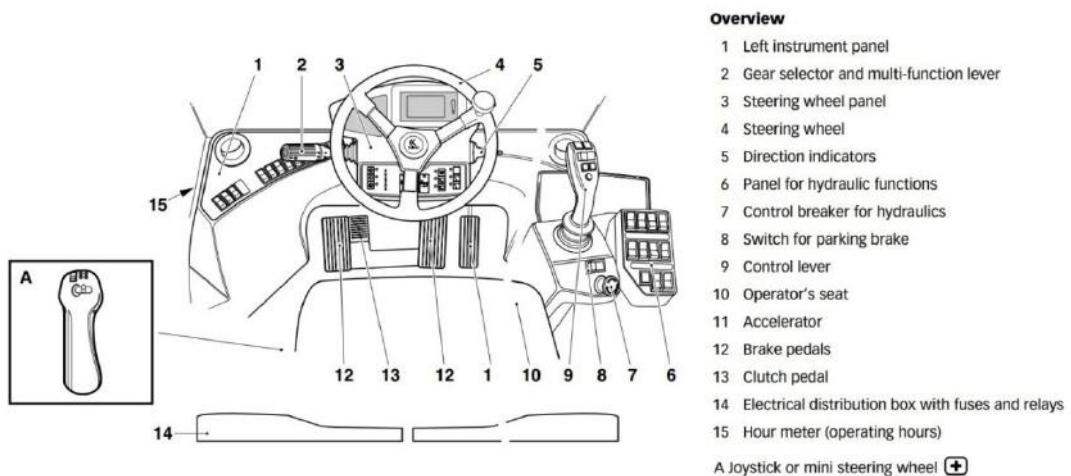


Figura 58 – Painel do Reach Stacker.

Fonte: Manual de operação Kalmar.⁷¹

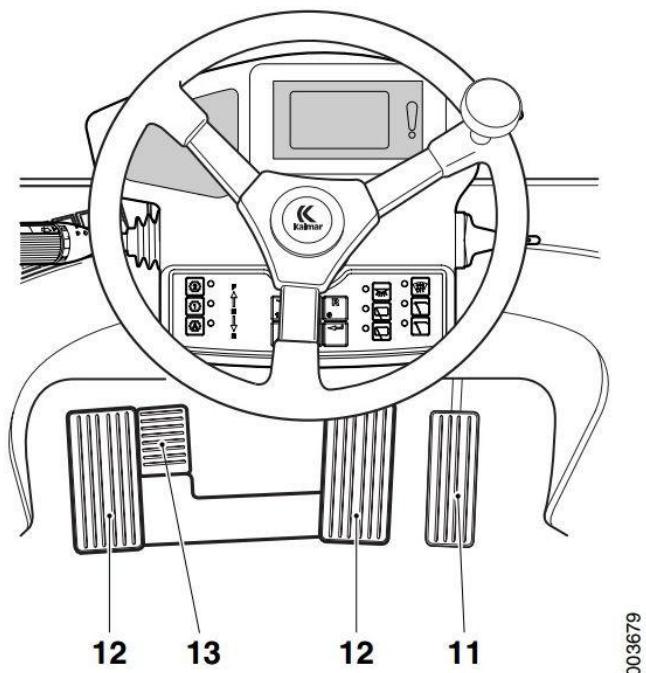


Figura 59 - Painel desenvolvido para o simulador.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 60 podemos observar a função dos pedais discriminadas no Manual de operação e na figura 61 os pedais desenvolvidos para o simulador.

⁷¹ <http://www.kalmarind.co.uk/pages/reachstackers.php>



- 11. Accelerator
- 12. Brake pedal
- 13. Clutch pedal

Figura 60 – Função dos pedais do Reach Stacker.

Fonte: Manual de operação Kalmar.



Figura 61 – Pedais desenvolvidos para o simulador.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 62 podemos observar as funções do *joystick* e na figura 63 as movimentações de lança e *spreader* que foram introduzidas no simulador.

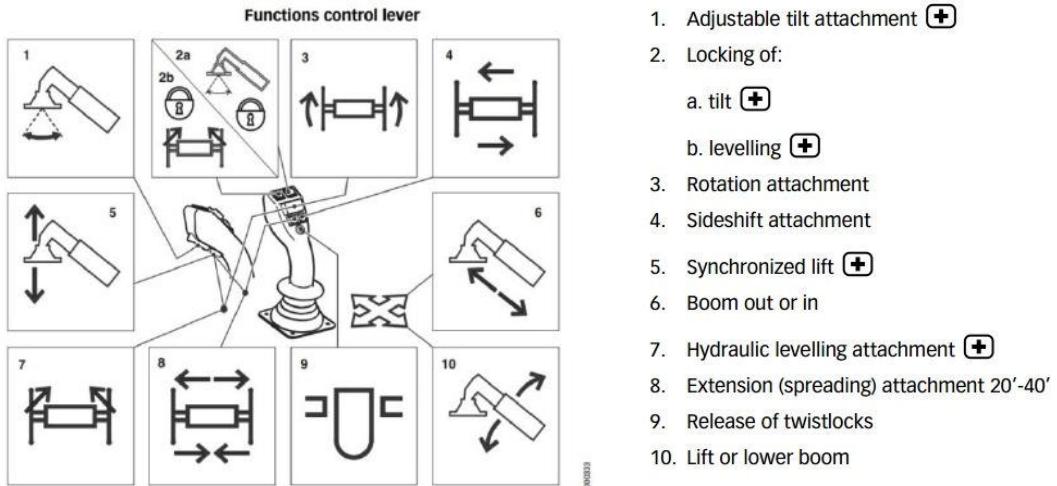


Figura 62 - Funções do joystick.

Fonte: Manual de operação Kalmar.

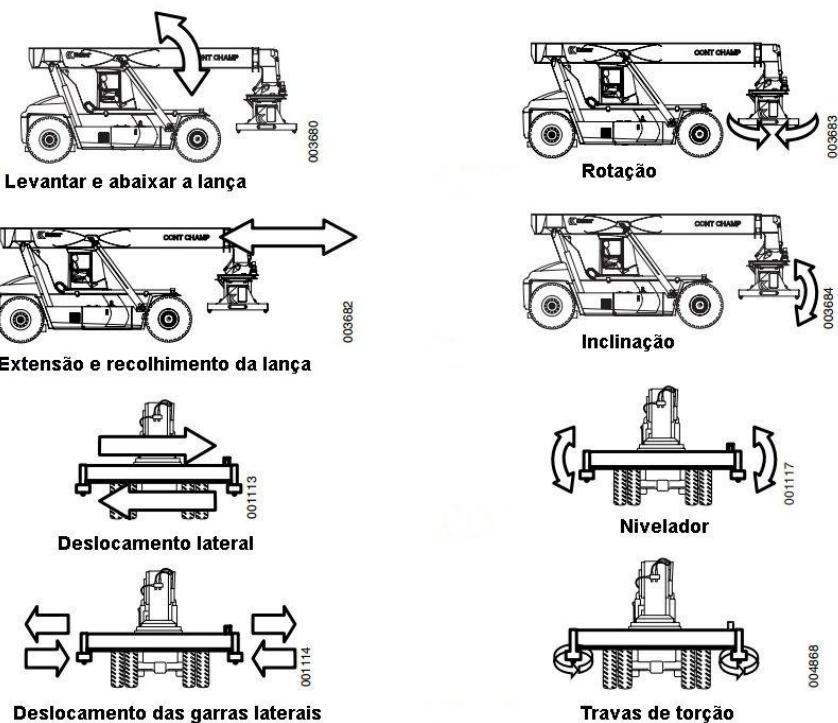


Figura 63 - Movimentações de lança e spreader.

Fonte: Manual de operação Kalmar.

Na figura 64, temos o *joystick* utilizado no simulador, neste caso foi utilizado um modelo similar de baixo custo, os botões da direita são controlados pela placa Arduino.



Figura 64 - *Joystick* utilizado no simulador.

Fonte: Elaborada pelo autor.

V.9 - Moldagem do painel utilizando a Modeladora 3D MDX-40 da Roland DG

Os moldes para a construção da estrutura do painel foram prototipados⁷² com a fresadora⁷³ 3D MDX-40, figuras 65 e 66, da Roland DG⁷⁴, com ela é possível criar peças, modelos e protótipos de maneira fácil e com alto padrão de qualidade. Permite uma grande diversidade de aplicações de prototipagem rápida por subtração (SRP), diminuindo consideravelmente o ciclo de desenvolvimento de produtos.

Ela possui incorporada uma unidade de eixo rotatório que torna a fresagem sobre as duas ou quatro superfícies do material mais fácil e eficaz podendo ser utilizada na

⁷² Refere-se a protótipo que é um produto de trabalho da fase de testes e/ou planejamento de um projeto.

⁷³ Fresadora é uma máquina de movimento contínuo, destinada a usinagem de materiais. Removem-se cavacos por meio de uma ferramenta de corte chamada fresa.

⁷⁴ <http://www.rolanddgi.com/pt/products/modela-mdx-40>

engenharia reversa com a utilização de uma cabeça de digitalização 3D opcional que se baseia na tecnologia RAPS da Roland DG⁷⁵. Nela estão incluídos os softwares “*Modela Player 4 CAM*” que aceita arquivos .IGES, .DXF e .STL que tem a sua exportação baseada em aplicações de programação industrial 3D, possui também o software de simulação virtual “*Modela*” que recria o acabamento das formas, determina a profundidade de modelagem e faz uma estimativa do tempo de produção para uma melhor otimização de tempo e dos materiais utilizados durante a fresagem.

Possui um dispositivo de paragem de emergência e uma estrutura que cobre a máquina permitindo assim um trabalho limpo, seguro e silencioso.

