

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

**EMPREGO DE REALIDADE VIRTUAL,
REALIDADE AUMENTADA E
TELEPRESENÇA IMERSIVA NA
OPERAÇÃO DE VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS**

EDUARDO JOSÉ FABRIS

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

Orientador: Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho

Porto Alegre

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F128e Fabris, Eduardo José
Emprego de realidade virtual, realidade aumentada e telepresença imersiva na operação de veículos não tripulados / Eduardo José Fabris. - Porto Alegre, 2012.
110 p.

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

1. Informática. 2. Realidade Virtual. 3. Veículos de Operação Remota. I. Pinho, Márcio Sarroglia. II. Título.

CDD 006.6

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



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

TERMO DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação intitulada "Emprego de Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Tele-Presença Imersiva na Operação de Veículos Não Tripulados" apresentada por Eduardo José Fabris como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação, Sistemas Interativos e de Visualização, aprovada em 28/11/2012 pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho –
Orientador

PPGCC/PUCRS

Prof. Dr. João Batista Souza de Oliveira –

PPGCC/PUCRS

Prof. Dr. Rafael Rieder –

UPF

Homologada em 05/06/2014, conforme Ata No. 010 pela Comissão Coordenadora.

Prof. Dr. Paulo Henrique Lemelle Fernandes
Coordenador.

PUCRS

Campus Central

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

AGRADECIMENTOS

Embora eu considere meu Mestrado em Ciência da Computação uma fase única e inesquecível da minha vida, repleta de momentos de aprendizado pessoal e técnico, mas também de cansaço e apreensão, um dos momentos que mais esperei é este em que relembro e agradeço as pessoas e instituições sem as quais eu não estaria terminando este mestrado.

Agradeço a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), pela oportunidade de ter cursado seu Mestrado em Ciência da Computação de forma gratuita.

Agradeço ao Professor Márcio Sarroglia Pinho, meu orientador, por ter viabilizado esta oportunidade ao me aceitar como seu orientando. Agradeço também por sua boa vontade, paciência, bondade, coragem, e por todos os momentos em que me ajudou.

Agradeço à Comissão Coordenadora do PPGCC, ao Professor Pinho e à minha colega Luciana Espíndola, pelo apoio, junto à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, para que eu pudesse concluir o curso. Agradeço também às pessoas que trabalharam e trabalham na secretaria do PPGCC.

Agradeço a todos que participaram dos testes relacionados à minha dissertação: Andreas Berwaldt, Christian Lykawka, Fabiano Ricardo Farias, Filipi Damasceno Vianna, Giovane Preczeski, Lucas Ceresca Batista, Luciana Espíndola, Rafael Limafurtado, Ronald Flores, Tales Bogoni, Vanderson Dill e Vanessa Caldeira Ramos.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), que propiciou minha volta à atividade acadêmica como aluno visitante (especial) do seu Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Nesta instituição conheci as professoras Ana Bazan e Carla Freitas, as quais agradeço por terem me aceito como aluno visitante do mestrado, e pelas cartas de recomendação.

Agradeço ao meu colega de graduação João Luiz Jung, por ter me explicado como eu poderia fazer para voltar à vida acadêmica.

Agradeço aos meus familiares Rejane, Jannette e Mário por todo o apoio que recebi durante tantos momentos difíceis.

Agradeço a minha namorada Vanessa não só pelo seu apoio e incentivo, mas também por sua paciência e compreensão.

Aos meus pais, José e Theresinha, agradeço a educação que recebi e ainda recebo, através dos exemplos de coragem, resistência, humildade e vontade de viver que continuam a oferecer.

EMPREGO DE REALIDADE VIRTUAL, REALIDADE AUMENTADA E TELEPRESENÇA IMERSIVA NA OPERAÇÃO DE VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS

RESUMO

Uma das dificuldades enfrentadas pelos operadores de veículos não tripulados é entender a situação do veículo no local onde ele se encontra e a relação dos eventos que lá ocorrem com o veículo e com a missão sendo realizada. Isto pode acontecer devido ao tipo de estação de controle utilizada e aos recursos disponíveis tanto na estação quanto no veículo. Neste contexto, este trabalho investiga o quanto as tecnologias de Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Telepresença Imersiva, quando empregadas de forma simultânea, são capazes de aumentar a consciência situacional do operador de um veículo não tripulado e a eficiência da navegação. Para isso, este trabalho propõe um sistema de controle e navegação aplicável a veículos terrestres não tripulados cuja principal característica é o emprego simultâneo de recursos ligados a Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Telepresença Imersiva. Como forma de viabilizar a avaliação deste sistema, foram implementados também um simulador de veículo terrestre não tripulado e uma ferramenta de visualização e análise dos dados gerados durante o uso do simulador. No que diz respeito à eficiência de navegação, este sistema foi avaliado a partir dos dados que descrevem o comportamento do veículo. Quanto à consciência situacional, este sistema foi avaliado através do método SAGAT. Os resultados obtidos indicam que um aparato imersivo é útil quando as tarefas realizadas através do veículo dependem da observação detalhada do local onde o veículo se encontra. Entretanto, tarefas associadas à navegação pura e simples podem ser realizadas com bom desempenho mesmo sem o aparato imersivo.

Palavras Chave: Veículo Terrestre Não Tripulado, Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Telepresença Imersiva, Consciência Situacional, Eficiência de Navegação.

THE USE OF VIRTUAL REALITY, AUGMENTED REALITY AND IMMERSIVE TELEPRESENCE IN THE OPERATION OF UNMANNED VEHICLES

ABSTRACT

One of the difficulties faced by unmanned vehicles operators is to understand the situation of the vehicle in the local where it is and the relationship of the events that occur there with the vehicle and with the mission that is being executed. This may happen due to the type of control station used and the resources available both in the station as in the vehicle. In this context, this paper investigates how the technologies of Virtual Reality, Augmented Reality and Immersive Telepresence, when used simultaneously, are able to increase the situational awareness of unmanned vehicle operator and the navigation efficiency. For this reason, this paper proposes a control and navigation system to unmanned ground vehicle whose main feature is the simultaneous use of resources related to Virtual Reality, Augmented Reality and Immersive Telepresence. Besides the system, as a way to facilitate the evaluation of this system, were implemented also an unmanned ground vehicle simulator and a tool for visualization and analysis the data generated during the use of the simulator. Regarding of the navigation efficiency, this system was evaluated from the data that describe the vehicle behavior. Concerning the situational awareness, this system was evaluated using the SAGAT method. The results obtained indicate that an immersive instrument is useful when the tasks executed by the vehicle depend on the detailed observation of the local where the vehicle is. However, tasks associated with the pure and simple navigation can be executed with good performance even without the immersive instrument.

Keywords: unmanned ground vehicle, virtual reality, augmented reality, immersive telepresence, situational awareness, navigation efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – ROBONAUT [NASA]	17
Figura 2 – Sojourner [FON01]	24
Figura 3 – TeleOperated Dune Buggy (SPAWAR Systems Center) e TeleOperated Vehicle (SPAWAR Systems Center).	24
Figura 4 – Soldado arremessa um PackBot por uma janela, para que suas câmeras de vídeo permitam a visão de dentro do recinto e entrada segura.	25
Figura 5 – Tele Operated Dune Buggy (SPAWAR Systems Center)	26
Figura 6 – Exemplo de componentes de um VTNT [AND06].	28
Figura 7 – Estação de controle do VTNT GUARDIAN, utilizado em operações de destruição de material explosivo.	29
Figura 8 – VNT sendo inserido em um tubo de esgoto, na busca por vítimas no World Trade Center [CAS03].	31
Figura 9 – Simulador de vôo do avião de caça F-5M da FAB.	35
Figura 10 – Veículo utilizado em Kaplan et al [KAP97].	37
Figura 11 – Linhas virtuais mostram o planejamento da movimentação do braço do robô [AZU97]	39
Figura 12 – Uso militar de um HUD na aeronave F-5E.	39
Figura 13 – Comparação entre HUD refrativo e RA ótica.	40
Figura 14 – Simbologia para HUD típica para aplicação civil.	41
Figura 15 – Utilização de RA como ferramenta de apoio a condução de uma aeronave.	41
Figura 16 – Estrutura de um simulador [ZHI08].	42
Figura 17 – Objeto virtual de Realidade Aumentada: o Cone Vertical.	53
Figura 18 – Objeto virtual de Realidade Aumentada: a Parede.	53
Figura 19 – Arquitetura de emprego real do sistema proposto.	54
Figura 20 – Componentes físicos da ECI.	56
Figura 21 – Arquitetura da ECI.	57
Figura 22 – Detalhe do HMD.	57
Figura 23 – Detalhe do head tracker.	58
Figura 24 – Joystick Genius MaxFighter F-23U.	60
Figura 25 – Estrutura do software da ECI.	61
Figura 26 – Fluxos de dados entre ECI e VTNT.	62

Figura 27 – Algoritmo do software da ECI.....	64
Figura 28 – Mapa do local remoto.....	70
Figura 29 – Ponto de partida e balizas.....	70
Figura 30 – Ao fundo, a zona proibida 1.	71
Figura 31 – Aglomerado de barris.....	71
Figura 32 – Ao fundo, a zona proibida 2.	72
Figura 33 – Ponto de chegada simbolizado por um cubo azul.....	72
Figura 34 – Exemplo de vazamento de material tóxico a partir de um barril.....	73
Figura 35 – Situação que pode ajudar a detectar CS de nível 3.	74
Figura 36 – Modelo virtual do VTNT, original e final, com câmera reposicionada.....	76
Figura 37 – GDTA para teleoperação de VTNT e adaptado para a missão em questão.....	81
Figura 38 - Questionário SAGAT.....	83
Figura 39 – Formulário com uma pergunta do método SAGAT.	84
Figura 40 – Visualizador de Log gerado pelo simulador de VTNT.	85
Figura 41 – Visualização na forma de planilha.....	86
Figura 42 – Visualização na forma de gráfico.	86
Figura 43 – Visualização na forma de trajetória percorrida pelo VTNT.	87
Figura 44 – Associação da simulação com os dados gerados pelo SAGAT.....	88
Figura 45 – Sala de Teste.	90
Figura 46 – Mapa do local remoto virtual disponibilizado para o testador.....	93
Figura 47 – Testador utilizando a ECI.	93
Figura 48 – Momentos de uso intenso do <i>joystick</i> e da câmera embarcada na ECI.	95
Figura 49 – Todos os registros de uso da ECI.	96
Figura 50 – Amostra comparativa de navegação com ECI e ECC.....	97
Figura 51 – Fusão de todas as trajetórias reunidas em uma só imagem.	97
Figura 52 – Trajetórias para contorno de balizas.	99
Figura 53 – Trajetórias para busca por vazamentos.	99
Figura 54 – Abordagem alternativa na busca por vazamentos.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distância entre operador e máquina operada [YAN02].	20
Tabela 2 – Totalização de valores gerados no simulador de VTNT.	101
Tabela 3 – Totalização dos valores relacionados a CS.	102

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO E TRABALHOS RELACIONADOS	15
2.1	CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	15
2.2	VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS.....	21
2.2.1	VEÍCULOS TERRESTRES NÃO TRIPULADOS.....	23
2.2.2	ARQUITETURA DE EMPREGO DOS VNT.....	25
2.3	PROBLEMAS NA OPERAÇÃO DOS VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS	32
2.4	TECNOLOGIAS APLICÁVEIS A TELEOPERAÇÃO DE VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS.....	33
2.4.1	REALIDADE VIRTUAL.....	33
2.4.2	TELEPRESENÇA IMERSIVA.....	37
2.4.3	REALIDADE AUMENTADA.....	38
2.4.4	INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS.....	42
2.5	AVALIAÇÃO DE SISTEMAS PARA A OPERAÇÃO DE VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS.....	44
2.5.1	MÉTRICAS DE INTERAÇÃO HOMEM-ROBÔ.....	45
2.5.2	NAVEGAÇÃO.....	46
2.5.3	PERCEPÇÃO.....	46
3	SISTEMA DE CONTROLE E NAVEGAÇÃO DE VTNT	51
4	AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE E NAVEGAÇÃO.....	68
4.1	CENÁRIO DE TESTE SIMULADO	69
4.2	SIMULADOR DE VTNT.....	74
4.3	MEDIÇÃO DA EFICIÊNCIA DE NAVEGAÇÃO	78
4.4	MEDIÇÃO DE CONSCIÊNCIA SITUACIONAL	79
4.5	VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	84
4.6	TESTE PILOTO.....	88
4.7	TESTE DE VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO	90
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	94
5.1	RESULTADOS RELACIONADOS À EFICIÊNCIA DE NAVEGAÇÃO.....	94
	RESULTADOS RELACIONADOS À CONSCIÊNCIA SITUACIONAL	102
6	CONCLUSÃO	104
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
	APÊNDICE A.....	110

1 INTRODUÇÃO

Existem situações em que a ação humana pode ser necessária em um local inacessível ou perigoso, ou ambos, podendo esse local ser previamente conhecido ou não. O fato de um local ser inacessível ou perigoso implica a necessidade de manter o ser humano separado e distante dele. No contexto deste trabalho, este local distante do ser humano é denominado local remoto.

Um local pode ser considerado perigoso para o ser humano por diversas razões. Por exemplo, ele pode armazenar ou esconder material tóxico ou explosivo, apresentar risco de desabamento, estar situado em uma zona de violência urbana, ser um possível alvo de terroristas e até mesmo estar situado em uma zona de guerra.

Da mesma forma, um local pode ser considerado inacessível para o ser humano pela dificuldade de se chegar ou permanecer nele. Esta dificuldade pode estar relacionada, por exemplo, à distância a ser percorrida para alcançá-lo, ou ao tamanho do local em relação ao tamanho do corpo de um ser humano adulto. A busca por explosivos escondidos na parte inferior de automóveis é um exemplo de situação em que o local é pequeno demais para a presença humana, além de ser perigoso.

Uma forma de executar a ação humana em um local remoto é enviar até lá um dispositivo eletromecânico que possua funcionalidades e capacidades físicas específicas. Estas funcionalidades e capacidades devem permitir a execução das atividades que seriam realizadas pelo ser humano caso ele estivesse no local remoto, tais como mover-se no local, observá-lo, coletar dados ou manipular e coletar material. Desta forma, estas funcionalidades e capacidades permitem que o dispositivo assuma o lugar do ser humano no local remoto.

A estrutura física do local remoto, os eventos que lá ocorrem e a dificuldade de execução da tarefa a ser realizada podem implicar em uma situação complexa o suficiente para não permitir que o dispositivo atue de forma autônoma ou supervisionada, com ou sem inteligência artificial. Neste caso, o ser humano precisa operar o dispositivo em tempo real e de forma contínua. Assim, a tarefa realizada pelo dispositivo ocorre conforme o comando humano, como e quando este desejar.

A separação entre o operador humano e o dispositivo torna necessário que este possa ser controlado à distância. Considerando que o dispositivo é controlado em tempo real e de forma contínua, operador e dispositivo precisam estar em constante comunicação. Neste caso, diz-se que o dispositivo é **teleoperado** pelo fato do operador

não estar junto dele no momento em que o opera e por esta operação ocorrer utilizando o recurso da telecomunicação.

O **Veículo Não Tripulado (VNT)** é um exemplo de dispositivo móvel teleoperado. Dentre os vários tipos de VNT existentes, tanto terrestres quanto aéreos e aquáticos, este trabalho dá ênfase ao **Veículo Terrestre Não Tripulado (VTNT)**. Em geral, este tipo de veículo possui uma câmera embarcada, a qual capta imagens do local remoto. O veículo transmite em tempo real essas imagens para o seu operador, o qual as visualiza em um monitor. Ao mesmo tempo, também em tempo real, e a partir de uma estação de controle dotada de um "*joystick*", o operador pode especificar comandos a serem enviados para o VTNT para que este se mova ou execute outras operações.

Dois funcionalidades importantes relacionadas à teleoperação dos VNT são a capacidade de mover-se no local remoto (navegar) e de observar este local. Também é desejável que o VNT seja capaz de navegar até o local onde executará suas tarefas e de lá possa sair. Essas funcionalidades são importantes pelo fato de estarem associadas a tarefas complexas que valorizam o emprego do VNT, tais como a busca, a exploração e a vigilância. Um exemplo de tarefa de busca é a procura por sobreviventes em um desabamento.

Uma das dificuldades relacionadas à teleoperação de um VNT está associada ao fato do operador não estar dentro do veículo que opera, mas sim fora e distante dele. Além disso, ele pode não ser capaz de ver diretamente o VNT por se encontrar isolado dentro de uma estação de controle cuja configuração de interface em geral oferece apenas um ou mais monitores para visualizar as imagens captadas por câmeras fixas instaladas no VNT. Esta situação faz com que o operador tenha uma baixa percepção da situação atual e futura do veículo no local remoto e do próprio local remoto. Esta percepção e entendimento de situação atual e futura é denominada por Endsley [END00] de **Consciência Situacional (CS)**. Ela abrange o entendimento das informações, eventos e ações que irão impactar na execução e nos objetivos das tarefas no momento atual e futuro próximo da operação do VNT.

Frente à dificuldade apresentada e devido ao crescente emprego dos VNT, torna-se cada vez mais necessário desenvolver sistemas que aumentem a CS do operador, auxiliando na operação deste tipo de veículo. Em face deste cenário, o presente trabalho propõe **um sistema de controle e navegação aplicável à operação de VTNT, caracterizado por empregar a fusão das tecnologias de Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e Telepresença Imersiva (TPI)**, tendo por objetivos

aumentar a CS do operador e a eficiência da navegação. Trata-se de um aparato composto por software e hardware para controle de VTNT no qual, por meio de um processo de visualização baseado em RV, é criado um ambiente imersivo de visualização, em tempo real, do local remoto no qual o veículo se encontra. Este ambiente imersivo permite ao operador sentir-se como se estivesse dentro do veículo. A imagem do local remoto onde o veículo se encontra é captada por câmeras posicionadas no veículo e é apresentada ao operador por meio de um **Head Mounted Display (HMD)**. As câmeras instaladas no veículo movem-se de acordo com os movimentos da cabeça feitos pelo operador, instalado dentro da estação de controle. Neste ambiente imersivo, utilizando também técnicas de RA, é sobreposta à visualização imersiva do local remoto, em tempo real, a representação gráfica de informações provenientes de múltiplas fontes, estando diretamente associadas ao mundo físico onde o VTNT se encontra.

A validação do sistema proposto é feita através da medição da CS do operador e da eficiência da navegação realizada. O método escolhido para medir CS é denominado **Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT)** [END00].

Além desta Introdução, este documento é composto por mais cinco capítulos. No capítulo 2, são descritos e contextualizados na pesquisa científica os conceitos ligados a teleoperação, telepresença, RV, RA, e sua relação com os VNT. Ainda no capítulo 2 é apresentada uma visão geral dos VNT e métricas de validação de sistemas relacionados. No capítulo 3 é apresentado o sistema de controle e navegação para VTNT sob o enfoque conceitual e de arquitetura de sistema. No capítulo 4 é apresentado o processo de validação do sistema proposto. No capítulo 5 é feita a análise dos dados obtidos no processo de validação e apresentadas as conclusões a respeito desta análise. O capítulo 6 é dedicado à conclusão deste trabalho, considerações finais e perspectivas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E TRABALHOS RELACIONADOS

Os VNT podem ser vistos hoje, também como uma área de pesquisa científica, recente em sua aplicação, mas baseados em conhecimentos técnicos a muito tempo dominados. Estes equipamentos são muito mais a junção de tecnologias do que uma tecnologia nova claramente delimitada. Este capítulo inicia apresentando os conceitos fundamentais relacionados aos VNT e os contextualiza na pesquisa científica. Ele também descreve os VNT, os problemas relacionados à operação destes e as tecnologias que podem ser empregadas no desenvolvimento de sistemas aplicáveis aos VNT. A apresentação de métricas utilizadas na avaliação desses sistemas conclui o capítulo.

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Nos dias de hoje existem diversas situações de risco à vida humana em que máquinas computadorizadas são empregadas no lugar do ser humano. Por exemplo, robôs são utilizados em tarefas como a busca e resgate de vítimas de desastres em ambiente urbano [CAS02][CAS03] e na manipulação e limpeza de material tóxico [BRU02]. Conforme foi visto na Introdução, o emprego dessas máquinas nessas situações requer que o ser humano que as controla e monitora, denominado "*operador*", fique afastado do local onde elas se encontram. Nesse caso, o homem se faz presente no local distante ou perigoso, também denominado "*remoto*", trocando a sua presença pela presença de uma máquina que é posicionada no local remoto, a qual ele comanda à distância e em tempo real. Esta máquina realiza o trabalho desejado pelo seu operador conforme os comandos que este especifica.

O controle de máquinas ou sistemas à distância é denominado "*teleoperação*". A teleoperação pode ser utilizada nas situações em que se deseja realizar um trabalho em um determinado local sem expor o ser humano aos riscos associados a tarefa a ser realizada, ao local em que a máquina se encontra, e a operação da máquina propriamente dita. Para Sheridan [SHE95] a principal vantagem que a teleoperação oferece é a segurança que ela gera para o ser humano.

No contexto da teleoperação, o conceito de distância é utilizado não apenas no seu sentido exato, significando a distância que separa o operador da máquina operada, Ele também significa que o operador não interage diretamente com a máquina, não estando perto ou mesmo dentro dela.

Para que a teleoperação seja bem sucedida, é importante que seja criado no operador algum senso de presença no local remoto. Sheridan [SHE92] denomina este senso de presença de "telepresença" e a define como sendo a sensação de se estar em um local diferente daquele em que se está de fato. Para Sheridan, a telepresença ocorre quando o operador recebe informação suficiente a respeito da máquina e do ambiente onde ela se encontra, sendo que esta informação é apresentada de uma forma tal que o operador sente-se fisicamente presente no local remoto.

Assim, telepresença e teleoperação implicam tanto em atuar no local remoto, no sentido do trabalho a ser realizado no local, quanto em fazer com que o operador receba informações desse local. A atuação ocorre através de ações que afetam e alteram o local remoto por intermédio de equipamentos atuadores lá localizados. As informações recebidas são obtidas principalmente por equipamentos capazes de filmar o local remoto e realizar leituras de dados físicos através de sensores.

Sheridan [SHE95] formula vários conceitos relacionados à teleoperação. Ele define "*teleoperador*" ou o artefato que está sendo operado à distância, como sendo uma máquina que habilita um operador humano a manipular e sentir mecanicamente objetos à distância. O teleoperador é caracterizado de forma geral por possuir sensores e atuadores que podem ser utilizados na realização de manipulação ou na sua própria mobilidade, além de possuir um meio de comunicação com o seu operador. Durlach [DUR95], por sua vez, define "*sistema teleoperado*" como sendo uma máquina que assume a forma de uma ferramenta eletromecânica contendo sensores e atuadores, e que estende a capacidade motora e sensorial do seu operador permitindo-lhe manipular e sentir o ambiente de uma maneira alternativa. Segundo Yanco et al [YAN02], o ROBONAUT (Figura 1) desenvolvido pela NASA é um exemplo de teleoperador. Este robô pode ser controlado tanto a partir de uma espaçonave quanto a partir do solo, e seu operador usa luvas para mover as suas mãos e braços robóticos, bem como usa óculos especiais para ter a visão gerada a partir da câmera embarcada [AMB00].



Figura 1 – ROBONAUT [NASA]¹

De forma geral, qualquer ferramenta que estende a ação mecânica humana além do seu campo de alcance pode ser considerada um teleoperador. Nesse sentido, o teleoperador também pode ser caracterizado por não apresentar comportamento autônomo ou semiautônomo. Isto significa que seu operador humano possui total controle sobre ele e que cada uma de suas ações é o resultado de um comando emitido pelo seu operador.

Sheridan [SHE95] também compara robô com teleoperador, sendo a autonomia de comportamento a característica que os diferencia. Um "robô" é uma máquina que age de forma autônoma sobre um ambiente ao mesmo tempo em que o percebe. Sendo este comportamento autônomo resultado da sua capacidade própria de processamento de dados. O comportamento autônomo do robô está ligado ao uso de um computador embarcado que gera e controla este comportamento, de forma parcial ou total, baseado em dados proveniente de sensores instalados no próprio robô.

Embora o teleoperador também possa ter um computador embarcado, este não é utilizado na geração de comportamento autônomo, mas sim como uma interface para acionar sensores e atuadores também nele embarcados, conforme as ordens recebidas do operador, e também como uma forma de processar a comunicação que ocorre entre ele e o operador.

Mesmo que a teleoperação esteja associada ao teleoperador, Fong et al [FON01] considera que ela pode abranger desde o controle direto de um teleoperador até a supervisão do comportamento autônomo de um robô, podendo este controle ser exercido

¹ NASA, Jonathan Skillings, 04/02/2010
http://news.cnet.com/2300-11386_3-10002354.html
<http://robonaut.jsc.nasa.gov/R1/sub/telepresence.asp>
<http://robonaut.jsc.nasa.gov/R1/sub/images/Telepresence.jpg>

de forma compartilhada ou negociada entre o operador e o robô. Nessa perspectiva, Sheridan [SHE95] também define "*telerobô*". Apesar do nome, o telerobô pertence a uma subclasse dos teleoperadores e é definido como sendo uma máquina que atua como um robô ao mesmo tempo em que é monitorado por um supervisor humano que o reprograma quando necessário. Esta reprogramação é chamada de "*controle supervísório*". Qualquer máquina semi-autônoma que possui sensores, atuadores, um computador, e é controlada de forma supervísória, pode ser considerado um telerobô. Até mesmo plantas industriais e veículos automatizados de qualquer natureza podem ser considerados telerobôs [SHE95].

Além dos teleoperadores, robôs e telerobôs servirem para modificar o ambiente remoto, eles também permitem a obtenção de dados deste local através de sensores embarcados, tais como câmeras e sonares. Destes dados retornados para o operador, destaca-se a imagem obtida do local remoto e a sensação de profundidade que pode ser gerada durante a sua visualização. Além disso, esses dados também podem ser transformados em sensação tátil gerada através da vestimenta do operador ou em forças contrárias utilizadas na geração de resistência artificial aos comandos aplicados aos controles do teleoperador. Esta geração de sensação no operador aumenta a sua percepção do local remoto e seu grau de imersão nesse ambiente [DUR95].

Quanto à sua forma física ou mecânica, os teleoperadores, robôs e telerobôs podem se assemelhar ou não a forma humana. Diz-se que estas máquinas são "*antropomórficas*" quando se assemelham ou lembram a forma humana. Neste caso, por exemplo, os olhos são representados por câmeras montadas sobre uma "cabeça", sendo instalados sobre uma base móvel onde também existe um sistema de atuadores semelhantes a braços. Por outro lado, quando estas máquinas não se assemelham ou não lembram a forma humana, diz-se que elas são "*não-antropomórficas*" [SHE95].

Sheridan [SHE95], Sarris [SAR01], Kumar [KUM93] e Lidowski [LID08] listam as principais atividades, civis e militares, em que os teleoperadores, robôs e telerobôs podem ser empregados. No ambiente terrestre, destacam-se a busca e resgate de vítimas em desastres, naturais ou não, a coleta de dados meteorológicos, a vigilância de fronteiras, de linhas de transmissão de energia elétrica e de tubulações de petróleo, o levantamento de dados de solo, a detecção de incêndios florestais, a filmagem em tempo real de zonas de perigo, entre outros. No ambiente marinho, eles são utilizados em atividades relacionadas à exploração de petróleo, tais como a inspeção e manutenção de plataformas de petróleo e cabos submarinos. Na pesquisa em ambiente submarino, eles são utilizados em experimentos biológicos, observação geológica, buscas arqueológicas e

resgate em águas profundas. Na pesquisa espacial, são enviados ao espaço para coletar dados e enviá-los a Terra, enquanto são controlados de forma supervisória em um cenário com envio e recebimentos de dados com grande atraso na comunicação entre a Terra e a espaçonave telerobô. Nas operações militares, são utilizados na limpeza de campos minados, no reconhecimento e aquisição de alvos, em busca e salvamento, em guerra eletrônica, em espionagem, na observação avançada para artilharia, como link de dados entre estações de comunicação e em missões de combate. Os robôs e telerobôs também são utilizados em operações nas regiões onde há contaminação radioativa, química ou biológica. Nas usinas nucleares eles são utilizados na manipulação de lixo atômico. Em operações militares ou relacionadas à segurança pública, podem ser utilizados para desarmar explosivos ou na busca destes. Na medicina, teleoperadores são empregados em telediagnósticos ou podem executar cirurgias remotamente quando não é possível ter um médico presente [HIL98].

Yanco et al [YAN02] propõem uma maneira de classificar a interação que ocorre entre operador e teleoperadores, robôs e telerobôs, de forma direta ou supervisória, sob a ótica da Interação Homem-Computador (IHC).

Desde que os teleoperadores, robôs e telerobôs são sistemas computacionais desenvolvidos para o uso humano, Yanco et al [YAN02] consideram que a Interação Homem-Robô (IHR) pode ser considerada uma área de pesquisa dentro da IHC e seus conceitos podem ser construídos sob a perspectiva desta. A IHR abrange teleoperadores, robôs e telerobôs e é compatível com a teleoperação, pois considera o nível de autonomia da máquina variando de nenhum, no caso dos teleoperadores, até o total, no caso dos robôs. Além disso, ela contempla situações em que o operador está distante do robô.

Em função da IHC, Yanco et al [YAN02] definem uma classificação para a IHR. Esta classificação abrange o nível de autonomia dos robôs, o número de operadores em relação ao número de robôs operados, o suporte à decisão oferecido ao operador, o quanto é crítica uma operação, a distância entre o operador e o robô e o tempo que decorre entre um comando do operador e sua respectiva execução pelo robô.

Segundo esta classificação, o controle de um robô varia da teleoperação até a total autonomia do robô. O nível da IHR é medido pelo número de intervenções requeridas nesse espectro de variação. A interação constante é requerida no nível de teleoperação, na qual um ser humano controla o robô à distância. Um menor grau de interação irá requerer um maior grau de autonomia do robô. Já o nível de autonomia mede a porcentagem de tempo em que o robô permanece executando a sua tarefa sem a

necessidade de intervenção humana. A quantidade de intervenções requeridas mede a porcentagem de tempo em que o operador permanece controlando o robô. Os teleoperadores são totalmente controlados pelo operador e os robôs são totalmente autônomos. Entre estes dois extremos existe o compartilhamento de controle, sendo que o operador pode decidir se sobrepor às decisões do robô, bem como o robô pode desempenhar um controle adicional nos casos de perda de comunicação.

Ainda na classificação de Yanco et al [YAN02], a razão operadores por robôs representa o número de operadores sendo utilizados para controlar um determinado número de robôs ao mesmo tempo. O suporte à decisão oferecido ao operador está relacionado ao tipo de informação que é disponibilizada para ele tomar decisões durante a teleoperação. As informações disponibilizadas estão relacionadas ao número de sensores utilizados, ao tipo dos sensores, a fusão de informações e ao pré-processamento de dados. A importância de uma tarefa ser feita corretamente e atingir seu objetivo está relacionada a quanto uma operação pode ser crítica, no sentido dos efeitos negativos de uma operação mal sucedida.

Finalmente, a distância entre o operador e o robô e o tempo que decorre entre um comando do operador e sua respectiva execução pelo robô pode ser categorizada pela combinação de quatro situações, apresentada nas Tabela 1.

Tabela 1 – Distância entre operador e máquina operada [YAN02].

		Tempo	
		Igual	Diferente
Espaço	Igual	Exemplo: Cadeira de rodas robótica.	Exemplo: Robô em chão de fábrica.
	Diferente	Exemplo: Busca e resgate.	Exemplo: Exploração espacial.

Além dos assuntos tratados pela classificação da IHR, há outras questões que estão ligadas a quanto uma operação é crítica, ao nível de autonomia concedido ao robô e a relação dessas questões com o tipo de trabalho a ser executado nas condições do local remoto. Estas questões referem-se à organização física do local, aos eventos que lá ocorrem, e a complexidade das tarefas a serem realizadas.

Um local é denominado não estruturado quando sobre ele não há informações ou sua estrutura física (ou mesmo geográfica) não está mapeada ou não possui um padrão estrutural. Um campo minado pode ser um exemplo de local não estruturado, caso ele não tenha sofrido um mínimo mapeamento prévio. Já o chão de fábrica de uma indústria automatizada pode ser um exemplo de local estruturado. Quanto mais não estruturado é um local, mais difícil é implementar no robô ou telerobô um comportamento autônomo ou supervisionado.

No que diz respeito à execução de tarefas, estas podem ser complexas o suficiente para não permitir sua execução por máquinas que atuem de forma autônoma ou supervisionada, com ou sem inteligência artificial. Em vista disso, seu emprego nessas situações pode ser considerado inviável.

Assim sendo, no contexto da IHR e frente a situações críticas em que seja possível o emprego de máquinas computadorizadas, e levando em consideração o atual estágio de desenvolvimento da inteligência artificial, uma opção viável e segura nestes casos é o emprego de um teleoperador. Se por um lado o teleoperador não tem autonomia total ou parcial de comportamento, ele é útil nas situações em que não pode ser concedida autonomia para a máquina. Neste caso o operador comanda o teleoperador em tempo real e de forma contínua, sendo que as tarefas são realizadas através do teleoperador, como e quando o operador deseja.

2.2 VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS

No contexto da telepresença, uma opção para observar melhor o local remoto é movimentar o teleoperador, alterando a posição dos seus sensores e a própria posição do teleoperador no local remoto.