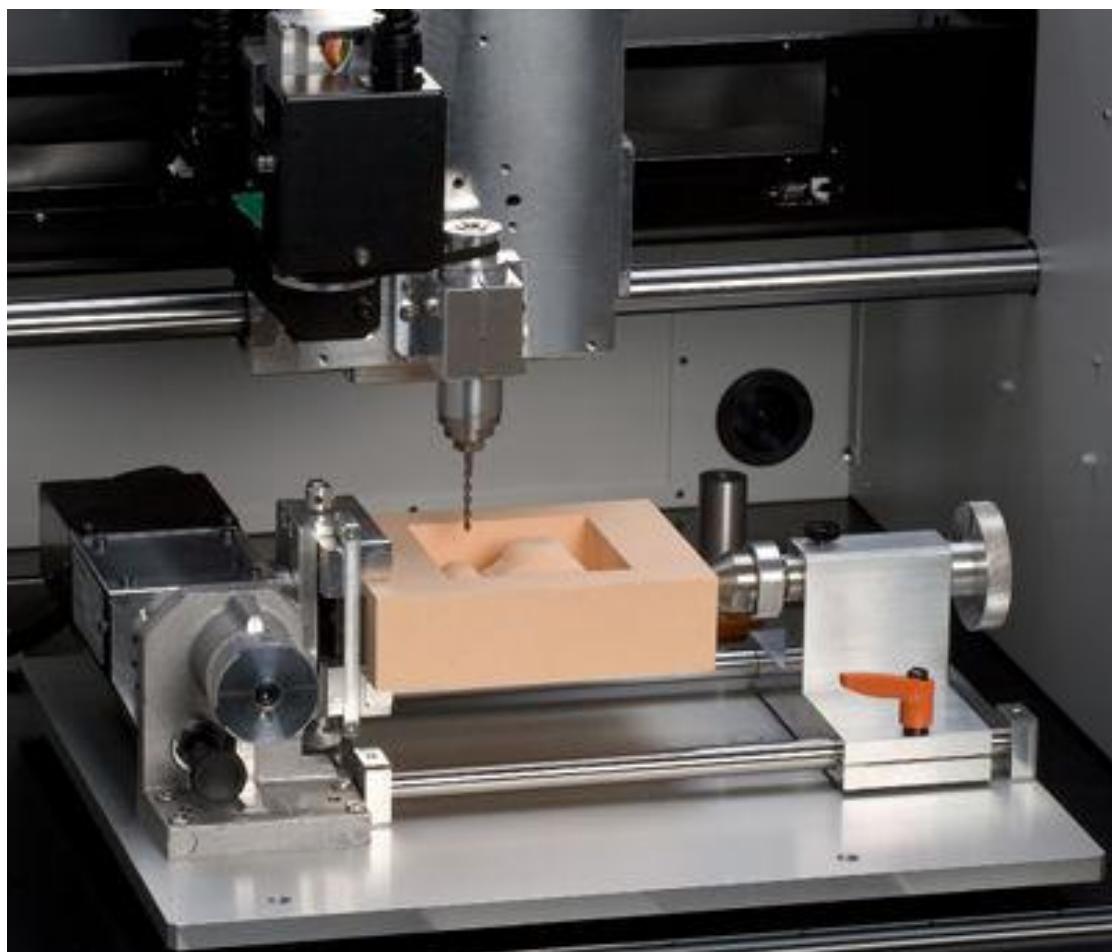


Figura 65 - Fresadora 3D MDX-40.

Fonte: Sinal + Sistemas de gravação.⁷⁶

⁷⁵ A tecnologia Roland Active Piezo Sensor (RAPS) elimina os problemas de scanners de contato convencionais. Escaneia os dados com a precisão extrema, captando até mesmo as mais sensíveis variações de forma.

⁷⁶ <http://www.sinaleticamais.com/dynamicdata/gravacaoporfresamdx40.asp>



Figura 66 - Fresadora 3D MDX-40.

Fonte: Roland.⁷⁷

A escolha deste equipamento para a construção da estrutura do painel do Reach Stacker se deu por suas características técnicas, presentes na tabela 5:

Tabela 5 – especificações da Modeladora 3D Roland MDX-40

Especificações	
Materiais aceitáveis	- Resina e cera para modelar (não aceita metal).
Percorso operativo nos eixos X, Y e Z	- 125 mm, no máximo.
Tamanho da mesa	- 305 mm de largura x 305 mm de profundidade.
Peso da peça de trabalho mecanizável	- 4 kg.
Motor de eixo X,Y,Z	- Motor por passagens.
Velocidade de funcionamento dos eixos X/Y	- De 0,1 a 50 mm/seg.
Resolução do software	- 0,01 mm/passagem.
Resolução mecânica	- 0,002 mm/passagem.
Motor do rotor	- Motor sem escovas CC, 100 W máximo.
Velocidade de rotação	- De 4.500 a 15000 RPM.

⁷⁷ <http://www.rolanddgi.com/pt/products/modela-mdx-40>

Sistema de sustentação da ferramenta	- Colar.
Interface	- Ligação USB 1.1.
Sistema de instruções	- RML-1 e códigos NC.
Voltagem	- De 100 a 240 V de CA +/- 10%, 50/60 Hz
Intensidade	- 2,1 A.
Consumo	- 210 W aproximadamente.
Nível acústico	- Em funcionamento (sem corte): 56 dB ou menos. - Em modo de espera: 42 dB ou menos, de acordo com a normativa ISO7779.
Dimensões	- 669 mm de largura x 760 mm de profundidade x 554 mm de altura.
Peso	- 66 Kg.
Temperatura de funcionamento	- De 5 a 40°C.
Umidade de funcionamento	De 35 a 80% (sem condensação).
Acessórios incluídos	- Cabo de alimentação. - Colar. - Sensor. - Chave hexagonal. - Chaves de fendas hexagonais. - Chave fixa. - CD-ROM do Pacote de Software da Roland, CD-ROM MODEL A Player 4. - Manual de utilizador. - Cabo USB armado com menos de 3 metros de comprimento. - Computador pré-instalado com o Windows Vista, XP ou 2000 ou, em alternativa, computador atualizado com o Windows 2000 ou versão posterior.

Fonte: Roland.⁷⁸

⁷⁸ <http://www.rolanddgi.com/pt/products/modela-mdx-40>

Na figura 67, temos o molde criado em MDF com a fresa para a base do *joystick*, na figura 68 a base do *joystick* moldada no poliuretano com o processo de *Vaccum Forming*. Na figura 69, temos o molde criado em poliuretano com a fresa para o painel do Reach Stacker e na figura 70, o painel feito em poliestireno pelo processo de *vacuum forming* utilizando o molde fresado anteriormente.



Figura 67 - Molde criado em MDF com a fresa para a base do *joystick* do Reach Stacker.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 68 - Base do *joystick* do Reach Stacker moldada no poliuretano com o processo de *vaccum forming* utilizando o molde fresado anteriormente.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 69 - Molde criado em poliuretano com a fresa para o painel do Reach Stacker.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 70 - Painel feito em poliestireno pelo processo de *vacuum forming* utilizando o molde fresado anteriormente.

Fonte: Elaborada pelo autor.

V.9.1 - O *Vacuum Forming*

O processo de moldagem *vacuum forming*⁷⁹ (formação a vácuo) é um processo industrial de moldagem de plástico baseado em um processo denominado *thermoforming*, que consiste na produção de peças plásticas em pequenas quantidades com boa relação custo-benefício e moldes com rápida execução e baixo custo. Basicamente o seu funcionamento consiste na utilização de uma folha de plástico que é aquecida até o seu amolecimento e depois é puxada sobre um molde por um sistema de vácuo, tomando exatamente a sua forma.

A criação das peças nesse sistema está sendo cada vez mais comum em projetos de pequeno a médio porte, se comparados à fabricação de moldes utilizados em outros processos de produção. O diferencial está na produção de pequenas peças em pouca quantidade, como no caso dos protótipos. A sua utilização também é vantajosa na substituição dos materiais limitados em: forma, em capacidade de produção, no seu custo final e que não conseguiram atingir a qualidade das peças que são moldadas pelo processo de *vacuum forming*, figura 71.

A utilização do sistema de formação a vácuo contribuiu desde o início do projeto, podendo ser trabalhados moldes provisórios com rápida modificação para adaptações a novas especificações de projeto. As peças moldadas pelo sistema de formação a vácuo estão substituindo outras que utilizavam a fibra de vidro, o alumínio, a madeira e o aço. As vantagens mais evidentes nessa substituição são: o custo-benefício, a capacidade de produção, e opções de acabamento e design.

⁷⁹ <http://www.vacuum.com.br/o-processo/>

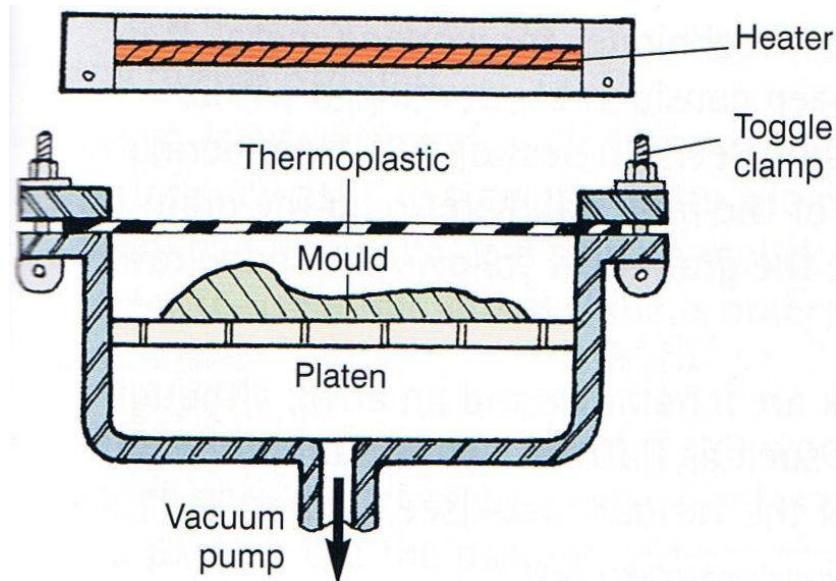


Figura 71 - Esquema de funcionamento do sistema de *vacuum forming*.

Fonte: Peter Valdivia.⁸⁰

O material utilizado na composição do painel foi o poliestireno⁸¹: homopolímero que resulta da polimerização do monômero de estireno (líquido oleoso, incolor e com odor penetrante), é um derivado insaturado do benzeno. A sua principal característica é à sua moldabilidade a ação do calor e flexibilidade.

A escolha deste material (poliestireno) para a construção da estrutura do painel do Reach Stacker se deu por suas características técnicas presentes na tabela 6:

Tabela 6 - Principais características do poliestireno

Principais características do poliestireno
- Fácil processamento por moldagem a quente.
- Fácil coloração.
- Baixo custo.
- Semelhante ao vidro.
- Elevada resistência a álcalis e ácidos.
- Baixa densidade e absorção de umidade.
- Baixa resistência a solventes orgânicos, calor e intempéries.

Fonte: Tecplástico.⁸²

⁸⁰ <http://www.petervaldivia.com/technology/plastics/fabrication-of-plastic.php>

⁸¹ <http://tecplastico.no.comunidades.net/index.php?pagina=1382768699>

⁸² <http://tecplastico.no.comunidades.net/index.php?pagina=1382768699>

V.9.2 - Construção da estrutura do painel

Os materiais de construção utilizados no painel foram basicamente: metalon⁸³, MDF⁸⁴, poliestireno, carpete, rodízios de nylon, borracha e cola. Os elementos de fixação foram: solda, parafusos, porcas e arruelas. O volante e botões do protótipo, figura 72, assim como a alavanca foram adaptados de outros veículos que possuíam características similares. Na figura 73 podemos observar os motores e componentes internos do *joystick* G-25, os mordentes de metalon para fixação do painel a qualquer modelo de mesa, figura 74.



Figura 72- Painel e volante fixados na mesa por mordentes de metalon.