Mover-se no local remoto e observar este local são ações importantes pelo fato de estarem associadas a tarefas complexas que valorizam o emprego dos teleoperadores. Em determinados tipos de tarefas como, por exemplo, a busca por pessoas em desabamentos, é imprescindível que o teleoperador possa mover-se e filmar o local em tempo real. Além disso, é desejável que o teleoperador seja capaz de chegar sozinho no local onde executará sua tarefa principal e de lá seja capaz de sair.

A capacidade de se mover e de se posicionar melhor no local remoto implica na ação de navegar nesse local. Por navegação entende-se a execução de um deslocamento de um ponto de partida até seu ponto de destino. Nesse caso, tanto a

navegação pode resultar em uma melhor observação do local quanto a melhor observação do local pode propiciar maior eficiência e segurança na navegação.

Neste sentido, o teleoperador precisa ser capaz de se mover sozinho, obedecendo aos comandos de movimentação especificados pelo seu operador. É natural que nesse caso a configuração física do teleoperador possua funcionalidades no mínimo semelhantes às de um veículo com rodas. Entretanto, a presença de rodas não é obrigatória, sendo que o veículo pode ser equipado, por exemplo, com pernas Mecânicas [GAG95].

A capacidade de observação do local remoto implica em instalar no teleoperador uma ou mais câmeras cujo objetivo é captar a imagem do local remoto. Esta imagem é então transmitida para o local onde o operador se encontra, em tempo real. O operador observa a imagem recebida através de um monitor ou dispositivo equivalente.

Conforme foi visto na Seção 2.1 os teleoperadores também podem ser construídos na forma de veículos que não são tripulados. Sheridan [SHE95] define um **Veículo Não Tripulado (VNT)** como sendo um teleoperador móvel. Gage [GAG95] define um veículo teleoperado como sendo um sistema no qual a orientação da navegação é transmitida para o veículo a partir de um operador humano que não está situado dentro do veículo.

Os VNT são classificados como não-antropomórficos por não se assemelharem a forma humana. Automóveis, aviões, barcos e submarinos, em todas as suas formas possíveis, podem ser empregados como VNT. Para Sheridan [SHE95], a principal característica do comportamento deste tipo de teleoperador é a capacidade de mover-se no ambiente em que está situado. O VNT, no contexto da teleoperação, herda dos teleoperadores suas características e vantagens e as estende. Devido ao fato do operador não se encontrar no interior do veículo, ele não é exposto ao desgaste físico para chegar ao local remoto, às condições do local em que o VNT se encontra, aos riscos associados à tarefa a ser realizada e à operação do VNT propriamente dita.

A teleoperação de veículos é definida de forma sucinta por Fong et al [FON01] como sendo a "*operação de veículos à distância*", sendo o veículo um teleoperador ou telerobô que possui a capacidade de se mover sozinho no ambiente. Para Fong et al [FON01] os teleoperadores móveis podem ser empregados em ambientes de difícil acesso ou como forma de baixar os custos de uma operação.

Segundo Franklin [FRA08], o principal argumento a favor da utilização do VNT é que ele é a melhor opção quando existe a necessidade de seres humanos operarem em

ambientes conhecidos como "*Dull, Dirty, Dangerous and Deep*" (4D). No caso, "*Dull*" ou monótono se refere ao aspecto repetitivo das missões ou a missões que requerem persistência, como por exemplo, operar por longas horas, excedendo a capacidade humana de operar de forma ininterrupta. "*Dirty*" ou sujo se refere a ambientes nos quais há ameaças de cunho radioativo, biológico ou químico. "*Dangerous*" ou perigoso são as tarefas nas quais há alto risco para a tripulação do veículo. Finalmente, "*Deep*" ou profundo se refere às atividades nas quais o alcance ou raio de ação da operação excede a capacidade dos veículos tripulados.

2.2.1 VEÍCULOS TERRESTRES NÃO TRIPULADOS

A teleoperação de veículos pode ser empregada tanto em ambiente terrestre quanto aéreo e aquático [FON01]. Quando o veículo é empregado no solo ele é denominado **Veículo Terrestre Não Tripulado (VTNT)**. Gage [GAG95] define um VTNT como sendo qualquer equipamento mecanizado que se move no solo e que é utilizado para transportar qualquer coisa, exceto um ser humano. Para o autor, uma forma de classificar os VTNT pode levar em conta o propósito do desenvolvimento do VTNT, a razão específica para escolher o VTNT (limitação de espaço, ambiente perigoso), custo, desempenho, o tipo de ambiente onde o VTNT irá operar (externo, interno, estradas, terreno acidentado, fundo do mar), o modo de locomoção (rodas, esteiras, pernas) e finalmente a forma através da qual ele escolhe sua trajetória.

Fong et al [FON01] classifica os VTNT em três categorias: exploradores, militares e aqueles empregados em tarefas perigosas. Os VTNT exploradores são aqueles empregados em pesquisa científica na tarefa de coleta de dados. O veículo Sojourner (Figura 2) é um exemplo de VTNT explorador. Ele foi lançado no espaço em 1996 como parte de uma missão para analisar a composição do solo e da atmosfera do planeta Marte.



Figura 2 – Sojourner [FON01]

Os VNT militares são utilizados em tarefas que requerem navegação remota tais como reconhecimento e vigilância. Na década de 1980, um centro de pesquisa norte americano denominado Naval Ocean Systems Center desenvolveu dois VTNT, denominados TeleOperated Dune Buggy e TeleOperated Vehicle (Figura 3), ambos dotados de um sistema de câmeras estéreo. Estes veículos eram guiados através de um sistema de vídeo estéreo e serviram para demonstrar a viabilidade de emprego dos VTNT em cenários naturais e complexos, bem como sistemas de armas embarcados operados remotamente [FON01]².



Figura 3 – TeleOperated Dune Buggy (SPAWAR Systems Center) e TeleOperated Vehicle (SPAWAR Systems Center).

Os VNT empregados em tarefas perigosas são utilizados em situações tais como aquelas que envolvem a busca e manipulação de explosivos ou material tóxico. A Figura 4 apresenta o iRobot 510 PackBot sendo utilizado na observação de um local remoto perigoso.

² <http://www.public.navy.mil/spawar/Pacific/Robotics/Pages/DuneBuggy.aspx>
<http://www.public.navy.mil/spawar/Pacific/Robotics/Pages/TOV.aspx>



Figura 4 – Soldado arremessa um PackBot por uma janela, para que suas câmeras de vídeo permitam a visão de dentro do recinto e entrada segura.

No presente trabalho, é utilizado um modelo conceitual de VTNT, a partir do qual serão propostas modificações. Este veículo tem aparência e comportamento semelhantes a um automóvel, utiliza rodas para se mover, sendo as dianteiras responsáveis pelo direcionamento e as traseiras pela tração. O veículo dispõe ainda de uma câmera que aponta para frente, e que não pode ser movimentada, representando a orientação normal dos olhos do motorista.

A opção feita pela semelhança com um automóvel tem por vantagem o fato de ser fácil encontrar um operador familiarizado com este tipo de máquina, acrescentando intuitividade natural à sua operação. Outra vantagem é que sua operação e seu comportamento básico são comuns a veículos subaquáticos, aquáticos e aéreos também, fazendo com que as ideias aqui propostas possam ser aplicadas em outros tipos de VNT.

2.2.2 ARQUITETURA DE EMPREGO DOS VNT

Os três principais componentes da arquitetura de emprego de um VNT são a **Estação de Controle (EC)** com seu respectivo software e hardware, o VNT e seu software embarcado e uma infraestrutura de comunicação de dados entre a EC e o VNT. A Figura 5 apresenta um exemplo dessa arquitetura de teleoperação de VNT.



Figura 5 – Tele Operated Dune Buggy (SPAWAR Systems Center)

Nesta arquitetura, descrita de forma semelhante por Zhi-Hua et al [ZHI08], o VNT possui uma ou mais câmeras embarcadas cujo objetivo é captar a imagem do local remoto, além de outros sensores. A EC possui os controles manuais que permitem comandar o VNT e um ou mais monitores, nos quais são apresentadas as imagens captadas pelas câmeras embarcadas no VNT.

O operador manipula os controles na EC e com isto gera os comandos de controle do VNT que são enviados ao VNT através da infraestrutura de comunicação de dados. Simultaneamente, as câmeras embarcadas no VNT captam as imagens do local remoto que as envia para a EC, pela mesma infraestrutura de comunicação.

A EC apresenta as imagens recebidas nos seus monitores, os quais são observados pelo operador. Este, com base nas imagens apresentadas, decide quais serão os próximos comandos a serem enviados ao VNT. Nesta situação, o operador dirige o veículo como se estivesse dentro dele e olhando para frente do veículo.

Segundo Sheridan [SHE95], nos monitores da EC podem ser apresentadas informações tais como um mapa de navegação, as condições climáticas do local remoto e os dados relacionados ao próprio veículo. Para Fong et al [FON01], esta teleoperação de VNT é caracterizada por possuir dois laços separados e independentes de processamento. Em um dos laços, o operador do VNT, situado na EC, gera comandos para o VNT enquanto recebe e visualiza os dados e informações gerados pelo VNT. No outro laço, o VNT executa os comandos recebidos e obtém dados através de seus sensores. Separando estes dois laços há uma barreira que pode ser descrita como uma combinação de fatores tais como localização física, distância e tempo.

Os comandos recebidos pelo VNT são transformados em atuação física no local remoto ou em alteração da configuração do software ou hardware do próprio VNT. Os dados obtidos pelo VNT através dos seus sensores podem ser tanto do local remoto quanto do estado do próprio veículo.

A infraestrutura de comunicação de dados é responsável por permitir que os comandos possam ser enviados para o VNT e os dados obtidos pelo VNT possam ser enviados para a EC, constituindo-se assim pré-requisito para a operação dos VNT. Esta infraestrutura pode ser composta por um meio de transmissão de dados, uma interface para este meio de transmissão, presente na EC e no VNT, um protocolo de comunicação de dados e uma camada de software que troque dados através desse protocolo. Um exemplo de infraestrutura de comunicação pode ser visto em Lin et al [LIN05]. O autor propõem o controle de um VNT através de telefonia celular e baseado nos protocolos TCP/IP e UDP/IP.

As seções a seguir detalham a estrutura dos VNT, EC e a comunicação de dados.

2.2.2.1 VEÍCULO NÃO TRIPULADO

Um VNT é formado por um conjunto de módulos de hardware e software que interagem de tal forma a executar os comandos recebidos da EC, coletar dados do local remoto e do próprio veículo e enviá-los para a EC. Este conjunto de módulos varia conforme o tipo de VNT e sua missão.

Para o caso de um VTNT de uso geral, possíveis módulos de hardware englobam sua estrutura mecânica, o fornecimento e distribuição de energia e diversos módulos elétricos e eletrônicos. A estrutura mecânica é formada pelo chassi do veículo, o mecanismo de direcionamento do próprio veículo e o motor de tração. Ela também é responsável por alojar os demais módulos. O fornecimento e distribuição de energia são compostos de uma ou mais baterias, cabeamentos e demais dispositivos relacionados. Os módulos elétricos e eletrônicos podem ser divididos em módulos fixos pertencentes ao veículo e módulos de carga paga, os quais variam conforme o uso que será feito do VTNT.

Os principais módulos elétricos e eletrônicos fixos em um VTNT são uma unidade central de processamento, uma interface de comunicação de dados, sensores com suas respectivas interfaces, motores elétricos e servo-atuadores com suas respectivas interfaces.

A unidade central de processamento é o principal computador embarcado no VTNT e é responsável pelo controle e gerenciamento de todo VTNT, bem como pelo controle dos demais módulos. A interface de comunicação de dados é responsável pela troca de dados com a EC. Os atuadores podem ser formados por servo-motores responsáveis pelo direcionamento das rodas do veículo e pelo posicionamento ou orientação de sensores,

como, por exemplo, as câmeras instaladas no VTNT. Os sensores tanto podem fazer parte do veículo quanto da carga, variando conforme a missão do VTNT. Eles são responsáveis pela coleta de dados do local remoto e do próprio veículo. Exemplos de sensores que podem pertencer ao veículo são as câmeras de visualização do local remoto, sensor de posição (GPS), sensor de direção (bússola), sensores de inclinação, sensor de nível da bateria e sensores de rotação de eixo (distância percorrida, direção das rodas, orientação das câmeras). Já a carga paga contém, de forma predominante, sensores específicos para cada missão, como por exemplo, sensor de nível de radioatividade ou sensores específicos de substâncias químicas.

Um exemplo de estrutura de VTNT é apresentada por Anderson et al [AND06] na Figura 6, na qual constam uma câmera digital, uma bússola, um modem, um sensor de posição de eixo, um módulo de transferência de vídeo e uma CPU, além da própria estrutura do veículo.

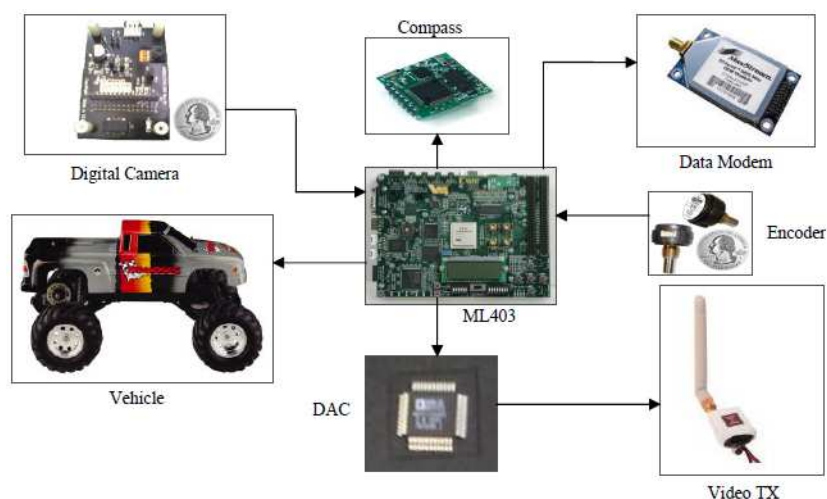


Figura 6 – Exemplo de componentes de um VTNT [AND06].

2.2.2.2 ESTAÇÃO DE CONTROLE

A EC pode ser considerada o sistema ou a interface pela qual um operador controla um VNT. Ela capta os movimentos que o operador aplica nos periféricos de controle manual e os converte em dados que descrevem os movimentos a serem executados pelo VNT ou em dados que configuram o VNT. Ao mesmo tempo, ela também permite que o operador visualize o local remoto onde o VNT se encontra e os dados coletados pelo VNT.

Para Fong et al [FON01], a interface utilizada em uma EC para VNT deve prover um meio de perceber o local remoto, tomar decisões e gerar comandos de controle. De

forma geral, esse tipo de interface também tenta maximizar a informação transferida do VNT para a EC, enquanto tenta minimizar o trabalho cognitivo e motor do operador. O autor também ressalta que a importância da EC não diminui à medida que o nível de autonomia do veículo aumenta. Mesmo na utilização de um robô, caracterizado por operar de forma autônoma, ainda é necessário disponibilizar ao operador uma forma de observar o comportamento do robô e até mesmo intervir quando este encontra problemas para completar sua tarefa.

Quanto aos tipos de EC, Fong et al [FON01] chama de EC "*direta*" aquela em que o operador controla o VNT através de controles manuais, tal como um *joystick*, ao mesmo tempo em que monitora o comportamento do VNT através de um retorno visual. No retorno visual direto, o operador observa diretamente o VNT no local remoto sem utilizar qualquer dispositivo que o auxilie nessa observação. Já no retorno visual indireto, o operador visualiza, em um ou mais monitores, a imagem do local remoto captada por uma ou mais câmeras instaladas no VNT. A Figura 7 apresenta um exemplo de EC direta de retorno visual indireto.



Figura 7 – Estação de controle do VTNT GUARDIAN³, utilizado em operações de destruição de material explosivo.

No contexto deste trabalho, uma **Estação de Controle Convencional (ECC)** pode ser considerada um sistema integrado de hardware e software composto por um computador pessoal padrão no qual estão instalados um monitor, um teclado, um mouse e um *joystick*. No monitor são apresentadas as imagens captadas pela câmera fixa instalada no VNT. O teclado e o mouse são empregados em procedimentos de gerenciamento dos softwares e periféricos instalados na estação. Já o comportamento

³ http://www.armedforces-int.com/gallery/ab_precision_product_gallery/ab_image_3_01.html

característico de automóvel do VNT é comandado pelo *joystick*. A ele estão associados comandos de direcionamento, aceleração e freio. No corpo do *joystick* estão instalados botões que permitem a execução de tarefas adicionais configuráveis. O software da ECC gerencia todas essas funcionalidades.

2.2.2.3 COMUNICAÇÃO ENTRE ESTAÇÃO DE CONTROLE E VEÍCULO

Todo VNT do tipo teleoperador precisa disponibilizar uma interface através da qual ele possa ser controlado. Esta interface não pode estar instalada na estrutura física do VNT, pois isto implicaria na necessidade de manter o operador fisicamente junto ao VNT, situação característica dos automóveis, por exemplo. Assim sendo, a interface precisa ser separada do VNT e estar junto do operador do VNT.

O fato de a interface estar separada do VNT implica a necessidade de uma forma de comunicação entre ambos. Pode-se dizer que não existe teleoperação sem comunicação de dados. Dependendo do tipo de VNT sendo empregado, a comunicação de dados pode representar um dos seus maiores subsistemas [DSB04]. Ela pode ocorrer tanto em link direto entre a estação e o VNT quanto pode necessitar, por exemplo, do auxílio de um satélite [DSB04].

No contexto do emprego dos VNT, o meio de comunicação entre ambos pode ser com ou sem fio. A comunicação com fio é caracterizada pela união física entre VNT e EC através de um cabo de comunicação, sendo que este cabo possibilita preservar a distância entre EC e VNT. Nesse tipo de comunicação, a qualidade da transmissão de dados não é prejudicada por obstáculos físicos situados entre a estação e o VNT. Porém, ela pode ser utilizada apenas nos casos em que a distância entre operador e VNT é pequena ou a movimentação do VNT não sofra interferência do cabo, limitando o seu uso a situações específicas tais como a busca por pessoas em desabamentos. A Figura 8 mostra esse caso onde um VNT é inserido em um tubo de esgoto, na busca por vítimas no World Trade Center [CAS03].



Figura 8 – VNT sendo inserido em um tubo de esgoto, na busca por vítimas no World Trade Center [CAS03].

Já a comunicação sem fio possibilita maior mobilidade do VNT, porém a qualidade da transmissão de dados pode ser afetada por diversos fatores, tais como distância e presença de obstáculos físicos ou condições atmosféricas. A distância máxima entre o VNT e a estação depende da tecnologia utilizada.

Um exemplo de tecnologia utilizada na comunicação sem fio é o padrão IEEE 802.11 (ethernet sem fio). Zeiger et al [ZEI07], por exemplo, apresenta um protocolo específico para o controle de VNT através de uma rede sem fio do tipo IEEE 802.11, de topologia dinâmica. No sentido da comunicação do VNT para a EC, uma grande largura de banda pode ser necessária para suportar a transmissão de dados coletados por sensores embarcados, como por exemplo, a imagem captada por uma ou mais câmeras instaladas no veículo. Por outro lado, a mesma comunicação de dados requer uma faixa de poucos Kbps nas transmissões relacionadas aos comandos de controle do veículo oriundo da EC.

A comunicação relacionada a teleoperação precisa ser robusta, pois sua interrupção pode implicar no descontrole do veículo. Para Zeiger et al [ZEI07] é importante que um VNT tenha pelo menos a capacidade de estabilizar a sua operação quando ocorre a perda de comunicação. Nesse caso, espera-se que o veículo pare de se movimentar até que a comunicação seja reestabelecida. Para isso, o VNT também precisa ser capaz de detectar quando ocorreu a interrupção da comunicação. Outra questão importante, segundo Zeiger et al [ZEI07], é a segurança da comunicação de dados, no sentido de evitar que o VNT seja controlado de forma não autorizada.

2.3 PROBLEMAS NA OPERAÇÃO DOS VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS

Um dos desafios enfrentados no desenvolvimento de tecnologia para ser empregada na operação de um VNT é criar funcionalidades que permitam ao seu operador realizar seu trabalho no local remoto de forma correta, precisa e segura, mesmo estando fora e distante do VNT. É preciso considerar também que este trabalho pode envolver tarefas tais como guiar o VNT até o local remoto, movê-lo nesse local e de lá fazê-lo sair.

Durante a execução do trabalho com o VNT, alguns problemas enfrentados pelo operador são a carga de trabalho envolvida, as limitações técnicas das câmeras instaladas no veículo, o atraso na comunicação entre o VNT e a EC, a falta de informações sensoriais por não estar dentro do VNT e a percepção insuficiente da situação do local remoto e da situação em que o VNT se encontra neste local.

Uma possível estratégia para aumentar a segurança da operação de um VNT em um local remoto não estruturado é fazer com que o nível de autonomia do VNT seja baixo ou inexistente. Isto implica deixar o veículo sob total controle do operador, o que resulta em maior carga de trabalho para este. Nesta situação, o operador dedica a maior parte da sua atenção para duas tarefas. A primeira é guiar o VNT, considerando ao mesmo tempo limitações relacionadas ao veículo ou a sua localização. A outra é a execução da missão propriamente dita, como por exemplo, uma busca.

Durante a execução dessas e outras tarefas, a comunicação de dados entre o VNT e sua EC pode sofrer atraso. Uma possível causa é a distância que separa a EC do VNT, como, por exemplo, na situação em que o VNT está sendo controlado via satélite [ERP01]. Embora para Ferrell [FER65] teleoperações complexas possam ser feitas em cenários de atraso na comunicação utilizando um método semelhante a uma sequência de pequenos ciclos de avançar e parar, este atraso diminui a segurança da teleoperação. Por exemplo, um comando para frear um VTNT pode chegar tarde demais ao veículo, não evitando que este colida com um obstáculo. Assim sendo, tarefas complexas ou perigosas, ou que tenham pouco tempo para serem realizadas, não deveriam ser executadas em cenários de grande atraso de comunicação.

Também o sistema de câmeras utilizado em um VNT pode dificultar sua operação. O limitado campo de visão proporcionado, a baixa resolução de imagem e o alcance insuficiente podem ocasionar, por exemplo, estimativas incorretas de distâncias e a obtenção de menos informação sobre o local em que o veículo se encontra [ERP01]. Além

da limitada capacidade de observação do local remoto, o operador também não dispõe das informações sensoriais que teria se estivesse dentro do VNT, tais como sons, vibrações e sensação de movimento.

Todas essas condições adversas contribuem para diminuir a percepção e o entendimento que o operador tem do que acontece e acontecerá no local remoto e do que acontece e acontecerá com o veículo, prejudicando seu nível de CS. Dessa forma, essas condições adversas resultam no operador do VNT sendo exposto a situações de baixa atenção e eficiência, gerando teleoperações potencialmente perigosas [ZHI08] [KOE02] [ERP01].

2.4 TECNOLOGIAS APLICÁVEIS A TELEOPERAÇÃO DE VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS

Não obstante os avanços obtidos até o presente momento no emprego da RV, da RA e da telepresença em diversas áreas da atividade humana, essas tecnologias continuam contendo territórios a serem explorados. No que diz respeito a sistemas de controle e navegação aplicáveis a VNT, eles podem ser considerados uma área de aplicação dessas tecnologias. Neste sentido, e considerando toda a infraestrutura necessária para a utilização dos VNT, é questão central neste trabalho a EC, pois é nela que são aplicados os conceitos de RV, RA e telepresença.

2.4.1 REALIDADE VIRTUAL

Segundo Cardoso et al [CAR07], a RV está presente hoje em diversas áreas da atividade humana, como por exemplo, na educação e na engenharia. Na educação, a RV age como um processo de exploração, descoberta, observação e construção de uma visão alternativa do conhecimento, oferecendo aos alunos uma nova perspectiva a respeito do objeto de estudo, potencializando o processo cognitivo desses alunos. Na engenharia, a RV pode ser utilizada como ferramenta de criação e avaliação de projetos, permitindo ao usuário testar e vivenciar em tempo real, da maneira mais realista possível, diversas alternativas de projeto.

Cardoso et al [CAR07] define Realidade Virtual como sendo um sistema computacional utilizado para criar um ambiente artificial no qual o usuário tem a sensação de estar dentro desse ambiente. Neste contexto, o usuário está capacitado a se deslocar dentro desse mesmo ambiente virtual e a interagir com objetos também virtuais de forma intuitiva e realista. A RV também pode ser descrita como uma interface homem-máquina

que possibilita ao usuário, imerso em um ambiente, navegar nesse ambiente e interagir com outros elementos da mesma forma imersos neste ambiente.

Pesquisadores da área de RV, como por exemplo, Vince [VIN98] e Burdea [BUR93] definem RV como sendo um tipo de interface na qual estão embutidos a interação através de múltiplos canais sensoriais suportados por simulação em tempo real, e como sendo também a projeção de algo que mesmo não existindo fisicamente, pode ser percebido pelo usuário como sendo real.

Segundo Pinho [PIN96], a RV envolve quatro componentes básicos: a imersão, a interação em tempo real, a simulação em tempo real e a interação direta com periféricos de interface com o mundo virtual. É importante observar que um sistema de RV tem de vir ao encontro de critérios tais como a necessidade de que a interação com o ambiente virtual seja intuitiva e imersiva, a renderização seja feita em tempo real, e o comportamento dos objetos presentes no ambiente virtual sejam simulados em tempo real.

No que se refere à imersão, a RV pode ser classificada como sendo de dois tipos, imersiva e não-imersiva. Segundo Cardoso et al [CAR07], na RV imersiva o usuário está isolado por completo do mundo real. Isto é possível através da utilização de dispositivos específicos para este fim, cuja função é tanto bloquear os sentidos do usuário em relação ao mundo real quanto fornecer informações a respeito do mundo virtual.

Em Durlach [DUR95], é dito que diversos periféricos associados à RV imersiva contribuem para maximizar, através dos canais sensoriais humanos, as sensações de realismo quando o usuário está imerso em um ambiente tridimensional sintético. Dentre os principais periféricos de interface com o ambiente virtual, pode-se destacar os capacetes, as luvas, os fones de ouvido e os rastreadores de posição.

No caso da RV não imersiva, o usuário não está isolado do mundo real. Neste caso ele interage com o mundo virtual através do uso de dispositivos convencionais. Para Cardoso et al [CAR07], sistemas de navegação interativos e jogos eletrônicos são exemplos da aplicação de RV não imersiva.

Ao considerar uma solução para a operação de VNT, os principais periféricos de RV são o Head Mounted Display (HMD), a CAVE (que pode ser considerada uma opção ao uso do HMD), os dispositivos de rastreamento da posição e da movimentação de partes do corpo humano, tais como cabeça e membros, e os dispositivos ditos "*hápticos*" [DUR95].

Segundo Durlach [DUR95] o HMD é um dispositivo que permite a total imersão no ambiente virtual sem a necessidade de utilização de outros dispositivos. Nele, as imagens exibidas estão de acordo com a orientação da cabeça do usuário e são atualizadas conforme a cabeça se movimenta. A captura dos movimentos da cabeça é feita através do uso de um dispositivo de rastreamento de posição.

O dispositivo denominado Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), criado por Cruz-Neira et al [CRU92], proporciona um ambiente imersivo de RV utilizando projetores que são direcionados para as paredes de um cubo formado por telas de projeção e onde o usuário permanece em seu interior.

O conceito de CAVE é utilizado, por exemplo, na construção de simuladores de voo [CRU92]. Na Figura 9 pode ser visto um exemplo de simulador de voo construído pela empresa Elbit/Aeroeletrônica e empregado pela Força Aérea Brasileira no treinamento dos pilotos da aeronave modernizada F-5M.



Figura 9 – Simulador de voo do avião de caça F-5M da FAB.

Os dispositivos de rastreamento de posição servem para determinar a posição ou a orientação de uma parte do corpo do usuário. O termo "*rastreamento de posição*" é definido em Durlach [DUR95] como sendo o processo de medir em tempo real a posição e a orientação de um objeto em movimento. Outras partes do corpo podem ter seus movimentos rastreados também, como por exemplo, as mãos e os dedos, melhorando assim a interação do usuário com o ambiente virtual.

Nos ambientes virtuais, há quatro tecnologias relacionadas a rastreamento de posição, sendo elas a mecânica, a que utiliza sensores magnéticos, uma relacionada a sensores ópticos e outra baseada em sensores acústicos. Dispositivos de rastreamento mecânico são

relativamente baratos, em geral apresentam mínimo atraso e possuem razoável precisão. Os dispositivos de rastreamento magnético são convenientes por serem de baixo custo, mas são também caracterizados por baixa precisão, pequeno alcance e alto tempo de resposta, na ordem de 20 a 30 milissegundos, além de serem suscetíveis a interferência magnética. Assim, em ambientes que fazem uso de equipamentos elétricos e eletrônicos, pode ser desaconselhável o seu uso. O rastreamento óptico é capaz de oferecer grande precisão e alcance. Os sensores de rastreamento acústico são vantajosos por serem de baixo custo e por apresentarem boa precisão e alcance. Seus pontos fracos estão relacionados a efeitos atmosféricos e ao efeito de eco [DUR95].

Finalmente, os dispositivos hápticos estão relacionados ao processo de manipulação e a sensação de retorno desse processo de manipulação. Uma definição para interfaces hápticas é dada em Durlach [DUR95], que as descreve como sendo um dispositivo que possibilita a interação manual com ambientes virtuais ou com sistemas remotos teleoperados. Dois exemplos de dispositivos hápticos são o *joystick* com "*force feedback*" e as luvas que geram a sensação de pressão [DUR95].

No que diz respeito da aplicação da RV na teleoperação, Durlach [DUR95] descreve a relação entre essas duas tecnologias. Na RV a máquina é um computador programável que gera ou sintetiza mundos virtuais com os quais o operador pode interagir. Este sistema de ambiente virtual busca alterar o estado do operador humano. Já o propósito do sistema teleoperado é sentir e manipular o mundo real. Pode-se dizer que o mundo real interfere no mundo virtual através de interfaces homem-máquina, enquanto o mundo virtual, no sentido contrário, pode no máximo prover limitadas sensações a quem está no mundo real.

No contexto da relação dessas tecnologias, duas das possíveis formas de emprego da RV no desenvolvimento de tecnologia para emprego nos VNT são o desenvolvimento de simuladores de VNT e de interfaces para a operação de VNT. Em Zhi-Hua et al [ZHI08] pode-se observar um exemplo de utilização de um conjunto de telas, seguindo o conceito de CAVE, no qual foi construída uma plataforma de simulação de VNT baseada em RV e telepresença.

Através da teleoperação, os dispositivos hápticos têm demonstrado significativa utilidade como geradores dessas sensações de retorno. Um exemplo do emprego de um dispositivo háptico é a emulação da sensação de dirigir um veículo teleoperado remotamente [BRA02]. Neste sistema, as forças e torques experimentados na sensação

de retorno da interface equivalem às forças reais caso o usuário estivesse realmente dirigindo o veículo.

Em um outro exemplo, Kaplan et al [KAP97] mostra um veículo controlado remotamente como parte de um sistema de telepresença funcionando através da Internet. Na parte frontal desse veículo foi instalada uma câmera apontando para frente, disponibilizando ao usuário que dirige o veículo remotamente a sensação de estar dentro do mesmo. O veículo e sua plataforma de operação podem ser vistos na Figura 10.

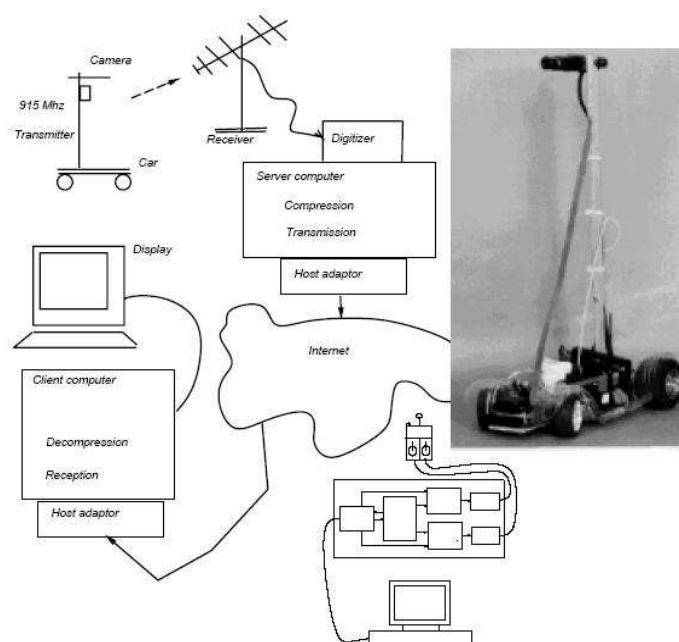


Figura 10 – Veículo utilizado em Kaplan et al [KAP97].

2.4.2 TELEPRESENÇA IMERSIVA

No contexto da telepresença, telepresença imersiva é definida como sendo a experiência na qual um operador humano "veste" um HMD, o qual controla um sistema remoto de câmeras de vídeo de acordo com o movimento da cabeça do operador humano, a partir dos dados coletados por um dispositivo de rastreamento de posição instalado no HMD. Assim, o usuário do HMD visualiza as imagens captadas pelas câmeras remotas como se estivesse com os olhos na mesma posição em que as câmeras estão e olhando na mesma direção em que as câmeras estão apontando [SHE95].

Para Sheridan [SHE95] a telepresença imersiva é definida como sendo a experiência na qual um operador humano pode observar o ambiente remoto como se lá estivesse, desconectando seus sentidos do local físico onde se encontra.