Fonte: Elaborada pelo autor.

⁸³ Nome dado às peças de ferro em metal. Normalmente estas peças são fundidas e produzidas através de placas de ferro que resulta em peças de ferro quadradas e retangulares, são bem rígidas, não possuem flexões e são leves.

⁸⁴ O MDF (Medium-Density Fiberboard) "placa de fibra de madeira de média densidade" é a aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas e outros aditivos, material derivado da madeira uniforme, plano e denso, e não possui nós.

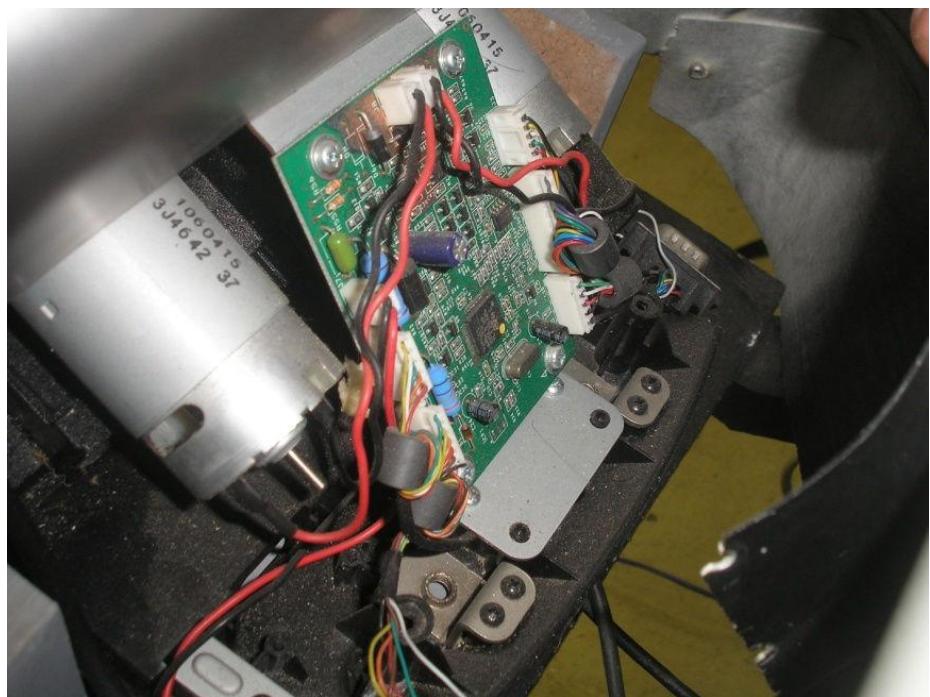


Figura 73 - Motores e componentes internos do joystick G-25.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 74 - Mordentes de metalon para fixação do painel a qualquer modelo de mesa.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nas figuras 75 e 76 temos respectivamente o *joystick* para controle dos movimentos do *spreader* do Reach Stacker e os pedais adaptados do *joystick* G-25 da Logitech,



Figura 75 – *Joystick* para controle dos movimentos do *spreader* do Reach Stacker.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 76 - Pedais adaptados do *joystick* G-25 da Logitech.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 77, temos a iluminação do painel utilizando Arduino e leds⁸⁵ e na figura 78, o painel integrado ao software na execução das manobras do Reach Stacker.



Figura 77 - Iluminação do painel utilizando Arduino e leds.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 78 - Painel integrado ao software na execução das manobras do Reach Stacker.

Fonte: Elaborada pelo autor.

⁸⁵ O diodo emissor de luz também é conhecido pela sigla em inglês LED (*Light Emitting Diode*). Sua funcionalidade básica é a emissão de luz em locais e instrumentos onde se torna mais conveniente a sua utilização no lugar de uma lâmpada.

V.10 - Arduino

Os painéis dos simuladores foram executados a partir da plataforma Arduino, que permite perfeita interação entre a simulação, o painel e o usuário, representando o painel verdadeiro com a máxima fidelidade. O Arduino⁸⁶ é uma plataforma de prototipagem eletrônica, composta por uma placa de circuito impresso multiuso, desenvolvida com um microcontrolador Atmel AVR⁸⁷. Possui circuito de entrada e saída com código aberto, que permite controlar diversos periféricos como motores, luzes, sensores, botões, acelerômetros, etc. Também utilizada por *designers* e artistas para criação de obras interativas, a plataforma Arduino utiliza linguagem de programação C/C++; além disso, possui uma interface USB⁸⁸ ou serial⁸⁹ e linhas de entrada e saída digital e analógica para conexão com outros equipamentos.

A figura 79a mostra o painel do Arduino com seus circuitos e uma imagem com o código de programação na figura 79b.

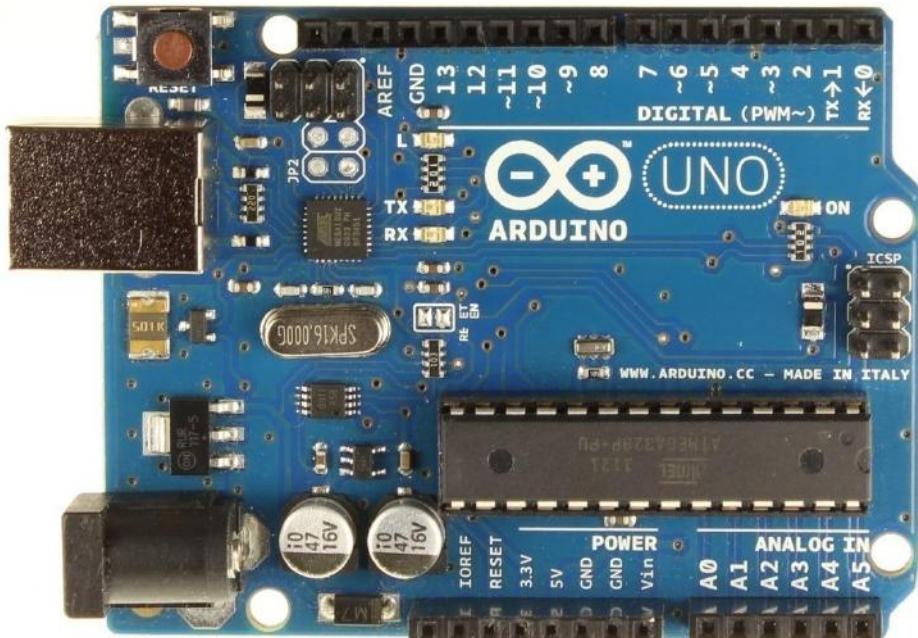


Figura 79a - Placa do Arduino.

Fonte: Elaborada pelo autor.

⁸⁶ <http://arduino.cc/>

⁸⁷ <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

⁸⁸ Universal Serial Bus (USB) é uma conexão do tipo "ligar e usar" permitindo assim a conexão de periféricos sem precisar desligar o computador.

⁸⁹ A interface serial ou porta serial, também conhecida como RS-232 é uma porta de comunicação utilizada para conectar, modems, mouses, algumas impressoras, scanners e outros equipamentos de hardware.

```

/*
  Blink
  Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

  This example code is in the public domain.
*/

boolean btup=false;
int ledPin[4];
int swtchPin[4];
boolean lastButton[4];
boolean ledOn[4];
boolean currentButton[4];

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  // Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards:
  for(int c=0;c<5;c++)
  {
    ledPin[c]=c+2;
    pinMode(ledPin[c],OUTPUT);

    swtchPin[c]=c+8;
    pinMode(swtchPin[c], INPUT);

    lastButton[c]=LOW;
    ledOn[c]=false;
    currentButton[c]=LOW;
  }
}

boolean debounce(boolean last,int c)
{
  boolean current=digitalRead(swtchPin[c]);
  if (last !=current)
  {
    delay(5);
    current=digitalRead(swtchPin[c]);
  }
  return current;
}

void loop()
{
  for(int i=0;i<5;i++)
  {
    currentButton[i]=debounce(lastButton[i],i);
  }
}

```

Figura 79b - código de programação do Arduino.

Fonte: Elaborada pelo autor.

V.11 - Periféricos do sistema

V.11.1 - TV/ Monitor de LCD de 47 polegadas Full Hd da LG

Foi utilizada para a visualização do simulador uma TV LCD LG 47 polegadas Full HD Modelo 47LG60FR⁹⁰, figura 80, pela qualidade da imagem e tamanho compatível para uma boa visão panorâmica que se tem da cabine de operação de um Reach Stacker, assim como de toda a área do cenário virtual.



Figura 80 - TV LCD LG 47 polegadas Full HD Modelo 47LG60FR.

Fonte: LG.⁹¹

V.11.1.1 - Características técnicas

As Características técnicas da TV/ Monitor de LCD de 47 polegadas Full HD da LG, estão presentes na tabela 7:

⁹⁰ <http://www.lge.com.br>

⁹¹ <http://www.lge.com.br>

Tabela 7 – Características da TV/ Monitor de LCD de 47 polegadas Full HD da LG

Especificações	
Marca	LG.
Modelo	47LG60FR.
Linha	Scarlet.
Características e funções da TV/Monitor	
Recursos do aparelho	Sleep/Timer. Picture in Picture (PIP). DVIX HD. Ajuste do formato da tela. Ajustes de áudio.
Características da tela/imagem	
Tipo de tela	LCD.
Tamanho da tela	47".
Recursos da tela/imagem	1920x1080p píxel/linha.
Contraste	50.000:1.
Entradas especiais	USB. HDMI.
Quantidade de entradas HDMI	3 HDMI.
Entradas e saídas de vídeo	Entrada de vídeo componente. Entrada de RF (antena).
Recursos ecológicos	
Eficiência energética/faixa selo Procel	Selo Procel A.
Especificações técnicas	
Altura	82 cm.
Largura	115,2 cm.
Profundidade	7,9 cm.
Peso (com base)	27,2 kg.
Tensão/voltagem	Bivolt (127 V e 220 V).

Fonte: LG.⁹²

⁹² <http://www.lge.com.br>

V.11.2 - Volante Logitech G25

Foi utilizado o *joystick/volante* G25, figura 81, fabricado pela Logitech⁹³, foram efetuadas modificações para que se tornasse o mais similar possível ao que está presente no painel do Reach Stacker real.



Figura 81 - *Joystick/volante* G25.

Fonte: Logitech.⁹⁴

V.11.2.1 Características técnicas

Fabricado a partir de 2006, o G25 possui *force feedback* (força de resposta que o volante faz para simular a resistência e gerar mais realismo), ou seja, basicamente você gira o volante para um lado e ele faz uma força contrária. Possui conjunto que incorpora 3 pedais, deslocamento de engrenagem o que permite uma troca do sistema de marchas de 6 velocidades H para a mudança sequencial, sistema de marchas, alavanca e volante forrado com couro costurado a mão, figura 82. Para a alavanca de comandos optou-se por uma alternativa mais customizada, um *joystick* compatível para efetuar as

⁹³ <http://www.logitech.com/>

⁹⁴ <http://www.logitech.com/>

manobras de lança e *spreader*, que atendeu bem às expectativas do protótipo, o eixo do volante possui rotação de até 900 graus, o que permitiu o esterçamento de rodas de maneira similar ao real, o volante original foi substituído por um similar ao utilizado no painel do Reach Stacker real.



Figura 82 - Volante forrado com couro.

Fonte: Logitech.⁹⁵

O volante faz uso de um sistema de fixação dupla, com o auxílio de dois parafusos de rosca de material plástico, localizados na parte superior do compartimento principal que não foram utilizados, utilizou-se uma estrutura de metalon para fixar o painel à mesa com parafusos que permitem a fixação e também a possibilidade de desafixar de maneira rápida e simples com ajuda de uma chave de boca. O G25 reproduz com fluência e naturalidade os movimentos efetuados pelo Reach Stacker, é possível sentir as colisões do veículo e até mesmo o engate do *spreader* ao contêiner, a transferência de energia é fluida, possui regulagem da quantidade de graus de rotação que o volante possa requerer, utiliza dois motores de *force feedback* para garantir tempos de reação rápida em ambos os sentidos de direção e sua coluna de direção utiliza rolamentos de esferas, garantindo assim uma maior durabilidade. Devido à transferência fluida de

⁹⁵ <http://www.logitech.com/>

energia e sua alta precisão, até mesmo os efeitos mais sutis e despercebidos são transmitidas de forma eficaz ao usuário.

A base de apoio para os pedais, figura 83, é grande e sólida, possui base áspera para não haver o problema de escorregar em superfícies acarpetadas, possui seis furos para parafusos na parte inferior o que permite a sua fixação sem maiores problemas.

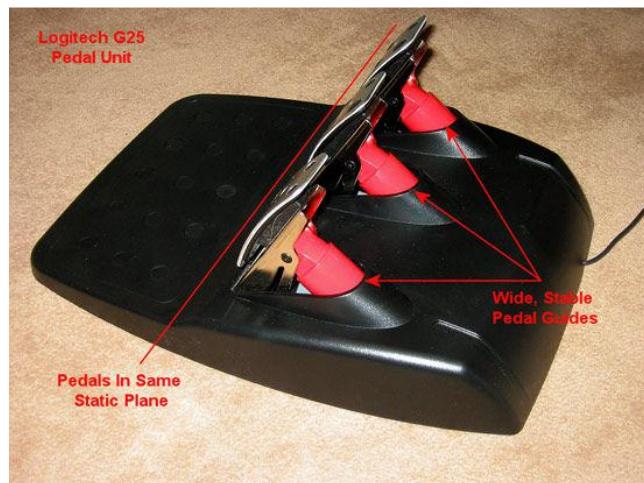


Figura 83 - Base de apoio para os pedais.

Fonte: SimHq.⁹⁶

Os pedais, figura 84, são construídos com aço inoxidável e possuem pistões a gás sendo que o da embreagem é analógico.

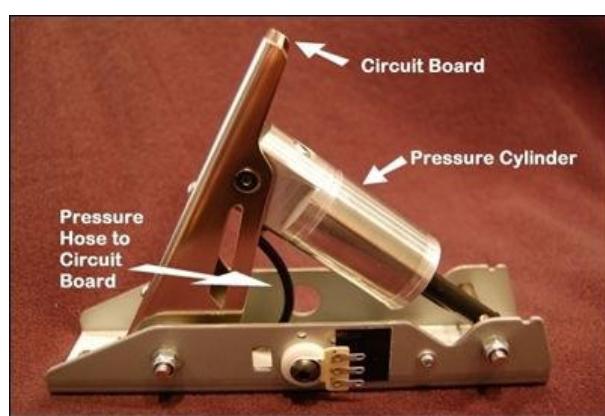


Figura 84 – O pedal.

Fonte: SimHq.⁹⁷

⁹⁶ http://www.simhq.com/_technology2/technology_100a.html

⁹⁷ http://www.simhq.com/_technology2/technology_100a.html

V.11.3 - Computador Dell T 3500

A escolha pelo computador T3500 da Dell⁹⁸ para a utilização no simulador foi pelo motivo dele possuir processador Intel⁹⁹ Xeon, possibilitando para o simulador: desempenho, maior rapidez, eficiência e baixo consumo. Suporta memória de sistema de 24 GB (incluindo tanto a memória ECC DDR3 quanto a não ECC) com níveis superiores na manipulação de dados e desempenho dos aplicativos instalados.

Possui dois *slots*¹⁰⁰ PCIe x16, com potência para as placas gráficas compatíveis, trabalha com rapidez para fazer projetos de animação, design, criação de imagens e engenharia. Gerou uma quantidade de 30 a 40 FPS (frames por segundo) durante a utilização do simulador, quantidade mais do que necessária para um bom grau de realismo.

V.11.3.1 - Características técnicas

Podemos ver na tabela 8 as características técnicas do computador T3500 da Dell.

Tabela 8 – Características gerais Dell T3500

Dell Precision T3500	
Processador	Intel Xeon Dual Core W3505 (2,35GHz, 4MB L3, 4,8GT/S).
Sistema Operacional	Windows 7 Professional Original 64 Bit em Português, sem Mídia.
Memória	4GB DDR3 SDRAM 1066MHz, ECC (4DIMMs).
Disco Rígido	250 GB Sata 3Gb/s, com NCQ e 8MB DataBurst Cache.
Placa gráfica	1GB PCIe x16 NVIDIA NVS 295, Dual Monitor Cable.
Garantia	Três anos com atendimento local.

Fonte: Dell¹⁰¹

⁹⁸ <http://www.dell.com.br/>

⁹⁹ <http://www.intel.com.br/>

¹⁰⁰ *Slot* é um termo em inglês para designar ranhura, fenda, conector, encaixe ou espaço. Sua função é ligar os periféricos ao barramento.

¹⁰¹ <http://www.dell.com.br/>

CAPÍTULO VI – RESULTADOS DA PESQUISA, CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.

VI.1 - Introdução

Os resultados da pesquisa, considerações finais e desenvolvimentos futuros são abordados neste capítulo. Os resultados da pesquisa orientaram o projeto para a construção do sistema de simulação em realidade virtual, o processo da concepção do projeto partiu da identificação das necessidades e falhas apresentadas pelo treinamento convencional e problemas encontrados no desenvolvimento do simulador. A união desses conhecimentos para uma definição do projeto foi um processo gradual, culminando com a integração do sistema e por meio de testes de validação com a utilização do simulador por um dos operadores entrevistados na pesquisa de campo. Nas considerações finais serão mostrados os objetivos alcançados pelo simulador e por fim os desenvolvimentos futuros que abordará as pesquisas futuras para o protótipo desenvolvido.

VI.2 - Resultados da pesquisa

Ao observarmos o resultado das pesquisas para o desenvolvimento do simulador de Reach Stacker, tema desta dissertação, podemos perceber que o sistema desenvolvido possui um grau de imersão compatível com a proposta do trabalho, o de gerar um simulador em realidade virtual para treinamento de operadores. A configuração de Hardware não necessitou de um computador com grau elevado de processamento e nem de memória, gerando um bom custo-benefício. Os gráficos tridimensionais representam com fidelidade os modelos reais, sem gerar custos elevados ao desempenho geral. O software do simulador possui respostas rápidas aos comandos enviados pelo painel desenvolvido com a plataforma Arduino e pelo joystick/volante G25 adaptado.

Como protótipo, esta ferramenta fica em aberto para melhorias e novas configurações, demonstrando assim flexibilidade e possibilidade de outros sistemas serem desenvolvidos a partir desta pesquisa inicial.

Na tabela 9 temos a comparação básica entre os simuladores pesquisados e o descrito na dissertação.

Tabela 9 – Tabela comparativa básica dos simuladores.

Recursos	Reach Stacker	Simulador Passadiço	Simulador recuperadora	Centro de Simulação Aquaviária	Colheita florestal
Gráficos	Alta Resolução (Monitor)	Média resolução (Projeção)	Alta Resolução (Monitores)	Média resolução (Monitores)	Alta Resolução (Monitor)
Painéis	Desenvolvimento próprio	Desenvolvido por terceiros	Desenvolvimento próprio	Desenvolvido por terceiros	Desenvolvido por terceiros
Física	Alta eficiência	Alta eficiência	Média eficiência	Alta eficiência	Alta eficiência
Telas	1 Tela	Várias telas	Várias telas	Várias telas	1 Tela
Desempenho	Aprox. 40 Frames/s	Aprox. 25 Frames/s	Aprox. 25 Frames/s	Aprox. 25 Frames/s	Aprox. 25 Frames/s

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pela tabela desenvolvida podemos perceber que o Simulador de Reach Stacker apresentou bom desempenho se comparado aos simuladores desenvolvidos por grandes empresas. O critério para avaliação da física e gráficos foi puramente visual, a partir de travamentos das aplicações e de relatos dos respectivos desenvolvedores. A partir dos problemas e soluções encontradas no decorrer desta pesquisa foi possível a criação de um simulador visual que forneceu um grau de realismo suficiente para ser utilizado em treinamento inicial de novos operadores.

Comparando-se o parâmetro-chave de limitações do simulador de Reach Stacker com os demais simuladores pode-se observar no simulador desenvolvido os seguintes pontos fracos: a) Baixo número de frames por segundo; b) Problemas de atrito com as rodas; c) Alinhamento dos pistões hidráulicos; d) Mau contato nas conexões da placa Arduino.

As Soluções encontradas para os problemas encontrados foram: a) Otimização de texturas (ajustando para uma resolução apropriada) e geometria de colisão (utilizando colisão primitiva simplificada); b) Ajuste dos coeficientes de atrito (de acordo com as aplicações utilizadas) e aumento do peso das rodas; c) Alinhamento dos *sliders*¹⁰²; d) Melhoria nas soldas.

Comparando-se o parâmetro-chave de desempenho do simulador de Reach Stacker com os demais simuladores pode-se observar no simulador desenvolvido, depois das soluções dos problemas, os seguintes pontos fortes: a) Alta resolução; b) Desenvolvimento próprio; c) Física com alta eficiência; d) 1 tela de visualização (proporcionando assim menos gastos); e) Alta taxa de frames por segundo (aproximadamente 40 frames por segundo).

VI.3 - Considerações finais

Para o desenvolvimento do simulador foi necessária a realização de uma ampla pesquisa sobre o funcionamento e operação desse tipo de maquinário, a partir de manuais de operação e manutenção, bem como um levantamento bibliográfico para adquirir a fundamentação teórica sobre simuladores em realidade virtual. Além disso, foram realizados cursos teóricos e práticos sobre a operação dos equipamentos, ministrados por profissionais com grande experiência na sua utilização. Foi utilizada uma equipe de desenvolvimento multidisciplinar composta por pesquisadores, engenheiros, alunos de graduação, mestres e coordenada por doutores da própria COPPE/UFRJ. Grande parte do conhecimento necessário já fazia parte da formação da equipe, como: programação, modelagem 3D, conhecimentos de design, etc.