Neste contexto, a observação refere-se principalmente aos sentidos da visão, da audição e do tato. O mesmo autor define ainda telepresença virtual como sendo a

sensação de se estar em um local remoto que não existe na verdade, e que é gerado por processamento gráfico e sonoro.

2.4.3 REALIDADE AUMENTADA

Cardoso et al [CAR07] define Realidade Aumentada (RA) como sendo a amplificação da percepção sensorial por meio de recursos computacionais através da associação de dados computacionais ao mundo real. Neste sentido, a RA envolve a geração de elementos virtuais observáveis na visualização do ambiente real, de tal maneira que o usuário percebe esses elementos virtuais como se eles existissem no mundo real que ele está observando.

Caracterizam ainda a RA o processamento em tempo real, o relacionamento entre elementos virtuais e o ambiente real e também o movimento dos objetos reais, permitindo que suas posições sejam conhecidas e em consequência se possa fazê-los interagir com os objetos virtuais.

No que diz respeito aos objetos sobrepostos à visualização do mundo real, a RA precisa de dispositivos que permitam calcular o ponto de vista do usuário a partir da posição em que este se encontra no mundo real, e então gerar os elementos virtuais na posição correta sobre a visão do mundo real [AZU01]. Assim, também nas aplicações de RA se faz necessário o uso de dispositivos de rastreamento de posição. Eles são utilizados, por exemplo, para capturar o movimento da cabeça do usuário, permitindo assim o cálculo aproximado da direção do olhar do usuário para o mundo real.

Segundo Azuma [AZU97], as principais aplicações para a RA estão relacionadas ao emprego na medicina, nos processos de manufatura e reparo, na visualização de informações, no planejamento e pré-visualização da movimentação de robôs, no entretenimento e nas aeronaves militares.

Salientando uma destas aplicações, o planejamento e pré-visualização da movimentação de robôs, a RA pode ser utilizada como forma de atacar o problema da predição da movimentação do robô durante sua teleoperação, na condição em que há longos atrasos na comunicação entre o operador e o robô (Figura 11). Nestas circunstâncias, o operador pode preferir controlar uma versão virtual do robô, através da qual ele pode visualizar sobre o ambiente real no qual o robô verdadeiro se movimentaria, a movimentação do robô virtual, tendo a exata noção do espaço ocupado pelo robô real e podendo prever e prevenir situações nas quais o robô se chocaria com objetos do mundo real [AZU97].

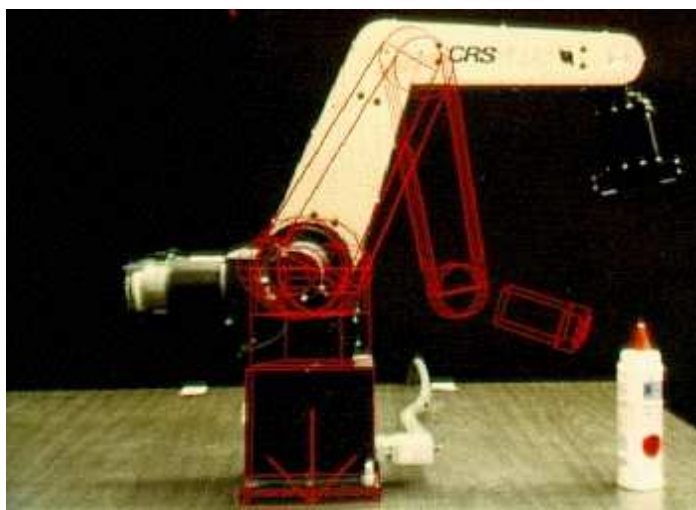


Figura 11 – Linhas virtuais mostram o planejamento da movimentação do braço do robô [AZU97]

O sistema de “mira” utilizado nos aviões da primeira e segunda guerra mundial foi a base para o desenvolvimento, décadas depois, de um dispositivo de auxílio ao piloto implementado de forma concreta por volta dos anos 70 em diversos aviões de caça [NEW95]. Este dispositivo, denominado Head-Up Display (HUD), permite ao piloto olhar para a frente do avião através de uma tela de vidro, como se fosse uma mira, e ao mesmo tempo observar nesta tela de vidro, informações relevantes sobre o voo ou sobre a aeronave. Através deste dispositivo, a RA tem estado presente nos aviões de caça antes mesmo de ser conhecida pelo termo Realidade Aumentada de fato. Na Figura 12 tem-se um exemplo de HUD militar.



Figura 12 – Uso militar de um HUD na aeronave F-5E.

O HUD foi definido por Newman [NEW95] como um visualizador posicionado ao nível dos olhos do piloto e que permite visualizar o mundo adiante da cabine ao mesmo tempo em que apresenta informações a respeito da aeronave e do voo. Esta combinação de mundo real com dados artificiais requer para sua correta visualização um sistema de lentes especial e um posicionamento fixo da cabeça do piloto em relação ao HUD, não

sendo assim necessária a utilização de qualquer dispositivo de rastreo de posição da cabeça do piloto. Na parte superior da Figura 13 pode ser visto o esquema de funcionamento de um HUD. Note-se que este mecanismo é muito semelhante ao que Azuma define como Realidade Aumentada Ótica, na parte inferior da Figura 13.

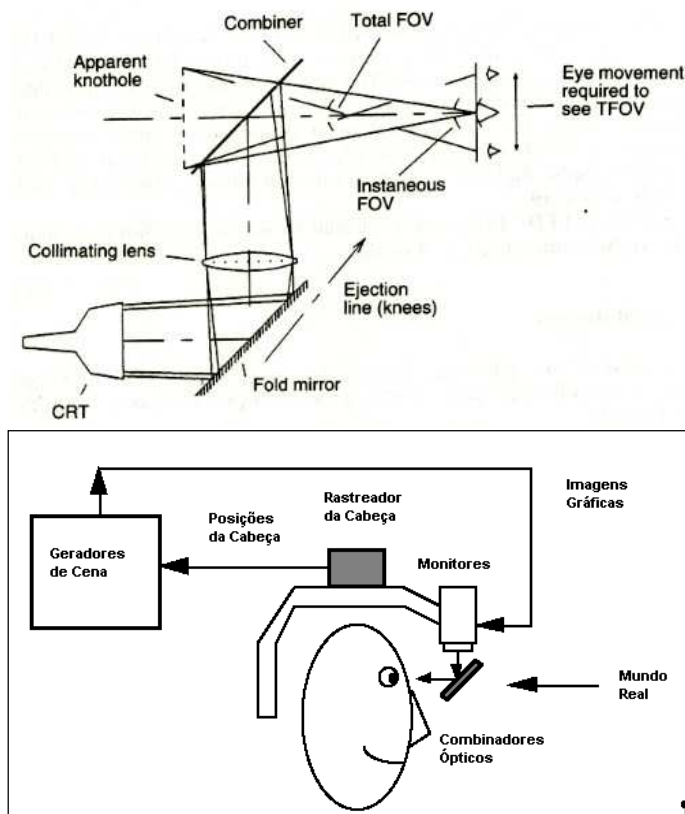


Figura 13 – Comparação entre HUD refrativo e RA ótica.

As vantagens do HUD são a redução do trabalho do piloto, na medida em que precisa olhar um menor número de vezes para o painel de instrumentos, o aumento da precisão do voo, a possibilidade de visualizar em tempo real a trajetória que está seguindo, e finalmente, o incremento da segurança do voo, na medida em que, quando o piloto realiza manobras mais complicadas, pode dedicar sua atenção mais a estas manobras do que examinar os instrumentos da cabine [NEW95]. Na Figura 14 é apresentado outro exemplo das informações que são disponibilizadas ao piloto através do HUD.

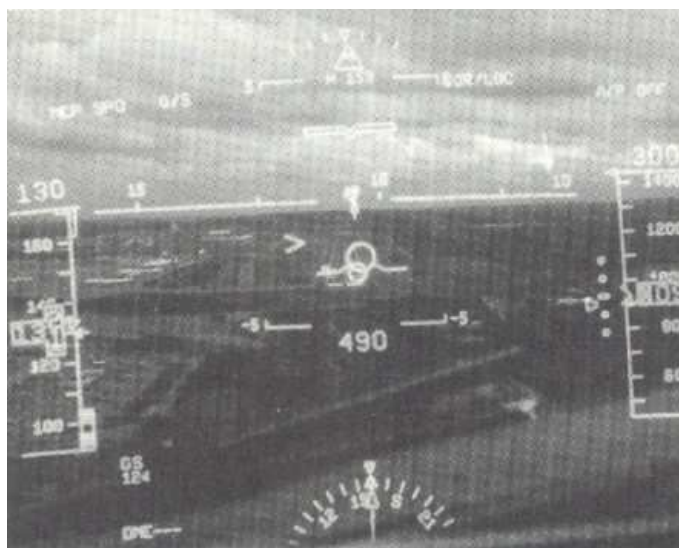


Figura 14 – Simbologia para HUD típica para aplicação civil.

O conceito de HUD é fundamental como forma de auxílio ao operador de um VNT a fim de permitir que informações relevantes estejam de forma constante e instantânea a disposição dele, independente do lugar para o qual ele estiver olhando [NEW95].

Para Pretlove [PRE98], a interface para sistemas telerobóticos e de telepresença pode ser potencializada pela RV e pela RA através da sobreposição de imagens geradas por computador sobre as imagens originadas do ambiente remoto. Na RV, o usuário está completamente imerso no mundo virtual. Na RA, o usuário ou operador visualiza o mundo real com objetos virtuais sendo sobrepostos sobre esta imagem.

Na Figura 15 tem-se um exemplo de utilização de RA como auxílio a condução de uma aeronave, onde dados relevantes ao voo são sobrepostos à visão que o piloto tem da pista onde vai pousar.



Figura 15 – Utilização de RA como ferramenta de apoio a condução de uma aeronave.

2.4.4 INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS

Conforme foi visto na Introdução, a integração da RV com a telepresença pode ser empregada no desenvolvimento de um sistema de controle de VNT. O objetivo desta integração é fazer com que o operador do VNT, mesmo que esteja operando o veículo remotamente e em tempo real, sinta-se virtualmente dentro do VNT, através do auxílio de um ambiente imersivo também gerado em tempo real.

Segundo Walter et al [WAL04], a complexidade e capacidade dos VNT cresce rapidamente, da mesma forma que os tipos de missões em que eles podem ser utilizados. Apesar deste crescimento, algumas questões técnicas ainda se apresentam como desafios. A interface entre operador e VNT é uma delas e se relaciona aos sistemas utilizados para comandar e controlar esses veículos. Neste contexto, uma das necessidades é o desenvolvimento de um sistema de controle que expanda a capacidade de percepção do operador, em contraponto ao limitado campo de visão que o operador tem nos monitores utilizados nas estações de controle convencionais.

Segundo Zhi-Hua et al [ZHI08], a RV e a telepresença podem ser utilizadas para tornar o ato de operar remotamente um VNT uma experiência sensorial mais completa e segura. Uma estação de controle que utilize o conceito de teleimersão disponibiliza ao operador um maior senso de visão e melhor capacidade de interação como o VNT, além de aumentar a capacidade de percepção situacional do operador.

Zhi-Hua et al [ZHI08] e Koeda et al [KOE02] construíram sistemas de telepresença para a operação de VNTs, nos quais puderam aplicar esses conceitos. Na Figura 16 é possível observar a estrutura geral do simulador construído por Zhi-Hua et al.

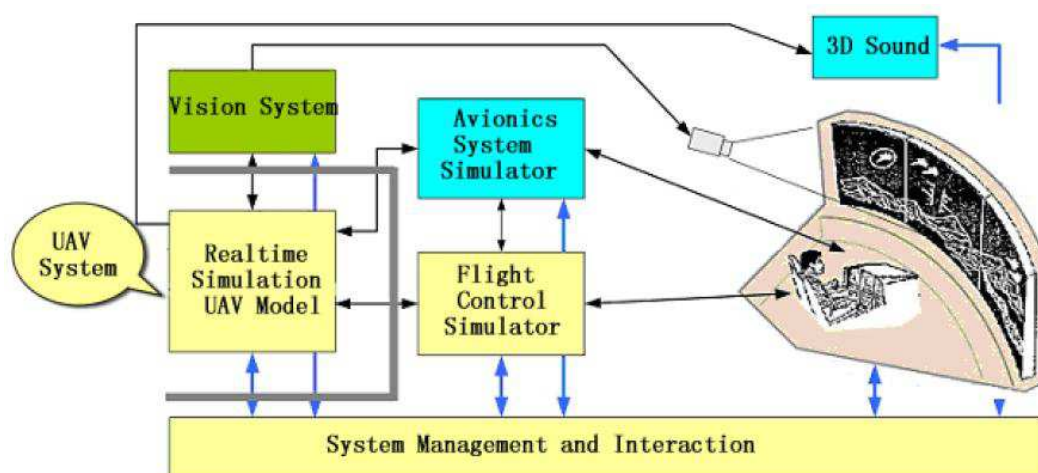


Figura 16 – Estrutura de um simulador [ZHI08]

A solução geral empregada nestes sistemas é dotar a estação de controle com um aparato de realidade virtual imersiva ou semi-imersiva, com a função de aumentar a percepção sensorial do operador, sendo que este aparato é formado basicamente por um HMD ou um conjunto de telas, apresentando neste dispositivo as imagens captadas em tempo real por câmeras instaladas no VNT [ZHI08]. Além disso, as câmeras possuem um sistema de controle de movimentação ou posicionamento ligado diretamente a um sistema de rastreamento de posição de cabeça conectado a cabeça do operador, fazendo com que as câmeras remotas assumam a mesma orientação da cabeça do operador [ERP01][SHE95].

Considerando-se também o emprego da RA no tipo de solução apresentado por Zhi-Hua et al [ZHI08], é possível sobrepor à imagem do ambiente em que o VNT se encontra, em tempo real, informações consideradas relevantes tanto para a ação de operar o VNT quanto para a missão a ser desempenhada. Cria-se assim um ambiente sintético sobreposto em tempo real à visão imersiva real que o operador tem do ambiente em que o VNT se encontra. Neste ambiente sintético, pode-se ainda acrescentar imagens como o relevo sintético do solo, as condições meteorológicas da região, a delimitação, com paredes sintéticas, de áreas permitidas ou proibidas, a apresentação de dados do veículo, a apresentação realçada de objetos geográficos reais relevantes (previamente cadastrados em uma lista de objetos virtuais e posicionados de acordo com suas coordenadas geográficas), e a apresentação de objetos virtuais relacionados à rota a ser seguida, como por exemplo, um túnel ou linha guia de navegação.

Para que o VNT possa ser conectado a este sistema sintético de pilotagem, são necessárias duas funcionalidades embarcadas. A primeira é um sistema de câmeras, preferencialmente estereoscópicas, com liberdade de movimento, para fazer frente à movimentação da cabeça do operador na estação de controle. Quanto melhor posicionadas no veículo essas câmeras estiverem e quanto maior o grau de liberdade dos seus movimentos, maior será o campo de visão do operador. A segunda funcionalidade é que seja embarcado no veículo um receptor GPS, para que o veículo possa obter a posição geográfica em que se encontra e enviar em tempo real essa informação para a estação de controle, juntamente com as imagens captadas pelas câmeras.

Na estação de controle, além dos dispositivos físicos relacionados à teleimersão, faz-se necessário o uso de um software que processe os dados provenientes do veículo, tais como suas coordenadas geográficas e as imagens captadas pelas câmeras, além de dados de telemetria relevantes ao controle do veículo. Uma das funções desse software é

gerar em tempo real um ambiente sintético imersivo a ser apresentado no HMD ou no conjunto de telas, em parte formado pelas imagens geradas pelas câmeras, e em parte gerado pela combinação da posição geográfica do veículo com dados de outros sistemas de informação [ZHI08], como por exemplo, um sistema de informações meteorológicas em tempo real.

2.5 AVALIAÇÃO DE SISTEMAS PARA A OPERAÇÃO DE VEÍCULOS NÃO TRIPULADOS

No contexto deste trabalho, a presença de um computador embarcado no teleoperador do tipo VNT (mais precisamente um VTNT) é imprescindível para o seu funcionamento. Todas as ações realizadas pelo VTNT passam por um processamento prévio, e este processamento é comandado pelo operador do VTNT através da EC. Portanto, é possível afirmar que o operador de um VNT o controla através de uma Interface Homem-Computador (IHC) ou através de uma Interface Homem-Robô (IHR), sendo a EC a IHC ou IHR.

Assim, para medir o desempenho de um sistema aplicável ao controle e navegação dos VNT é possível considerar que este sistema é uma IHC ou IHR e, através desta abordagem, o desempenho desse tipo de sistema pode ser medido utilizando métricas de IHC e de IHR.

2.5.1 MÉTRICAS DE INTERAÇÃO HOMEM-ROBÔ

Segundo Steinfeld et al [STE06], uma das áreas de atuação da pesquisa em IHR é o desenvolvimento de métodos e métricas para avaliar com quanto esforço o ser humano e o robô devem contribuir (juntos ou de forma independente) para realizar uma tarefa.