O tempo de desenvolvimento de cada simulador varia muito com a complexidade de sua operação, tamanho da equipe de desenvolvimento e de modelagem 3D, além da quantidade de interações físicas a serem executadas, dependendo também do fato de ser um simulador somente visual ou com modelagem matemática¹⁰³, o que pode ampliar

¹⁰² Recurso utilizado para simular pistões hidráulicos em games.

¹⁰³ A modelagem matemática é a área do conhecimento que estuda a simulação de sistemas reais a fim de prever o comportamento dos mesmos.

bastante o tempo para a sua finalização. Considerando esses fatores, leva-se cerca de 1 a 3 anos para a conclusão do processo de desenvolvimento de um simulador.

Foi escolhido o software 3ds Max, apresentado na Seção IV.3, para o desenvolvimento dos modelos tridimensionais devido à sua flexibilidade, por ser o mais compatível com a maioria dos sistemas utilizados no desenvolvimento e por gerar modelos de elevada qualidade e semelhantes aos reais.

O Software Quest3D descrito na Seção IV.4 possui um motor de física extremamente eficaz, mas gerou alguns problemas durante o decorrer da sua utilização devido ao fato de que poucos profissionais brasileiros estão capacitados com conhecimento da programação visual utilizada por este software, *bugs*¹⁰⁴ relacionados ao próprio software que foram contornados após muita pesquisa e testes utilizando métodos diversos e dificuldade de encontrar placa de vídeo que correspondesse a um bom resultado final de frames por segundo ao gerar um executável do simulador. A maioria dos problemas na utilização do Quest3D foi resolvida através de pesquisa no fórum e nos tutoriais disponibilizados no site do próprio fabricante, que são muito esclarecedores.

O Adobe Photoshop, descrito na Seção IV.5, apresentou os recursos necessários para a edição e criação das texturas utilizados nos modelos tridimensionais, aumentando com isso o realismo na simulação, pois quanto mais parecidos com os modelos reais, maior será o grau de imersão na simulação.

Através da pesquisa de campo, localizada na Seção IV.6, foi possível a coleta de dados, através de entrevistas não-estruturadas sobre os simuladores desenvolvidos em realidade virtual, bem como a visita ao pátio de contêineres onde foram adquiridas as informações sobre as operações com o Reach Stacker real, declarações dos operadores do equipamento, coleta das fotos, manuais técnicos de operação e manutenção e vídeos que auxiliaram no desenvolvimento do ambiente gráfico e simulação da física.

Por intermédio de uma modeladora 3D, descrita na seção IV.9, foi possível criar os moldes dos painéis que foram utilizados na moldagem através do sistema de *vacuum forming*, descrito na Seção IV.9.1. A seguir, foi implementada a eletrônica dos painéis utilizando a plataforma Arduino, Seção IV.10, que permitiu a perfeita interatividade entre a simulação, o painel e o usuário, representando assim o painel com a máxima fidelidade, podendo com isso controlar os botões e luzes através da comunicação do

¹⁰⁴ Um *bug* (no sentido de defeito em inglês) é um erro no funcionamento comum de um software (ou também de hardware).

Arduino com o software do simulador. O monitor/TV utilizado para a visualização da simulação, Seção IV.11.1, possui 47 polegadas, o que permitiu uma boa visão panorâmica da área virtual. Foi utilizado um computador com bom desempenho, Seção IV.11.3, para o processamento do software.

O volante e pedais foram adaptados de um joystick/volante G25, Seção IV.11.2 fabricado pela empresa Logitech, possui force feedback no volante, o que auxiliou na sensação de imersão da simulação. Após a construção do protótipo, passou-se a validação do simulador, por intermédio de testes de desempenho da física e comparação com os vídeos das operações reais de utilização e manobras do Reach Stacker real, à seguir foi utilizado por um operador que possui mais de 20 anos de experiência, que constatou ser necessário alguns ajustes de velocidade nas manobras de spreader, ajuste este que foi realizado, completando assim a validação.

VI.4 - Desenvolvimentos futuros

Durante o decorrer do desenvolvimento do protótipo puderam ser observadas melhorias que podem ser implementadas futuramente. As características do protótipo do simulador desenvolvido indicam a possibilidade de utilização de alguns dispositivos e técnicas que podem agregar maior qualidade a todo o sistema.

VI.4.1 - Base móvel utilizando atuadores da D-box

Implementação de atuadores inerciais embaixo da cadeira do operador, figura 85, do Reach Stacker para uma sensação de imersão mais realista.



Figura 85 - Base móvel posicionada embaixo da cadeira do operador.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O motivo da colocação dos atuadores somente na cadeira do operador e não em todo o conjunto é por não haver necessidade de uma movimentação muito grande, a base móvel é somente para simular as trepidações do Reach Stacker, pois a suspensão deste veículo é rígida e sem muitas oscilações, em conjunto com o volante permitirão uma sensação bem próxima da realidade.

O modelo de atuadores escolhido é o da D-box da Kinetron¹⁰⁵ (Anexo 2) por produzirem um movimento mais puro com linearidade satisfatória para o projeto a que se propõem criando assim uma grande percepção de movimento para o operador do simulador, podem abranger movimentos ondulatórios lentos e em vibrações mais bruscas, similares aos que ocorrem nas manobras de um Reach Stacker quando se movimenta e aos engates nos contêineres produzindo assim uma gama completa de movimentos aliados ao *force feedback* do volante G-25 da Logitech. A Base móvel propicia aumento da imersão na simulação, aumentando também a realidade para o usuário durante o treinamento (BASTOS, 2011).

Detalhe da base móvel onde serão posicionados os atuadores da D-box na figura 86.



Figura 86 - Base móvel onde serão fixados os atuadores.

Fonte: Elaborada pelo autor.

¹⁰⁵ <http://www.d-box.com/>

VI.4.2 - Utilização de 5 monitores de 55 polegadas

Utilização de cinco telas de 55 polegadas para termos praticamente os mesmos ângulos de visão de uma cabine real, permitindo assim as visibilidades laterais e superior das operações do Reach Stacker, nas figuras 87 e 88 temos o posicionamento dos 5 monitores em relação à cadeira de operação.

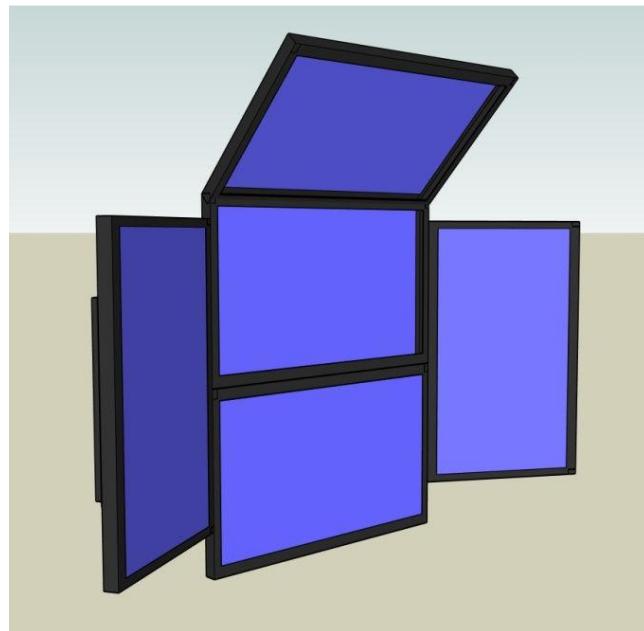


Figura 87 - Telas múltiplas.

Fonte: Elaborada pelo autor.

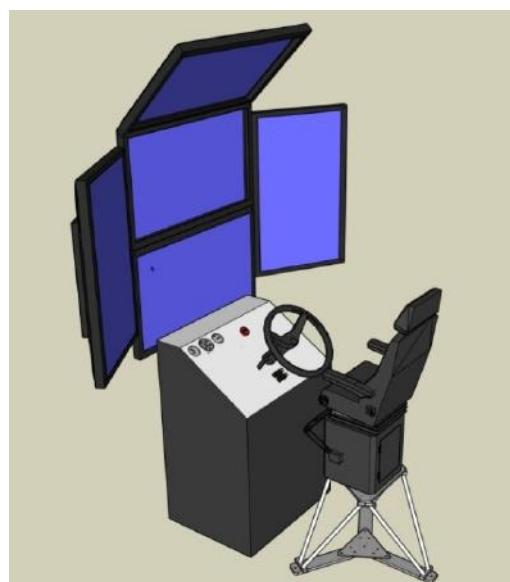


Figura 88 - Posicionamento dos 5 monitores em relação à cadeira de operação.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O software Quest3D¹⁰⁶ possui o recurso de utilização de múltiplas telas (monitores), através de um canal chamado *DirectX Command/ Set viewport*, figura 89.



Figura 89 - *Set viewport*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Através de programação específica podemos configurar diversas câmeras em ângulos e posições diferentes e ajustá-las aos monitores equivalentes para simular a visualização de cada janela no Reach Stacker , na figura 90 temos um exemplo básico de distribuição das *viewports*¹⁰⁷ no Quest3D e na figura 91, temos um exemplo de programação dos *viewports* também no Quest3D.

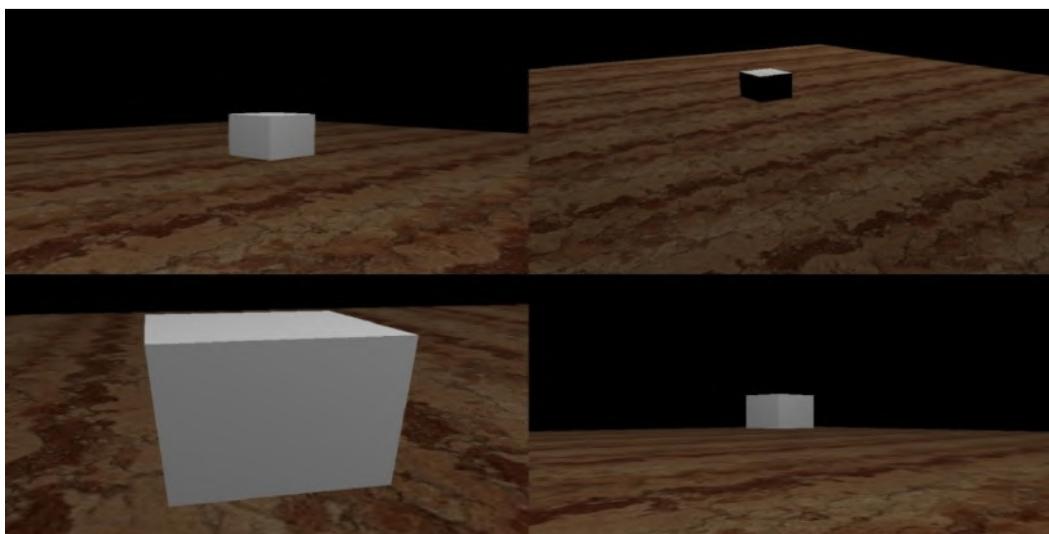


Figura 90 - Exemplo básico de distribuição de *viewports* no Quest3D.

Fonte: Elaborada pelo autor.

¹⁰⁶ <http://quest3d.com/>

¹⁰⁷ Janelas de visualização.

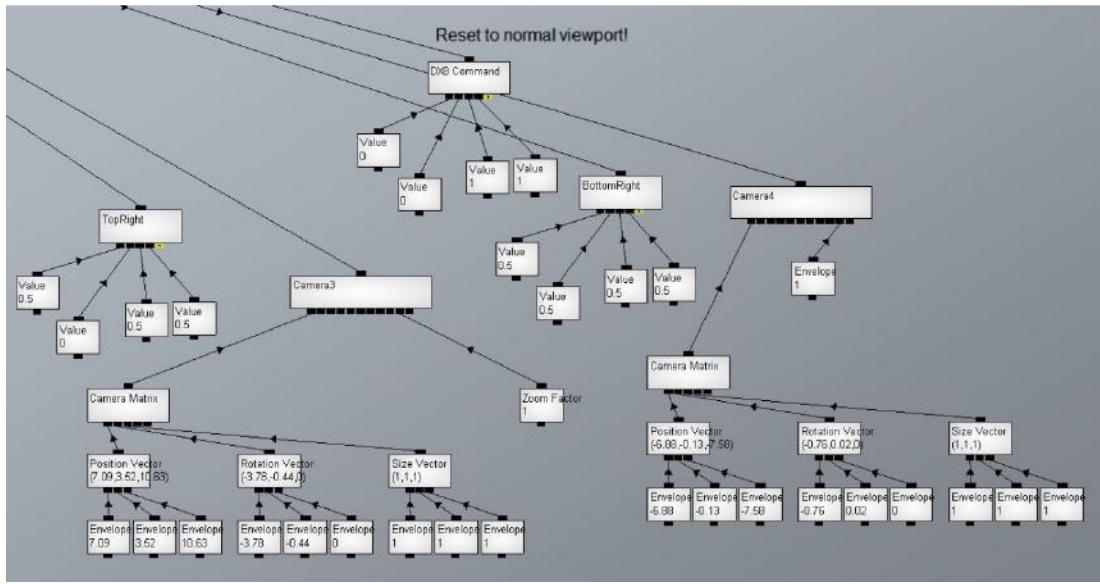


Figura 91 - Exemplo de programação dos *viewports* no Quest3D.

Fonte: Elaborada pelo autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARILLI, E. C. V. C., 2007, *Aplicação de Métodos e Técnicas de Realidade Virtual para Apoiar Processos Educativos a Distância que Exijam o Desenvolvimento de Habilidades Motoras*. Tese de D.Sc., Universidade Federal Do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Disponível em: < <http://www.coc.ufrj.br/index.php/teses-de-doutorado/151-2007/1087-elomar-christina-vieira-castilho-barilli#download> >.

Acesso em: Junho de 2013.

BASTOS, A. D. R., 2011, *Sistema de Painel Virtual com Resposta Tátil*. Dissertação de Msc., COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Disponível em: < <http://www.coc.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/111-2011/1448-allisson-dant-ramos-bastos#download> >.

Acesso em: Agosto de 2013

BRUZZONE, A.G. MOSCA, R. *et al.*, 2000 "Risk Analysis in harbor environments using simulation", *Safety Science*, 35, pp. 75-86, FRENCH, P. W., 1997, *Coastal and Estuarine Management*, London, Routledge.

Disponível em:< <http://www-sciencedirect-com.ez29.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0925753500000230/pdf?md5=ccd08133f01d8c6963329127102eff65&pid=1-s2.0-S0925753500000230-main.pdf> >.

Acesso em: Agosto de 2013.

BRAGA, I. F., 2007, *Realidade Aumentada em Museus; um Estudo de Caso: as Batalhas do Museu Nacional de Belas Artes*. Tese de D.Sc., COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Disponível em: < <http://www.coc.ufrj.br/index.php/teses-de-doutorado/151-2007/1089-isis-fernandes-braga> >.

Acesso em: Setembro de 2013.

BRAGA, L. A. F., 2006, *Simulação de Rota de Fuga e Sinalização utilizando Multi-agentes e Realidade Virtual*, Tese de D.Sc., COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Disponível em: < <http://www.coc.ufrj.br/index.php/teses-de-doutorado/150-2006/1052-luiz-antonio-fernandes-braga> >.

Acesso em: Julho de 2013.

BRUZZONE, A.G., FADDA, P. *et al.*, 2005. "Logistics node simulator as an enabler for supply chain. Development: innovative portainer simulator as the assessment tool for human factors in port cranes", *Journal Simulation archive*, v. 87 Issue 10, October 2011 pp. 857-874 Society for Computer Simulation International San Diego, CA, USA.

Disponível em: < <http://sim.sagepub.com/content/early/2011/08/03/0037549711418688.full.pdf+html> >.

Acesso em: Maio de 2013.

CADOZ, C. Realidade Virtual. São Paulo: Ática, 1997.

CARDOSO, J. B., 2002, "O cenário virtual televisivo: uma forma específica de representação gráfica". *Revista Imes*. Julho/dezembro p. 39. São Paulo Brasil.

Disponível em: < <http://pt.slideshare.net/Jozelena/artigo-jornalisticos-revista-imes-d> >.

Acesso em: Setembro de 2013.

CHIAVENATO, I., Recursos humanos na empresa, São Paulo: Atlas, 5v, 1989.

CUNHA, G.G., 2004. *Ambiente de Visualização Via Realidade Virtual para Simulação de Sistemas Flutuantes de Produção de Petróleo*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro.

Disponível em: < <http://www.coc.ufrj.br/index.php/teses-de-doutorado/148-2004/977-gerson-gomes-cunha#download> >.

Acesso em: Março de 2013.

FERNANDES, G. A., 2012, *Realidade Aumentada Aplicada a Atividades de Inspeção e Manutenção em Engenharia Civil*. Tese de Dsc., COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Disponível em: < <http://www.coc.ufrj.br/index.php/teses-de-doutorado/156-2012/4097-gabriel-aprigliano-fernandes#download> >.

Acesso em: Abril de 2013.

FERNANDES, M. G., 2001, *Modelo Econômico-Operacional para Análise e Dimensionamento de Terminais de Contêineres e Veículos*. Dissertação de Msc. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. SP. Brasil.

Disponível em: < <http://ppgen.poli.usp.br/Producao/10335/Modelo-Economico-Operacional-para-Analise-e-Dimensionamento-de-Terminais-de-Conteiner> >.

Acesso em: Fevereiro de 2013.

FERNANDEZ, I. G., GUERRERO, J. D. M. , CASTELLS, M. P. *et al.*, 2004 , "Crane collision modelling using a neural network." *Approach Expert Systems with Applications*. v27 i3. 341-348.

Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417404000387>>
Acesso em: Agosto de 2013.

FREITAS, M.R., RUSCHEL, R. C., 2010, "Aplicação de Realidade Virtual e Aumentada em Arquitetura" *Arquitetura Revista*. Vol. 6 – nº 2 - Julho/Dezembro de 2010.

Disponível em: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/4553/1784>>. Acesso em: Setembro de 2013.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social, 5^a ed. São Paulo: Atlas, 1999.

HOUNSELL, M. S., PREISSLER JUNIOR, S., 2007, "Conceitos de Realidade Virtual"
Disponível em: <<http://www.di.ufpb.br/liliane/publicações/reic2002.pdf>>.

Acesso em: Dezembro de 2013.

JU, H. C., *et al.*, 2010. "Dynamic response simulation of a heavy cargo suspended by a floating crane based on multibody system dinamycs", *Department of Naval Architecture and Ocean Engineering*, Seoul National University, Daehak-dong, Gwanak-gu, Seoul, pp.151-744, Republic of Korea.

Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801810001423>>. Acesso em: Agosto de 2013.

LAGE, *et al.*, 2012, "Simulador de Passadiço". *XI SBGames*, Brasília, DF, Brazil.

Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDcQFjAB&url=http%3A%2F%2Fsbgames.org%2Fsbgames2012%2Fproceedings%2Fpapers%2Fsimulacao%2FW_2.pdf&ei=9Rv4UreAGPPisASyI DYCg&usg=AFQjCNEKMWZm2yTz_IwPeUhj5dBw1yOAKQ&sig2=AZNYd76HwHZs1blbixs9wQ&bvm=bv.60983673,d.cWc>.

Acesso em: Janeiro de 2013.

LATTA, J. N. & OBERG, D. J. 1994. "A conceptual virtual reality model", *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 23-29.

Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDwQFjAB&url=https%3A%2F%2Ftrac.v2.nl%2Fexport%2F7491%2Fandres%2FDocumentation%2FAR%2520Behaviour%2FConceptual_VR_mo del.pdf&ei=8Uv1UoeYEbHKsQT3-ICICw&usg=AFQjCNG-s3Cu0R3sUNRCyoA_vTV7LQab7w&bvm=bv.60983673,d.cWc>.

Acesso em: Janeiro de 2013.

LOPES, E. S., CRUZIANINI, E., ANTONIO, J.E., SILVA, P.C. 2008, "Avaliação do treinamento de operadores de Harvester com uso de simulador de realidade virtual", *Revista Árvore*, Vol.32(2), p.291.

Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622008000200012&script=sci_arttext>.

Acesso em: Maio de 2013.

LIMA, A .J. R., NETO, A. R., LIMA, L. G. R., HAGUENAUER, C. J., 2009, "Objetos de Aprendizagem e Animações em Flash no Ensino de Geometria Descritiva", *Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo*, v. BT/27, p. 27-27.

Disponível em: <<http://bt.fatecsp.br/system/articles/867/original/001.pdf>>.

Acesso em: Março de 2013.

MEDEIROS, R. L., 2010, *Construção de um Visualizador para Simulações Computacionais Ambientais*. Dissertação de Msc., COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Disponível em: <<http://www.coc.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/110-2010/1531-renan-leser-de-medeiros#download>>.

Acesso em: Fevereiro de 2013.

MARINS, V., HAGUENAUER, C., CUNHA, G., FILHO, F. C., 2008, "Aprendizagem em Museus com Uso de Tecnologias Digitais e Realidade Virtual". *Virtual Reality Journal*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Disponível em: <<http://www.latec.ufrj.br/revistas/index.php?journal=museuvirtual&page=article&op=view&path%5B%5D=66>>.

Acesso em: Agosto de 2013.