A principal dificuldade em definir métricas está relacionada à diversidade de aplicações do tipo Homem-Robô. Embora métricas para campos específicos como, por exemplo, Fatores Humanos e IHC possam ser aplicados, identificar métricas abrangentes o suficiente para todo o tipo de aplicação Homem-Robô apresenta maiores dificuldades.

Diversas métricas são específicas para determinados tipos de tarefa ou aplicação. Por exemplo, a técnica "time-to-completion" é empregada em cenários de teste para robôs nas atividades busca e resgate em ambiente urbano. Nesse caso, uma possível métrica é o número de vítimas encontradas menos o número de erros cometidos na aplicação dos robôs. O foco está no resultado final obtido pelo sistema, não se preocupando a respeito de quem ou como a missão foi executada, se por humanos, robôs ou algum tipo de combinação entre ambos [STE06] [JAC00] [JAC01].

Steinfeld et al [STE06] organizaram métricas baseadas em características de sistemas e interações. Estas métricas estão associadas a três aspectos: homem, robô e sistema. Esta abordagem os permitiu identificar métricas que envolvem todo tipo de aplicação em IHR. Nos trabalhos de Steinfeld et al [STE06] foram utilizados como material de pesquisa os robôs móveis orientados a tarefas. As tarefas realizadas abrangem desde as que envolvem pura teleoperação, caracterizando o extremo do envolvimento humano na execução da tarefa, até a autonomia completa (robô). Neste cenário, foram considerados cinco categorias de métricas relacionadas a tarefas: navegação, percepção, gerenciamento, manipulação e socialização. Os autores também consideraram métricas cuja aplicação engloba todo o espaço de aplicação da teleoperação, levando em consideração ao mesmo tempo o sistema, o operador (homem) e o robô, permitindo avaliar todo o sistema focando em um desses aspectos. Para os autores a CS é uma dessas métricas e se concentra no desempenho do operador como forma de medir a eficiência de todo o sistema.

Neste mesmo trabalho são listados ainda fatores que podem interferir na efetividade de uma métrica baseada em IHR, como o atraso na comunicação de dados, o atraso relacionado ao tempo que o robô gasta para processar dados e as condições gerais da teleoperação que podem afetar o desempenho e o comportamento do operador.

As categorias de tarefas relevantes para o presente trabalho são a navegação e a percepção, bem como a CS é a métrica comum focada em operador utilizada nesse trabalho. Nas seções a seguir, estas métricas serão apresentadas e detalhadas.

2.5.2 NAVEGAÇÃO

Para Steinfeld et al [STE06] a navegação é a tarefa fundamental dos robôs móveis. Ela se caracteriza pela movimentação do robô de um ponto a outro do ambiente. Para executar este tipo de tarefa é necessário saber onde o robô está, para onde é necessário ir, de que forma é possível chegar ao destino e que contingências se apresentam no caminho, tais como obstáculos e riscos.

Saber antecipadamente em que tipo de ambiente o robô irá navegar pode ajudar a parametrizar ou ajustar toda a teleoperação. É importante também saber a localização geral do local remoto no contexto ou dentro de uma área geográfica mais ampla. Por exemplo, se o robô está se movendo dentro de um prédio, pode ser útil saber em que andar o robô se encontra.

A efetividade da navegação é medida a partir do quanto a execução das tarefas foi bem sucedida. Possíveis métricas incluem a porcentagem de tarefas de navegação completadas com sucesso, a área coberta pela navegação, o quanto ocorreram desvios de rota e o quanto foi evitada a colisão com objetos ou quantas colisões ocorreram. Já a eficiência da navegação é medida em termos do tempo necessário para completar tarefas. Também é possível avaliar a carga de trabalho do operador envolvido nas tarefas de navegação medindo o número de intervenções do operador por unidade de tempo.

2.5.3 PERCEPÇÃO

A percepção diz respeito à compreensão do ambiente remoto e sua relação com o processo de inferências que o operador faz a partir, por exemplo, de imagens obtidas por câmeras. Na percepção estabelece-se um contexto de interpretação de dados de sensores e sua posterior filtragem e seleção. Ela está associada a tarefas tais como uma busca, vigilância ou identificação de alvos como, por exemplo, identificar uma vítima entre escombros em uma imagem obtida por câmera. A percepção através da imagem obtida por câmera é a principal técnica associada a esta métrica.

Segundo Steinfeld et al [STE06], a "*percepção passiva*" envolve a interpretação de dados de sensores, como por exemplo, "*processos de identificação*" e "*avaliação de movimentação*". Possíveis métricas relacionadas à identificação são a percepção da

orientação de objetos e avaliações relativas e absolutas de distância, tamanho e comprimento de objetos no local remoto. Métricas relacionadas à movimentação incluem a estimativa da velocidade do robô e da sua inclinação em relação ao solo (inclinação relativa aos eixos longitudinal e transversal).

Já a "*percepção ativa*" varia do controle da movimentação de uma câmera instalada no robô até o controle da movimentação do robô em uma busca, por exemplo. Ela se diferencia da navegação por considerar esses movimentos apenas quando eles acontecem em resposta a um evento de percepção por parte do operador, como por exemplo, os movimentos que ocorrem a partir do momento em que o operador reconheceu um alvo.

Ainda com relação a "*percepção ativa*", a métrica de "*identificação ativa*" mede o desempenho em tarefas de reconhecimento e que envolvem movimentação ao mesmo tempo, como por exemplo, o tempo necessário para confirmar uma identificação visual prévia. A métrica de "*busca estacionária*" mede, por exemplo, o desempenho em buscas que envolvem apenas a movimentação de câmeras. Já a "*busca ativa*" é uma métrica que mede o desempenho em tarefas de busca e que envolvem movimentação ao mesmo tempo, como por exemplo, o tempo necessário para a identificação de um alvo.

2.5.3.1 CONSCIÊNCIA SITUACIONAL

Durante uma teleoperação envolvendo um VNT, o operador precisa ter consciência da situação do veículo no local remoto (onde ele está, o que está fazendo), dos eventos que estão ocorrendo nesse local, e da relação entre a situação do veículo e esses eventos no contexto da execução das tarefas, no presente e no futuro, e como isso impacta nos objetivos da missão [END00].

Drury et al [DRU04] lista os vários tipos e definições de consciência no contexto da IHR, amparado em conceitos relacionados à "*Computer-Supported Cooperative Work (CSCW)*". Iniciando esta lista, aparece o termo "consciência", do inglês "*awareness*" definido como sendo o entendimento das atividades que outros indivíduos estão realizando, fato este que gera um sentido para as próprias atividades de quem está observando esses indivíduos. Outra definição para consciência nesta lista diz: dados dois participantes que colaboram entre si através de um sistema apropriado, consciência é o entendimento que cada um tem a respeito do outro e de suas respectivas atividades. Os autores definem ainda que o caso mais básico de IHR acontece, agora não entre indivíduos, mas em uma operação na qual existe um único operador controlando um

único robô. Neste contexto básico, definem "*Consciência de IHR*" como sendo o entendimento que o ser humano tem da localização, das atividades, do estado do local onde o robô se encontra; e do entendimento que o robô tem dos comandos que o operador envia e que são necessários para a execução das tarefas, bem como das restrições que tem para operar.

Outro tópico abordado por Yanco et al [YAN02], é o conceito de Consciência Situacional (CS), cuja definição original foi dada por Endsley [END00]. Aplicável a diferentes domínios, a CS é definida como a percepção dos elementos em um ambiente, dentro de um volume de tempo e espaço, a compreensão dos seus significados e a projeção dos seus estados em um futuro próximo. Segundo esta autora, a CS também pode ser definida nos termos de quem a tem, levando em consideração seus objetivos específicos e as decisões relativas à execução de suas tarefas. Esta flexibilidade legitima a abordagem de Yanco et al, que a posicionou no contexto da IHR, e torna válida a associação da CS com a teleoperação de VNT.

Para Endsley [END00], há três níveis de CS, a CS a nível de percepção (nível 1), a CS a nível de compreensão (nível 2) e a CS a nível de projeção (nível 3). Na CS de nível 1, a percepção dos elementos dentro de um volume de espaço e tempo, por parte do operador é fundamental. A falta desta capacidade de percepção pode gerar um entendimento incorreto da situação presente, induzindo a erros graves de operação. A CS de nível 2 está relacionada a forma como o ser humano combina, interpreta e retém informação. Ela diz respeito à integração de informações provenientes de várias fontes e a determinação da sua relevância no contexto dos objetivos a serem alcançados. Finalmente a CS de nível 3 está ligada a capacidade de previsão de eventos futuros e o entendimento da dinâmica relacionada. Este nível de CS está presente nos indivíduos que detêm o mais alto nível de entendimento de uma situação.

A CS também tem um aspecto temporal. A percepção da passagem do tempo e o entendimento da dinâmica temporal associada a eventos tem um papel importante no processo de aquisição de CS. Uma questão crítica relacionada à CS é compreender quanto tempo ainda há disponível até que um determinado evento ocorra ou até que uma determinada ação deva ser tomada. A própria definição de CS faz menção à questão temporal quando fala do "volume de tempo", significando que além do espaço físico delimitado, o operador tem também o espaço temporal delimitado, impactando suas tarefas, estratégias e objetivos.

Outra questão relacionada ao aspecto temporal da CS é a dinâmica das situações do mundo real, a respectiva taxa de atualização das informações que chegam ao operador e sua relação com a projeção de situações futuras. As situações que estão sendo apresentadas a um operador podem estar em constante alteração, o que o tornam constantemente desatualizado, forçando-o a desenvolver estratégias cognitivas para manter a sua CS.

A CS é mantida, ou derivada, de todas as fontes de informação que um operador tem. Os estímulos aos sentidos de um operador podem ser provenientes de fontes visual, auditiva, tátil, olfativa ou gustativa. Dependendo do contexto, alguns estímulos podem se sobrepor a outros, considerados mais importantes, podendo esta escolha ser feita de forma consciente ou inconsciente. Quando se considera a questão da CS relacionada aos operadores de VNT, o maior desafio é prover informações suficientes através de uma interface remota.

Segundo Endsley [END00], a medição direta da CS de um operador proporciona a noção de como ele trata as informações que recebe de tal forma a obter a melhor ideia possível a respeito de uma determinada situação. Esta medição pode ser utilizada na avaliação de sistemas ou de técnicas de treinamento, sendo mais eficiente do que os processos de medição de desempenho.

Endsley [END00] criou um método para a medição de CS denominado **Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT)**. Este método utiliza uma técnica experimental direta, baseada em um questionário sendo aplicado várias vezes durante a execução de uma simulação, exigindo que a execução da simulação pare por completo para que o mesmo questionário seja respondido.

As perguntas estão diretamente associadas à situação sendo vivenciada pelo indivíduo usuário da simulação. Este indivíduo responderá o questionário com respostas específicas ao momento da interrupção da simulação e baseando-se em informações armazenadas em sua memória de trabalho. Suas respostas refletem o nível de CS que ele tinha da situação no momento da interrupção.

No SAGAT, o sucesso da coleta de dados depende da eficácia das perguntas presentes no questionário. Antes da definição dessas perguntas, os requisitos de CS devem ser definidos através de uma técnica denominada **Goal Direct Task Analysis (GDTA)** [END00], que busca definir os objetivos de uma missão ou do operador em um domínio específico, as decisões que devem ser tomadas para atingir esses objetivos e as

informações que devem ser constantemente disponibilizadas para o operador para que ele possa tomar suas decisões [JON04].

Os requisitos de CS devem atender aos aspectos de percepção, compreensão e projeção, formando a base das perguntas do SAGAT. As perguntas devem ser definidas de tal forma que para respondê-las, o indivíduo usuário da simulação esteja a par das informações referentes a esses requisitos de CS [JON04].

Segundo a metodologia, todas as perguntas do questionário podem ser apresentadas de uma só vez. O intervalo entre cada apresentação do questionário deve ser aleatório e não inferior a 1 minuto. A primeira apresentação do questionário pode ocorrer depois de transcorridos pelo menos 3 minutos de simulação [JON04].

3 SISTEMA DE CONTROLE E NAVEGAÇÃO DE VTNT

Conforme foi apresentado na Seção 2.3, parte dos problemas relacionados à teleoperação dos VNT têm sua origem no fato do operador se encontrar distante do VNT e não dentro do VNT. Nessa situação, todas as informações que ele recebe através da EC podem ser limitadas em sua quantidade e qualidade pelo grau de eficiência dos sensores instalados no VNT, pela dinâmica de funcionamento destes, e pelos recursos oferecidos pela EC para a visualização dessas informações já limitadas.

Essas limitações podem prejudicar a CS do operador, além de dificultar a execução da tarefa de navegação. Por exemplo, a câmera embarcada no VNT pode estar instalada de tal forma que ela não possa ser movimentada, fazendo com que a seleção do que é observado no local remoto dependa da movimentação do veículo.

Mesmo em um arranjo mais eficiente, no qual esta câmera pode ser movimentada, esta pode ter um ângulo máximo de rotação, em seus eixos vertical e transversal, menor que a capacidade de movimentação da cabeça humana. A velocidade de rotação da câmera também pode ser menor que a velocidade de rotação da cabeça humana, sem considerar que o ser humano é capaz de mover seus olhos ao mesmo tempo em que move sua cabeça, dispondo também de visão periférica. Assim, a qualidade da imagem obtida através da câmera tende a ser pior do que o local remoto sendo observado a olho nu. Da mesma forma, a capacidade de movimentação do VNT no local remoto tende a ser pior que o operador caminhando neste local.

Se por um lado a limitação das informações recebidas pelo operador do VNT é inevitável no contexto da teleoperação, um sistema de controle e navegação aplicável aos VNT pode ser dotado de funcionalidades que compensem, pelo menos em parte, essa limitação. Conforme foi visto na Introdução, este trabalho propõe um sistema de controle e navegação para VTNT que tem por objetivos aumentar a CS do operador e a eficiência da navegação. O conceito desenvolvido busca alcançar esses objetivos através de uma estratégia de compensação da perda de informações na qual a visualização do local remoto é enriquecida por recursos cognitivos resultantes de um processo de fusão das tecnologias de TPI, RA e RV. Esse sistema é formado por hardware e software para controle à distância de VNT que, ao ser instalado, transforma uma ECC em uma **Estação de Controle Imersiva (ECI)**.

Neste arranjo, a TPI pretende ajudar o operador a observar melhor e de forma mais intuitiva o local onde o veículo se encontra, e até mesmo o próprio veículo nesse local,

contextualizado a imagem obtida pela câmera instalada no VTNT. A TPI busca atingir este objetivo fazendo com que o operador tenha a sensação de estar imerso no ambiente remoto onde o VNT se encontra, ou até mesmo dentro do VNT, em tempo real. Isto pode resultar em um maior entendimento da situação do VTNT no local remoto, diminuindo a chance do operador colidir o veículo, por exemplo.

Entretanto, o uso de periféricos de imersão impossibilita o operador de interagir com outros controles e mostradores que possam existir na estação, pelo fato de sua visão estar restrita à imagem apresentada no HMD. Por exemplo, o pressionamento de botões torna-se um procedimento inseguro pelo fato do operador não ser capaz de observar diretamente suas mãos e os botões.

Por outro lado, observa-se que o *joystick* é manuseado pelo operador de forma ininterrupta e sua posição de instalação tem como referência o local preparado para acomodar o operador na estação. Assim, uma vez que o operador esteja instalado na estação, a tendência é que ele seja capaz de encontrar o *joystick* com suas mãos mesmo sem poder vê-lo.

No caso do acionamento de botões, em geral o operador precisa enxergar os seus dedos e os botões, embora ele possa memorizar espacialmente a posição destes. Construir botões maiores poderia ser uma solução, mas ainda assim não seria seguro. Uma solução possível é aplicar botões na superfície do *joystick* de tal maneira que estejam ao alcance dos dedos do operador. Como a mão está fixa e apoiada sobre o *joystick*, fica fácil para o operador memorizar a posição e a função de cada botão. Este método é aplicado em aeronaves militares e é identificado pela sigla HOTAS⁴.

A RA também é empregada na forma de um recurso visual apresentado sobre a imagem obtida do local remoto. O operador observa ao mesmo tempo tanto o mundo real quanto o mundo virtual, sendo a imagem do mundo virtual sobreposta à imagem do mundo real. Através dela, são disponibilizadas informações sobre o local remoto onde o VTNT se encontra e sobre a navegação a ser realizada. Estas informações assumem a forma de objetos virtuais georeferenciados apresentados no HMD e que parecem fazer parte da imagem captada pelas câmeras, ou seja, parecem fazer parte do local onde se encontra o VTNT.

No caso deste projeto, os objetos virtuais podem ser de duas formas: cone orientado verticalmente, apresentado na Figura 17 e plano vertical, apresentado na Figura

⁴ **Hands On Throttle-And-Stick:** <http://en.wikipedia.org/wiki/HOTAS>. Acessado em 22/12/2009.