MARTINS, V. F., OLIVEIRA, A. J. G., GUIMARÃES, M. P., 2013, "Implementação de um laboratório de realidade virtual de baixo custo: estudo de caso de montagem de um laboratório para o ensino de Matemática". *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, Passo Fundo, v. 5, n. 1, p. 98-112, abr. 2013.

Disponível em: <<http://www.upf.br/seer/index.php/rbca/article/view/2810/0>>.

Acesso em: Março de 2013.

MONTERO, E. F. S., ZANCHET, D. J., 2003, "Realidade virtual e a medicina" *Acta Cirúrgica Brasileira - Vol 18 (5)* 2003.

Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-86502003000500017&script=sci_arttext>.

Acesso em: Junho de 2013.

ZIV, A., BEM-DAVID, S., Ziv, M. 2005. "Simulation based medical education: An opportunity to learn from errors", *Medical Teacher*, 27, 193-199.

Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16011941>>.

Acesso em: Junho de 2013.

NETO, A. R.; MENEZES, N. O. , ESTEVES, P. R., NAEGELI, M., 2011 , "Projeto Museu Virtual: Utilização de Recursos de Tecnologias da Informação e da Comunicação, Sistemas Multimídia e Realidade Virtual". In: *Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica* 2011. Rio de Janeiro.

Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sigma.ufrj.br%2FUF RJ%2Fsigma%2Fjornadaic%2Fpublicacao_foco%2Ftrabalhos%2Fconsulta%2Frelatori>.

o.stm%3Fapp%3DJIC_PUBLICACAO_TRABALHO%26ano%3D2011%26codigo%3D4017%26buscas_cruzadas%3DON&ei=IyD4UuDbPOLjsASX64G4DQ&usg=AFQjCNHstQwE2s5598-6uAQ9aG_yWxnHQw&sig2=kSZ9mKlgqQ1TG4LCHVIUMQ&bm=bv.60983673,d.cWc >.

Acesso em: Dezembro de 2013.

NETO, A. R. , 2010 "Desenvolvimento de Ambientes Virtuais com uso de Realidade Virtual utilizando a Ferramenta Quest3D", *In: Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica 2010*, Rio de Janeiro.

Disponível em: < https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDUQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.sigma.ufrj.br%2FUFRJ%2Fsigma%2Fjornadaic%2Fpublicacao_foco%2Ftrabalhos%2Fconsulta%2Frelatorio.stm%3Fapp%3DJIC_PUBLICACAO_TRABALHO%26ano%3D2010%26codigo%3D1185%26buscas_cruzadas%3DON&ei=3yH4UtigGYqrsQSiuoCABQ&usg=AFQjCNEVM6AQzhUBGe2Hx19cLeJicSADMw&sig2=HHtXg2w_dlbfZ9CCwCwKw >.

Acesso em: Janeiro de 2014.

NEVINS, M. R. , MACAL, C. M., JOINES, J.C., 1995, "A discrete event simulation model for seaport operations", *Proceedings of the 1995 Summer Computer Simulation Conference*, Ottawa, Ontario, Canada.

Disponível em: < <http://sim.sagepub.com/content/70/4/213.abstract> >.

Acesso em: Abril de 2013.

PARREIRAS, D. J. P., 2009, "Realidade Aumentada e Interatividade: o Quebra Cabeça Virtual", *revista realidade virtual*, Volume 2- no 2- Julho/Dezembro de 2009.

Disponível em: < <http://www.latec.ufrj.br/revistas/index.php?journal=realidadevirtual&page=article&op=view&path%5B%5D=60> >.

Acesso em: Maio de 2013.

PARREIRAS, D. J. P., 2011, *Sistema de Projeção Pessoal Para Navegação em Ambientes Virtuais*. Dissertação de Msc., COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Disponível em: < <http://www.coc.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/111-2011/1473-diego-de-jesus-penaforte-parreiras#download> >.

Acesso em: Junho de 2013.

PIMENTEL, K., TEIXEIRA, K. 1993, "Virtual Reality. Through the New Looking Glass". New York: Windcrest/McGraw-Hill.

Disponível em: < http://books.google.com.br/books/about/Virtual_reality.html?id=V-pQAAAAMAAJ&redir_esc=y >.

Acesso em fevereiro de 2013.

RICHARDSON, R. Pesquisa social: métodos e técnicas, 3^a ed. São Paulo: Atlas, 1999.

RODRIGUES, F. L. D., 2010, *Sistema de Realidade Virtual Para Simulador Visual de Passadiço*. Dissertação de Msc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos. São Paulo, SP, Brasil.

Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-28022011-164713/pt-br.php> >.

Acesso em: Setembro de 2013.

SANG, J. L., JONG, H. K., 2008. "Wind load on a container crane located in atmospheric boundary layers", *Department of Mechanical Engineering, Pohang University of Science and Technology*, Hyoja-dong, Pohang 790-784, South Korea.

Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610507001067> >. Acesso em: Setembro de 2013.

SANTOS, O. B. Orientação e desenvolvimento do potencial humano, São Paulo: Pioneira, 1978.

SEABRA, C. 2001, Uma nova educação para uma nova era. In: DOWBOR, L. *et al.*, (org.) Desafios da globalização. Petrópolis: Vozes.

SHERMAN, W. R. CRAIG, A. B., Understanding Virtual Reality: interface, application and design. San Francisco(CA): Elsevier. 2006.

SILVA, E. L., MENEZES, E. M.. Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação. Florianópolis: UFSC, 2005.

Disponível em: < https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CC0QFjAA&url=https%3A%2F%2Fprojeto.inf.ufsc.br%2FArquivos%2FMetodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf&ei=VOEIU_bPB8v5kQfl04DABg&usg=AFQjCNGILZ5rkj7EV5xsattKMyssorfqA&sig2=e1quUAspH5rqwllft6myDg&bvm=bv.62922401,d.eW0 >.

Acesso em: Setembro de 2013.

TORI, R. 2006, "Jogos Eletrônicos e Realidade Virtual, Fundamentos de Realidade Virtual", *livro pré-simpósio, 7º symposium on virtual reality*, pp.2-20, Belém, maio.

Disponível em: < <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDcQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.sbc.org.br%2Fce-rv%2Fdocumentos%2Fintrod-conceitos-rv-ra%255B1%255D.pdf&ei=8jP4UsaMO8y-kQeG54GwBA&usg=AFQjCNEtlMC8KXIcttKwxFYWF64vls6w7g&sig2=8610ns6fhqivLoEGBgBOiA&bvm=bv.60983673,d.eW0> >.

Acesso em: Dezembro de 2013.

TRIVIÑOS, A. N. S. - Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação, São Paulo, Atlas, 1987.

VINCE, J. Essential Virtual Reality Fast. Berlin, Alemanha, Ed. Springer, 1998.

Sites Acessados:

Disponível em: < <http://www.adobe.com/br/products/photoshopfamily.html> >
Acesso em: Agosto de 2013.

Disponível em: < <http://arduino.cc/> >

Acesso em: Junho de 2013.

Disponível em: < <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/> >
Acesso em: Julho de 2013.

Disponível em: < <http://www.autodesk.com.br/products/autodesk-3ds-max/overview> >
Acesso em: Setembro de 2013.

Disponível em: < <https://www.casnav.mar.mil.br/s/?q=node/69> >
Acesso em Setembro de 2013.

Disponível em: < <http://www.centronave.org.br/pt/index.php> >.
Acesso em: Março de 2013.

Disponível em: < <https://collada.org/mediawiki/index.php/OpenCOLLADA> > Acesso em: Fevereiro de 2013.

Disponível em: < <http://www.csaq.org.br/site/> >
Acesso em: Outubro de 2013.

Disponível em:< <http://www.csaq.org.br/site/cursos/pagina/4>>
Acesso em: Julho de 2013.

Disponível em: < <http://www.csaq.org.br/site/home/pagina/simuladores> >
Acesso: Julho de 2013.

Disponível em: < <http://www.d-box.com/> >
Acesso em: Julho de 2013.

Disponível em: < <http://deep-exploration.software.informer.com/> >
Acesso em: Abril de 2013.

Disponível em: < <http://www.dell.com.br/>>
Acesso em: Maio de 2013.

Disponível em: < <http://edinfantil.com.br/internas.php?url=lousa> >
Acesso em: Setembro de 2013.

Disponível em: < <http://www.emmerson.com.br/novo/cirurgia-que-usa-imagens-3d-e-robos-e-o-futuro-da-medicina-diz-cientista/> >

Acesso em: Agosto de 2013

Disponível em: < <http://www.finep.gov.br/> >

Acesso em: Outubro de 2013.

Disponível em: < <http://www.forestalbiomassa.com.br/noticias-2012/168-senai-lancara-naforestalbiomassa-o-simulador-de-colheita-forestal.html> >

Acesso em: Novembro de 2013.

Disponível em: < <http://www.gbaduaneira.com.br/portugues/containeres.htm> >

Acesso em: Novembro de 2013.

Disponível em: < <http://www.incatep.com.br/> >

Acesso em: Julho de 2013.

Disponível em: < <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=caverna-digital-realidade-virtual-usuario-final> >

Acesso em: Julho de 2013.

Disponível em: < <http://www.intel.com.br/> >

Acesso em: Junho de 2013.

Disponível em: < <http://www.kalmarind.co.uk/pages/reachstackers.php> >

Acesso em: Junho de 2013.

Disponível em: < <http://www.latec.ufrj.br/dinosvirtuais/catalogo/> >

Acesso em: Julho de 2013.

Disponível em: < <http://www.ldstv.poli.usp.br/simulador.htm> >

Acesso em: Setembro de 2013.

Disponível em: < <http://www.lge.com.br> >

Acesso em: Maio de 2013.

Disponível em: <<http://www.liophant.org/cocodris/>>

Acessado em: Julho de 2013

Disponível em: <<http://www.liophant.org/cocodris/stacker1.jpg>>

Acessado em: Julho de 2013

Disponível em: <<http://www.liophant.org/cocodris/stacker2.jpg>>

Acessado em: Julho de 2013

Disponível em <<http://www.logitech.com/>>

Acesso em: Julho de 2013.

Disponível em: <http://www.mar.mil.br/caaml/Revista/2011/passadico_2011_portugues/index.html>

Acesso em: Novembro de 2013.

Disponível em: <http://www.multiterminais.com.br/e_multirio.html>

Acesso em: Junho de 2013.

Disponível em: <<http://www.nvidia.com.br/page/home.html>>

Acesso em março de 2013.

Disponível em: <<http://www.opengl.org/>>

Acesso em Outubro de 2013.

Disponível em: <<http://www.petervaldivia.com/technology/plastics/fabrication-of-plastic.php>>

Acesso em: Outubro de 2013.

Disponível em: <<http://www.portodesantos.com.br/clipping.php?idClipping=20231>>

Acesso em: Agosto de 2013.

Disponível em: <<http://portuguese.unity3d.com/>>

Acesso em Setembro de 2013.

Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9s_\(unidade\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9s_(unidade))>

Acesso em: Novembro de 2013.

Disponível em: <<http://quest3d.com/>>

Acesso em: Março de 2013.

Disponível em: <<http://revistadinheirorural.terra.com.br/secao/agroeconomia/portos-congestionados>>.

Acesso em: Março de 2013.

Disponível em: <<http://www.rolanddgi.com/pt/products/modela-mdx-40>>

Acesso em: Outubro de 2013.

Disponível em: <<http://saladeimprensa.vale.com/pt/noticias/interna.asp?id=21345>>

Acesso em: Agosto de 2013.

Disponível em: <http://sbgames.org/sbgames2012/proceedings/papers/simulacao/W_2.pdf>

Acesso em: Novembro de 2013.

Disponível em: <<http://www.sc.senai.br/siteinstitucional/>>

Acesso em: Dezembro de 2013.

Disponível em: <<http://www.sc.senai.br/siteinstitucional/servicos/curso/show/curso/4480/nome/simulador-de-colheita-florestal---harvester>>

Acesso em: Dezembro de 2013.

Disponível em: <http://www.simhq.com/_technology2/technology_100a.html>

Acesso: Julho de 2013.

Disponível em: <<http://www.sinaleticamais.com/dynamicdata/gravacaoporfresamdx40.asp>> Acesso em: Outubro de 2013.

Disponível em: < <http://smagris3.uv.es/irtic/?q=en/proyecto/lSYM/reach-stacker-crane-simulator> >

Acesso em: Julho de 2013.

Disponível em < <http://teoplastico.no.comunidades.net/index.php?pagina=1382768699> >

Acesso em: Setembro de 2013.

Disponível em: < <http://www.transas.com/> > Acesso em: Janeiro de 2014

Disponível em: < <http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/2012-12-14/simulador-safopermite-tiro-virtual-e-economia-real-da-artilharia-do-exercito.html> >

Acesso em: Agosto de 2013.

Disponível em: < <http://www.vacuum.com.br/o-processo/> >

Acesso em: Outubro de 2013.

Disponível em: < <http://www.vale.com/PT/aboutvale/news/Paginas/porto-de-tubarao-no-brasil-vive-fase-de-modernizacao.aspx> >

Acesso em: Agosto de 2013.

Disponível em: < <http://www.vale.com/PT/aboutvale/initiatives/simulators/Paginas/default.aspx> >

Acesso em: Setembro de 2013.

ANEXO 1

Edições disponíveis do Quest3D¹⁰⁸:

Quest3D Creative Edition:

Contém todos os equipamentos básicos, necessários para criar rapidamente em tempo real, software 3D. Centenas de usuários satisfeitos e design de produtos visuais, arquitetura e demos de jogos com esta edição do Quest3D. Com o desenvolvimento do sistema Orientado a Objetos e em tempo real de importação de conteúdo 3D COLLADA formatado, o *Creative Edition* é uma ferramenta poderosa para os desenvolvedores.

Quest3D Power Edition:

A edição Quest3D Power estende o pacote com funcionalidades mais avançadas, tais como redes, acesso à banco de dados, componentes de interface gráfica e técnicas avançadas de gráficos. Estas técnicas envolvem a renderização HDR, mistura avançada de movimento e de partículas avançados. Quest3D poder de edição apropriada para fazer jogos, aplicativos empresariais e visualizações complexas.

Quest3D VR Edition:

A edição Quest3D VR é especialmente feita para a criação em tempo real, sistemas de VR 3D, como 3D instalações de treinamento, ambientes *CAVE*, simuladores. A edição VR é também uma ferramenta a ser utilizada para soluções de transmissão de TV. Suporta vários tipos de movimento de monitoramento de hardware, tornando projetor multi-projeção *stereo* e simulação de ambiente. Quest3D VR Edition provou ser absolutamente necessária para a criação de estado das aplicações VR art.

¹⁰⁸ <http://quest3d.com/>

Possui uma interface inovadora que permite que os usuários criem aplicativos usando uma abordagem visual para a programação. Isso melhora a velocidade e a capacidade de explorar a criatividade, oferece também um conjunto de características incomparáveis e uma ampla variedade de recursos. Sua abordagem ao suporte, atualizações e custo da licença é muito apreciada pelos seus usuários.

Realmente é ideal para qualquer pessoa que precise de uma solução séria e que execute o trabalho sem maiores preocupações. Comparado com ambientes de programação, tal qual o C++, C# e Java, o Quest3D é muito mais eficiente, pragmático e menos complexo. A versão utilizada para o desenvolvimento foi a do Quest3D VR Edition por possuir todas as ferramentas necessárias, por todas estas características esse foi o software escolhido para o desenvolvimento do simulador de Reach Stacker.

ANEXO 2

Os atuadores da D-box¹⁰⁹ tem um custo reduzido se comparados às soluções tradicionais utilizadas pela concorrência, esse atuador utiliza um fluxo contínuo de amostras de posição, seu movimento é transmitido como um sinal de áudio digital não havendo assim distinção entre vibração e movimento, sendo assim a vibração é o que acontece na extremidade superior do espectro da frequência, enquanto que o movimento é o que acontece na extremidade inferior. o que se espera dos atuadores é uma frequência plana que se mantenha entre 0 Hz a 100 Hz, figura 92, na sua maior parte como um espectro de áudio.

Para ter esse desempenho, os motores que se posicionam no centro do atuador tem que ter acelerações de 1G¹¹⁰ para o usuário, além de ter que apoiar o usuário na cadeira de operação. Na extremidade de gama dinâmica, o movimento deve ser suave, quase imperceptível. Esses padrões para o desempenho condizem em elevados requisitos para o sistema de controle e motor.

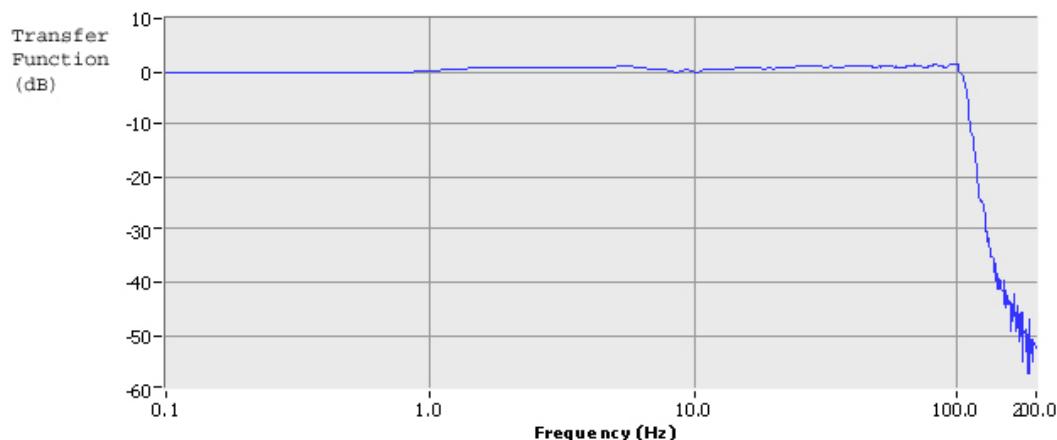


Figura 92 - Resposta de frequência de um atuador padrão.

Fonte: D-box.¹¹¹

O motor é um *brushless*¹¹² que utiliza imãs (*brushless motor using rare-earth magnets*) fornece grande torque e uma resposta muito rápida mesmo com suas pequenas dimensões, possui uma construção simples, mas suporta níveis elevados de vibração. A

¹⁰⁹ <http://www.d-box.com/>

¹¹⁰ 1G significa sob a aceleração de $9,8 \text{ m/s}^2$ (aceleração aproximada na superfície terrestre), 2G suas vezes esta aceleração, 3G três vezes esta aceleração.

¹¹¹ <http://www.d-box.com/>

¹¹² Brushless são motores que não possuem escovas, onde não há nenhum ponto de contato mecânico entre os dois módulos (rotor e estator) para passagem de eletricidade.

técnica utilizada para o acionamento do motor é a *Vector-Pulse-Width-Modulation*. A estrutura interna do motor é acionada por séries de impulsos de alta frequência, controlando assim a amplitude e os vetores do campo magnético, o acionamento do sistema do motor é uma plataforma DSP/FPGA que inclui um algoritmo de controle flexível e de baixo custo que aciona diretamente as bobinas do motor, essa plataforma possui um alto poder de processamento, permitindo assim a execução de um modelo dinâmico do motor sobre o DSP, tudo isto permite uma implementação no software em tempo real com alta precisão.

O motor de corrente instantânea não é medido, mas calculado a partir do modelo, este conceito simplifica bastante o hardware melhorando o desempenho e diminuindo assim a quantidade de componentes e o seu custo final de fabricação. D-Box *actuator control module*, figura 93.



Figura 93 - D-Box *actuator control module*.

Fonte: D-Box.¹¹³

O controle baseado em modelo e a plataforma com o seu alto poder de processamento geram inúmeros benefícios e é o conceito da auto instrumentação. Diversos parâmetros de operação, medidos ou estimados, podem ser enviados de volta em tempo real para o controlador de movimento para análise ou somente exibição, em contrapartida a produção de equipamentos tradicionais são caros por necessitarem de

¹¹³ <http://www.d-box.com/>

placas eletrônicas. Por meio de portas de testes dedicados o atuador Kinetron da D-box possui auto teste interno.

O mesmo padrão de auto teste foi utilizado no teste dos conjuntos eletrônicos de baixo nível, como também pode ser usada para testar a unidade completamente montada, inclusive a dinâmica dos movimentos e parâmetros mecânicos dos componentes e até mesmo do curso, fornecendo assim procedimentos rápidos de testes completos e de fácil condução. A estratégia de auto-instrumentação permite que se tenha uma medida precisa dos parâmetros durante a execução ou testes de resistência. Podemos citar como exemplo as funções para enviar de volta à posição do motor de maneira sincronizada com as amostras de entrada de posição fornecendo assim os dados para o cálculo em tempo real, da resposta do impulso do atuador e da sua função de transferência. Motor e pistão do atuador, figura 94.



Figura 94 - Motor e pistão do atuador.

Fonte D-Box.¹¹⁴

As vantagens de um processamento intensivo de software é o sistema inteligente de gestão de falhas. O sistema possui um grande módulo de gerenciamento de falhas permitindo assim que os parâmetros de operação possam ser estendidos para além do que seria o padrão de um módulo de gerenciamento de hardware simplificado. Podemos citar como exemplo quando a corrente elétrica do motor atinge valores elevados por um curto período de tempo para que seja seguro para o motor. No caso de falhas na energia,

¹¹⁴ <http://www.d-box.com/>

a energia potencial da plataforma que é o seu peso x altura será convertida novamente em energia elétrica para que alimente o motor por intermédio de uma descida controlada, esse comportamentos complexos seriam impossíveis de serem implementados utilizando técnicas de acionamento de motores baseados em gerenciamento de hardware tradicionais.