18. Neste trabalho, o cone orientado verticalmente é chamado de "apontador" e o plano vertical de "parede".

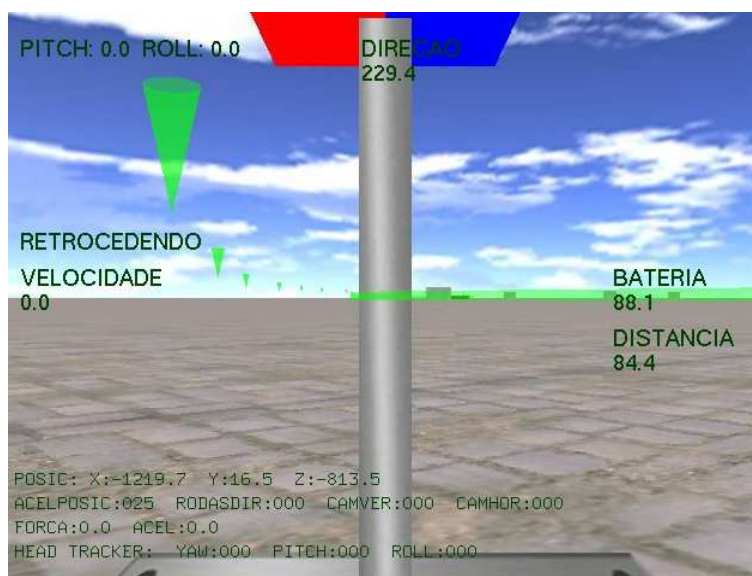


Figura 17 – Objeto virtual de Realidade Aumentada: o Cone Vertical.



Figura 18 – Objeto virtual de Realidade Aumentada: a Parede.

O apontador indica um ponto de referência no terreno, um ponto que faz parte de uma trajetória a ser seguida ou um ponto a ser atingido. Já a parede tem por objetivo delimitar uma região.

Neste trabalho, o objetivo da RA é ajudar o operador a manter o VTNT navegando em uma trajetória pré-definida, no sentido de que, quanto mais este permanecer nessa trajetória, menor a chance de expor o veículo a locais ou situações de risco.

Para isso, é necessário um planejamento prévio dessa trajetória antes da execução da teleoperação. No contexto da RA, esse planejamento se traduz na definição da posição física de objetos virtuais no terreno real. Isto também exige um conhecimento prévio do terreno. O emprego de uma carta topográfica permite também, de forma aproximada, definir a altura dos objetos virtuais em relação ao solo.

Uma possível arquitetura de emprego real do sistema proposto é apresentada na Figura 19. Ela é composta por uma ECI, um VTNT, um sistema de posicionamento, tal como o GPS, um protocolo de comunicação de dados e uma infraestrutura de comunicação de dados.

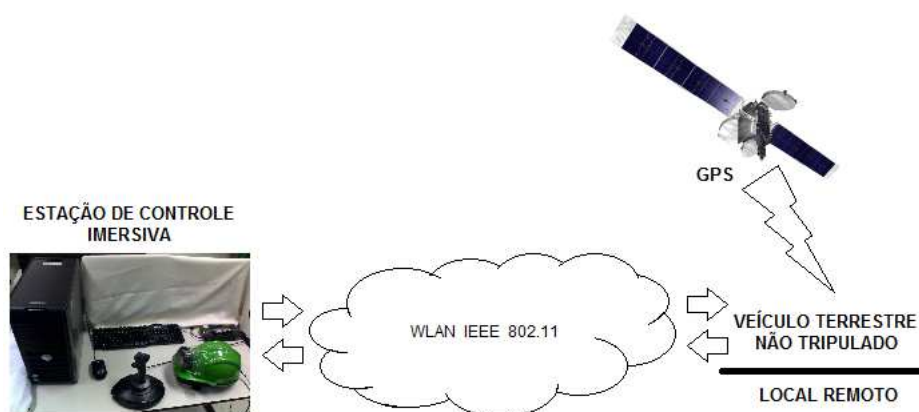


Figura 19 – Arquitetura de emprego real do sistema proposto.

A função da ECI é controlar o VTNT. Além de possuir as características básicas presentes em uma ECC, tal como um *joystick* utilizado no comando dos movimentos do VTNT no local remoto, ela também possui recursos que propiciam ao operador uma sensação de imersão nesse local. Através desses recursos, os movimentos da cabeça do operador, captados por um "*head tracker*" (HT), definem em tempo real a movimentação e a orientação da câmera instalada no VTNT. Ao mesmo tempo, o operador visualiza o local remoto onde o VTNT se encontra observando, através do HMD, as imagens captadas de forma contínua pela mesma câmera.

O VTNT utilizado em uma teleoperação precisa ser compatível com a estação de controle empregada. Neste trabalho, esta compatibilidade deve ser física e lógica e está relacionada com a forma como a ECI implementa o controle do veículo.

A compatibilidade física envolve tanto as características mecânicas do veículo quanto as que lhe permitem ser utilizado em uma aplicação de teleimersão.

As características mecânicas do veículo dizem respeito a sua própria capacidade de movimentação bem como à movimentação de suas partes mecânicas e sensores. O

veículo deve ter características físicas e de comportamento semelhantes ao de um automóvel e ser capaz de realizar todos os movimentos que forem especificados através da ECI. Esses movimentos, que podem ser de translação ou rotação, tem como referência os eixos longitudinal, transversal e vertical do veículo.

No que se refere às características relacionadas a uma aplicação de teleimersão, os periféricos de TPI utilizados na ECI implicam que estejam instalados no VTNT os respectivos e compatíveis sensores e atuadores. Por exemplo, um HMD integrado a um HT instalados na ECI implica no VTNT dispor de uma câmera móvel embarcada, cujos movimentos sejam os mesmos captados pelo HT.

Assim sendo, para um VTNT ser compatível com a ECI proposta neste trabalho, ele deve possuir as seguintes características:

- movimento para frente ou para trás (translação em relação ao seu eixo longitudinal);
- movimento para os lados enquanto se move para frente ou para trás (rotação em relação ao eixo vertical e translação em relação ao seu eixo longitudinal);
- movimento da câmera embarcada 45 graus para cima ou para baixo (rotação em relação ao eixo transversal), e 90 graus para a direita ou esquerda (rotação em relação ao eixo vertical).

Na posição centralizada, a câmera aponta para o mesmo sentido de movimento do veículo quando ele está se locomovendo para frente, paralelo ao seu eixo longitudinal.

Para que haja compatibilidade lógica entre a ECI e o VTNT, este último deve utilizar o mesmo protocolo de comunicação de dados empregado pela ECI e estar preparado para adquirir e enviar para a ECI um conjunto de dados que permita a ela realizar o processamento relativo à aplicação da RA.

A utilização do mesmo protocolo de comunicação de dados da ECI torna o veículo capaz de entender os dados enviados pela ECI. Estes dados se relacionam tanto à forma como o veículo deve se comportar quanto a processamentos internos que este deva realizar. Já os dados que precisam ser enviados para a ECI são provenientes de sensores instalados no veículo. Uma das funções desses sensores é rastrear o comportamento do próprio veículo. Este rastreamento deve gerar os seguintes dados:

- posição do veículo na superfície terrestre (receptor GPS);
- inclinação do veículo no seu eixo longitudinal em relação ao solo (inclinômetro);;

- inclinação do veículo no seu eixo transversal em relação ao solo (inclinômetro);;
- inclinação do veículo no seu eixo vertical em relação ao norte magnético terrestre (magnetômetro);
- inclinação da câmera embarcada em relação ao eixo transversal do veículo;
- inclinação da câmera embarcada em relação ao eixo vertical do veículo.

Esses dados fazem parte do sistema de posicionamento e são utilizados pelo módulo de RA da ECI. O sistema de posicionamento é responsável pela determinação, em tempo real, da posição e orientação do VTNT no local remoto.

A infraestrutura de comunicação de dados permite a comunicação entre a ECI e o VTNT através do uso de um protocolo comum de comunicação de dados. Neste trabalho, a infraestrutura de comunicação de dados utilizada é uma rede local sem fio do tipo Ethernet 802.11.

A ECI definida neste trabalho é composta pelos seguintes componentes: um computador, um conjunto de periféricos relacionados à TPI, uma interface de comunicação de dados e um software de controle e navegação para VTNT. Os periféricos utilizados são um *joystick*, um HMD e um HT. O HMD e o HT foram fisicamente integrados através do emprego de um capacete. A Figura 20 apresenta o sistema construído neste trabalho.



Figura 20 – Componentes físicos da ECI.

O computador é o componente central desta arquitetura, pois todos os outros componentes funcionam a partir dele ou conectados a ele. O software de controle e navegação é instalado nesse computador, e o conjunto de periféricos, bem como a

interface de comunicação de dados, são conectados nele. Um esquema da arquitetura deste sistema é apresentado na Figura 21.

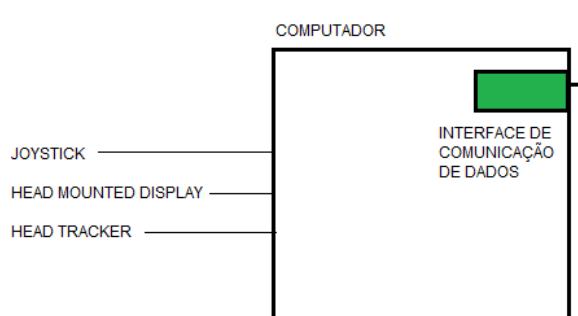


Figura 21 – Arquitetura da ECI.

O computador utilizado foi um PC do tipo desktop, com processador Intel, rodando o sistema operacional Microsoft Windows XP.

O HMD utilizado neste sistema é o VTV i-Glasses, produzido pela i-O Display Systems, que pode ser visto na Figura 22. Ele possui dois LCDs coloridos de 0,7 polegadas com uma resolução de 180.000 pixels por LCD, é compatível com o padrão VGA (640 x 480 pixels com 256 cores), e sua taxa de atualização vertical pode ser de 60Hz ou 70Hz.

O operador visualiza o local remoto através do HMD (Figura 22). Nele são apresentadas as imagens captadas pela câmera instalada no VTNT. Ele é o componente responsável por gerar a sensação de imersão do operador no local remoto. De modo geral, uma vez que o HMD estiver sendo utilizado pelo operador, a única imagem que este poderá ver é a imagem captada pela câmera instalada no VTNT, não sendo mais possível observar o local onde ele mesmo se encontra.



Figura 22 – Detalhe do HMD.

O HT utilizado neste sistema é o CyberTrack II CT-4.0 Sourceless Head Tracker, desenvolvido pela General Reality Company (Figura 23). Este HT capta sua própria inclinação em relação aos eixos vertical, transversal e longitudinal e identifica essa

inclinação associando a cada eixo um valor de diferença entre uma inclinação de referência definida pelo próprio HT e a inclinação atual do HT.



Figura 23 – Detalhe do head tracker.

A inclinação em relação ao eixo vertical é captada por um magnetômetro. Este tipo de dispositivo tem como referencial o norte magnético terrestre. Sua faixa de variação é de 0 a 359 graus. As inclinações em relação aos eixos transversal e longitudinal são captadas por seus respectivos inclinômetros, tendo como faixa de variação valores de -45 graus a +45 graus. As inclinações de zero grau nestes dois eixos indicam que o HT está em sua posição horizontal.

O HT é fixado no capacete utilizado pelo operador. Assim, ele permite identificar e quantificar os movimentos realizados pela cabeça do operador. Os dados que descrevem esses movimentos são utilizados para comandar os movimentos da câmera embarcada no VTNT. Os eixos tratados pelo sistema de controle e navegação são o vertical e o transversal. O eixo longitudinal é desconsiderado pelo fato da câmera embarcada não poder ser movimentada nesse eixo. O eixo vertical serve para identificar a direção para onde o operador está olhando a partir do veículo, se para frente, para a direita ou para a esquerda. Já o eixo transversal serve para identificar o quanto o operador está olhando para cima ou para baixo, também a partir do veículo.

Neste sistema, considera-se que a faixa de variação do eixo vertical da câmera embarcada no VTNT é de -90 graus, estando totalmente virada para a esquerda, passando por zero graus como seu centro, até +90 graus, estando totalmente virada para a direita.

Da mesma forma, considera-se que a faixa de variação do eixo transversal da câmera embarcada no VTNT é de -45 graus, estando inclinada para baixo no seu limite,

passando por zero graus como seu centro horizontal, até +45 graus, estando inclinada para cima no seu limite.

O valor medido pelo inclinômetro do eixo transversal não necessita de ajuste, pois sua faixa de variação de valores é igual a faixa de variação de valores da câmera embarcada no VTNT. Portanto, o grau de inclinação da cabeça do operador obtido pelo HT pode ser aplicado diretamente na câmera embarcada. Desta forma, se a cabeça do operador estiver inclinada 10 graus para cima, então a câmera embarcada também estará.

O valor medido pelo magnetômetro necessita de ajuste por dois motivos. O primeiro é que a sua faixa de variação de valores é diferente da faixa de variação de valores da câmera embarcada no VTNT. O segundo é que seu referencial de direção é fixo em relação ao norte magnético terrestre e o operador tem a sua própria definição da direção que significa olhar para frente. Isto pode estar relacionado à instalação física da estação, a instalação física dele próprio na estação, e a própria sensação de conforto do operador para operar o VTNT.

Assim, o operador precisa definir para o sistema de controle e navegação o que, para ele operador, significa estar olhando para frente. Isto corresponde a um ângulo fixo de diferença entre o norte magnético e a direção para a qual o operador está olhando no momento da definição deste valor. O operador define esse valor posicionando sua cabeça na direção desejada e apertando uma tecla no teclado do computador da ECI. Neste momento, o sistema de controle e navegação identifica o ângulo fixo de diferença e passa a considerá-lo como sendo um ajuste a ser aplicado a todo valor que especifica a direção da câmera embarcada no VTNT.

O *joystick* utilizado neste sistema é o modelo Genius MaxFighter F-23U, apresentado na Figura 24. Ele tem por função principal permitir que o operador comande a movimentação ou o deslocamento do VTNT no local remoto. Uma das suas principais características é que através desse tipo de periférico é possível especificar mais de um comportamento do veículo ao mesmo tempo. No contexto deste trabalho o *joystick* é utilizado para comandar o veículo para frente, para trás, para os lados, acelerar e frear. Ele é utilizado como volante, acelerador e freio ao mesmo tempo, o que resulta na simplificação da estação de controle.



Figura 24 – Joystick Genius MaxFighter F-23U.

Este periférico funciona captando a inclinação do "stick" em relação aos seus eixos transversal e longitudinal e identifica essas inclinações associando a cada eixo um valor proveniente do respectivo potenciômetro acoplado. A inclinação transversal equivale à aceleração do VTNT, fazendo com que o veículo se mova para frente ou para trás. Já a inclinação longitudinal equivale à direção a ser adotada pelo veículo quando ele se move para frente ou para trás.

Assim, quando o *joystick* é movido para frente, o veículo avança e quando ele é movido para trás, o veículo retrocede. Quando ele é movido para os lados, as rodas dianteiras do veículo se movem em relação ao seu eixo vertical. Mas se o *joystick* é movido para frente e para o lado ao mesmo tempo, o veículo avança fazendo uma curva para o mesmo lado especificado no *joystick*. A mesma ideia se aplica quando o *joystick* é movido para trás e para o lado, fazendo com que o veículo vá para trás fazendo uma curva.

Outra característica do *joystick* é ser capaz de centralizar vários controles de um VTNT através dos diversos botões que possui. Neste trabalho, um desses botões é destinado ao acionamento do freio do veículo.

O *software* do sistema de controle e navegação instalado no computador da ECI foi implementado no ambiente de programação Microsoft Visual Studio 2008 e é capaz de ser executado somente no sistema operacional Microsoft Windows. Na implementação desse *software* foi utilizada a linguagem de programação "C" e as bibliotecas de programação OpenGL, GLUT, LibJPEG e Sockets TCP/IP. A OpenGL é utilizada para implementar as funcionalidades de TPI, RA e RV aplicadas sobre a imagem obtida a partir da câmera instalada no VTNT. A GLUT auxilia nesse processo e na interface com o

joystick. A LibJPEG é utilizada na descompressão da imagem obtida a partir da câmera instalada no VTNT e que é recebida através da interface de comunicação de dados. O envio e recebimento de dados através da interface de comunicação de dados é feito baseado em Sockets.

Este software é formado por um conjunto integrado de módulos de processamento de dados nos quais os dados de saída de um módulo (resultantes do processamento que ocorreu nele) são utilizados como dados de entrada do módulo seguinte. A Figura 25 apresenta a estrutura do software da ECI.

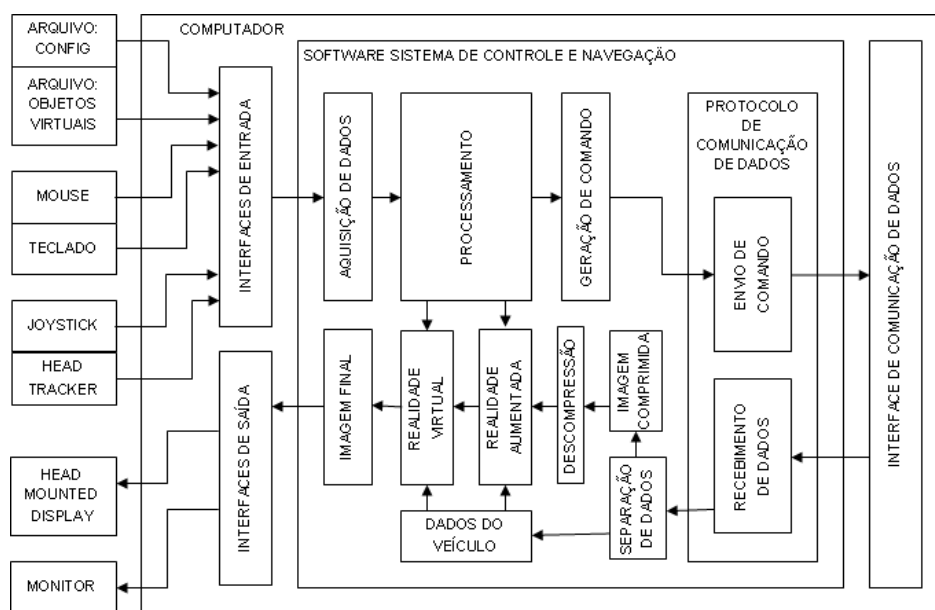


Figura 25 – Estrutura do software da ECI.

Nessa estrutura, as interfaces de entrada de dados são o HT, o *joystick*, o arquivo de configuração do software e um arquivo que descreve os objetos virtuais utilizados no processamento relativo à RA. De forma opcional, também podem ser utilizados o teclado e o mouse. A interface de saída de dados é o HMD. Um monitor também pode ser utilizado de forma opcional.

Conforme pode ser visto na estrutura do software, seu funcionamento se caracteriza pelo processamento de dois fluxos principais de dados, os quais também fazem parte da comunicação entre a ECI e o VTNT. Cada fluxo de dados é tratado por um conjunto de módulos específicos. Uma ideia geral a respeito desses fluxos é apresentada na Figura 26. O primeiro fluxo está relacionado ao controle do veículo e à TPI. Nele, a ECI envia para o VTNT os dados que descrevem como o veículo e sua câmera embarcada devem se comportar. O segundo fluxo está relacionado ao funcionamento da RA, RV e TPI na ECI. Os dados presentes neste fluxo são enviados do VTNT para a ECI e resultam do

processamento que ocorre de forma contínua no VTNT a partir dos dados que ele recebeu da ECI e dos dados provenientes dos sensores.

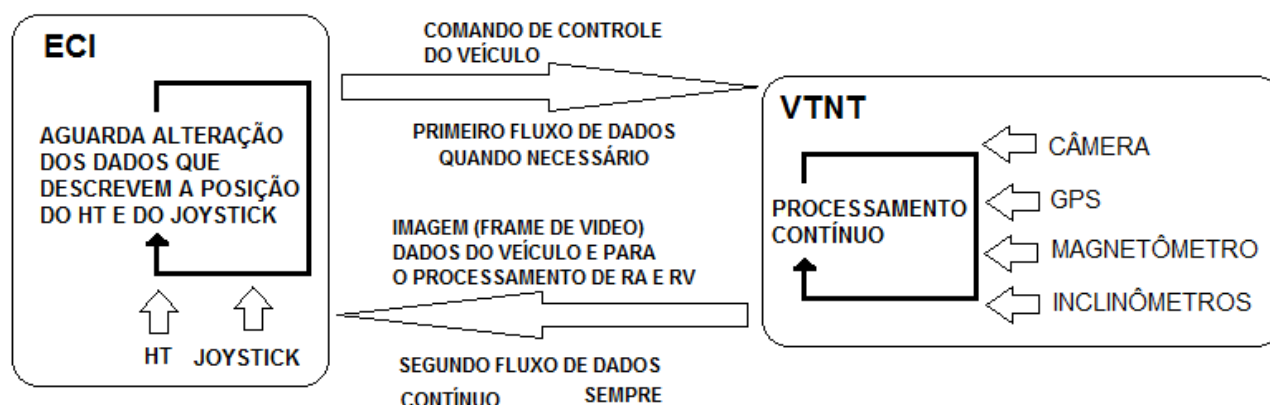


Figura 26 – Fluxos de dados entre ECI e VTNT.

Os dados do primeiro fluxo são gerados a partir dos movimentos que o operador aplica no HT e no *joystick*. A ECI obtém continuamente os valores que descrevem a posição desses periféricos e compara os valores atuais com os valores anteriores, identificando se o operador aplicou um movimento sobre eles. Assim, sob o ponto de vista da ECI, um periférico somente produz um dado válido quando ele é acionado (movimentado), sendo este dado caracterizado por ser diferente do dado imediatamente anterior. Esta funcionalidade evita que a ECI envie dados repetidos para o VTNT.

Da mesma forma, o VTNT desconsidera o recebimento de dados repetidos, pois não faz sentido para ele assumir um determinado estado no qual ele já se encontra. Por exemplo, uma vez que já tenha sido especificado para que a sua câmera embarcada assumira uma determinada orientação, só faz sentido comandar o movimento dessa câmera novamente caso ela assumira uma nova orientação, diferente da atual.

Na estrutura do software da ECI, os módulos que tratam do processamento do primeiro fluxo são: aquisição de dados, processamento, geração de comando, protocolo de comunicação de dados. Os módulos que tratam do processamento do segundo fluxo são: protocolo de comunicação de dados, separação de dados, descompressão de imagem, realidade aumentada e realidade virtual.

Os dados presentes no segundo fluxo são gerados e enviados de forma contínua para a ECI. Nele trafegam a imagem capturada pela câmera embarcada (que pode ser considerada um frame de vídeo), os dados obtidos por outros sensores e os dados gerados por processamento interno no computador do veículo. É importante ressaltar que os dados presentes nesse fluxo não são respostas propriamente ditas aos dados

recebidos no primeiro fluxo. O objetivo deles é apresentar, de forma contínua, a nova situação do veículo a partir dos dados recebidos da ECI.

O processamento dos dois fluxos de dados também caracterizam a organização do algoritmo do software, apresentado na Figura 27, na qual se observam dois conjuntos de instruções, um para cada fluxo.

Na comunicação entre a ECI e o VTNT, as regras para a formatação, o envio e o recebimento de dados são definidas por um protocolo de comunicação de dados proprietário. Neste protocolo, os dados que trafegam nos respectivos fluxos são organizados em pacotes. Os pacotes do primeiro fluxo são chamados de Comandos e os do segundo fluxo são chamados de Dados de Sensores.

Há dois tipos de comandos: Comando de Controle e Comando de Configuração. Um comando de controle contém a descrição de um comportamento a ser desempenhado pelo VNT. Nele constam os dados que descrevem quais posições devem assumir as partes móveis do veículo, relacionadas à sua navegação ou à tarefa a ser executada. Um comando de controle é criado a partir dos movimentos que o operador aplica no HT e no *joystick*. De forma opcional, os comandos podem ter uma resposta a ser esperada e validada.

Já um Comando de Configuração contém os dados que parametrizam a execução dos próximos comandos de controle e são aplicáveis na estrutura de interna de processamento do veículo. Por exemplo, dependendo da situação, o operador pode desejar definir a qualidade da imagem que está sendo gerada pela câmera embarcada no VTNT. Este tipo de dado é enviado em um Comando de Configuração.

PRIMEIRO FLUXO DE DADOS
1) Obtém orientação do HT [AQUISIÇÃO DE DADOS].
2) Obtém posição do <i>joystick</i> [AQUISIÇÃO DE DADOS].
3) Trata valores (filtra, aplica deslocamento) [PROCESSAMENTO].
4) Monta pacote comando [GERAÇÃO DE COMANDO].
5) Envia comando para o VTNT [PROTOCOLO].
SEGUNDO FLUXO DE DADOS
1) Recebe pacote de dados de sensores [PROTOCOLO].
2) Separa dados de sensores por tipo de sensor [SEPARAÇÃO DE DADOS].
3) Obtém a imagem captada pela câmera [DESCOMPRESSÃO].
4) Coloca a imagem no buffer de imagem 1 [TPI].
5) Obtém demais dados de sensores [SEPARAÇÃO DE DADOS].
6) Desenha objetos de realidade aumentada no buffer de imagem 2 [RA].

- 7) Sobreposição buffer de imagem 2 em buffer de imagem 1 [RA].
- 8) Desenha dados do veículo no buffer de imagem 3 [RV].
- 9) Sobreposição buffer de imagem 3 em buffer de imagem 1 [RV].
- 10) Apresenta imagem 1 [RV,RA,TPI].

Figura 27 – Algoritmo do software da ECI.

Os dados que descrevem o movimento a ser aplicado no veículo e em sua câmera embarcada são transmitidos em um mesmo Comando de Controle. Esta estratégia gera um menor número de pacotes a serem enviados para o VTNT, pois o operador tende a movimentar estes dois periféricos simultaneamente durante a maior parte do tempo da teleoperação.

Da mesma forma, um frame de imagem captado pela câmera embarcada e os dados que descrevem o estado do veículo, obtidos através de outros sensores, são obtidos no mesmo instante, e também seguem em um mesmo pacote de dados de sensores. Esta estratégia visa diminuir a diferença de tempo entre a apresentação da imagem do local remoto e a apresentação do seu respectivo enriquecimento através da RA. Caso contrário, os objetos virtuais tenderiam a ser desenhados sobre uma imagem do local remoto que não corresponde mais a localização desses objetos. O frame de vídeo, antes de ser enviado à ECI é compactado utilizando-se a biblioteca LibJPEG.

Uma vez que o VTNT tenha se conectado na ECI, esta passa a esperar por pacotes do tipo Dados de Sensores de forma contínua, ao mesmo tempo em que envia pacotes do tipo Comando sempre que necessário. O VTNT por sua vez, a partir do momento em que se conectou na ECI passa a enviar os dados de seus sensores de forma contínua ao mesmo tempo em que aguarda, também de forma contínua, a chegada de comandos.

A comunicação de dados utiliza o protocolo UDP/IP para envio e recebimento de dados através de *sockets*, como já foi mencionado anteriormente. Neste contexto, a ECI faz o papel de servidor e o VTNT faz o papel de cliente.

A infraestrutura de comunicação de dados utiliza uma rede ethernet sem fio (Wifi) padrão 802.11. Assim, tanto a ECI quanto o VTNT devem dispor de uma placa de rede compatível. Um hub sem fio completa a ligação entre a ECI e o VTNT.

Os dados presentes em um pacote do tipo Comando de Controle, ao chegarem no veículo, são transformados em comandos específicos para seus três componentes internos. O primeiro componente é o motor de tração utilizado para movimentar o veículo em relação ao solo. O segundo componente é responsável por mudar a direção das rodas dianteiras do veículo, mudando assim a direção deste durante os movimentos para frente

ou para trás. O terceiro componente é formado por dois servo-motores, responsáveis por mover a câmera embarcada nos seus eixos vertical e transversal, fazendo com que esta assuma a mesma orientação da cabeça do operador na ECI.

Os dados presentes em um pacote do tipo Dados de Sensores, ao chegarem à ECI, são divididos em duas partes. A primeira contém um frame de imagem captada pela câmera embarcada no VTNT. Ao ser recebido este frame é descompactado pela biblioteca LibJPEG. A segunda contém os dados gerados pelos demais sensores do veículo, tais como o nível da bateria, a velocidade do veículo, sua posição na superfície terrestre, sua direção e a direção para onde está apontando a câmera embarcada a partir da direção do veículo.

A imagem do local remoto passa por um processo de descompressão antes de ser utilizada e corresponde a imagem tratada no módulo de TPI da ECI. Esta imagem, que também pode ser considerada um frame de vídeo, tem 640 pixels de largura por 480 pixels de altura, o que equivale a aproximadamente 900 kbytes. Comprimida, ela apresenta tamanho médio de 35 kbytes, podendo este tamanho variar conforme processamento realizado pela biblioteca LibJPEG.

A imagem gerada pelo módulo de RA contém o desenho de objetos virtuais. Estes objetos têm suas posições previamente definidas em relação ao terreno, sendo, portanto georeferenciados. Estas posições pertencem a um sistema de coordenadas definido pelo sistema de posicionamento em uso pelo veículo. O posicionamento e orientação do desenho dos objetos virtuais são feitos com base no processamento dos demais dados presentes na segunda parte do pacote do tipo Dados dos Sensores.

O GPS é um exemplo de possível sistema de posicionamento, sendo baseado na recepção de dados via satélite. Através dele é possível obter a posição de um equipamento eletrônico compatível na superfície terrestre. Este sistema, de maneira geral, apresenta-se como uma solução para a determinação da posição de um VTNT em ambientes abertos, também denominados *outdoor*. Entretanto, uma de suas desvantagens é a baixa precisão de localização [HAZ04]. Um exemplo desta situação, ligado a aplicação da RA, é a apresentação de uma linha virtual sobreposta ao solo cuja função é indicar um caminho a ser percorrido, à exceção do qual o VTNT encontrar-se-ia em uma área perigosa. Se a precisão de um determinado equipamento de GPS for de 5 metros, por exemplo, é grande a chance de o VTNT ser utilizado dentro da área perigosa.

A posição de cada objeto virtual é especificada através de um arquivo que é carregado pelo software da ECI.

A geração de cada uma dessas imagens representa o emprego do conceito correspondente de TPI, RA e RV, e materializa um tipo de informação gerado pelo sistema de controle e navegação. A imagem final, apresentada para o operador através do HMD, resulta da fusão dessas três imagens, sendo que as imagens geradas pelos módulos de RA e RV são sobrepostas à imagem captada pela câmera embarcada.

O funcionamento do módulo de RA está baseado na determinação da posição e orientação do VTNT em relação ao mundo real e na orientação da câmera embarcada em relação ao próprio VTNT. A determinação da sua posição é feita através de um sistema de posicionamento, que também pode ser considerado um sistema de coordenadas do mundo real. A determinação da orientação do VTNT pode ser feita através de uma bússola digital embarcada. Já a orientação da câmera pode ser obtida a partir da orientação do veículo mais seus ângulos de rotação mais os ângulos de inclinação do veículo em relação ao solo.

O mesmo sistema de coordenadas de mundo real gerado por um sistema de posicionamento é utilizado como sistema de coordenadas para o mundo virtual onde são desenhados os objetos virtuais relacionados ao módulo de RA.

Este mundo virtual tem tamanho, posição e orientação equivalente à porção de mundo real sendo abrangida pelo sistema de posicionamento. Pode-se dizer que o mundo virtual é sobreposto à porção de mundo real e mapeado através da utilização de um mesmo sistema de coordenadas. Isto exige que a câmera virtual utilizada para visualizar os objetos do mundo virtual seja calibrada de forma equivalente a câmera real embarcada no VTNT.

Através desta abordagem, os objetos gráficos disponibilizados pela RA ocupam a mesma posição nos dois mundos ao mesmo tempo. Qualquer posição especificada em um mundo está sendo especificada nos dois mundos. Como consequência desta sobreposição de mundos, e com base nos dados fornecidos pelo sistema de posicionamento, tem-se que a posição do VTNT é conhecida no mundo real e por isso é conhecida no mundo virtual. Assim, a posição da câmera é conhecida no mundo real por estar fixada no VTNT e por isso também é conhecida no mundo virtual.

Da mesma forma, a orientação do VTNT é conhecida no mundo real e por isso é conhecida no mundo virtual. Note-se que a posição da câmera é sempre igual à posição

do VTNT, mas a orientação dela não é sempre igual à orientação do VTNT. A orientação relativa da câmera em relação ao VTNT é conhecida porque é o próprio software que controla o VTNT quem aplica esta orientação, com base no movimento da cabeça do operador. Como resultado, tem-se que a orientação real da câmera é conhecida com base na orientação do VTNT e na orientação relativa da câmera em relação ao VTNT.

Em decorrência da relação direta entre o mundo real e o virtual em termos de posicionamento, orientação e tamanho, os objetos virtuais que são desenhados no mundo virtual e que são vistos ao mesmo tempo no mundo real parecem fazer parte da imagem do mundo real, pois possuem tamanho, posição e orientação compatível com o mundo real.

4 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE E NAVEGAÇÃO

Com o objetivo de verificar o quanto o sistema proposto pode aumentar a CS do operador e a eficiência da navegação, foi executado um processo de avaliação baseado na simulação de uma teleoperação. Nesta simulação é possível vivenciar uma missão com um VTNT, composta por um conjunto de tarefas.

A avaliação da execução dessas tarefas é realizada através de um processo de experimentação, observação e mensuração, no qual são levados em consideração aspectos quantitativos e qualitativos, tanto a partir de dados obtidos por aquisição automatizada durante a simulação, quanto pela análise de dados que resultam do aspecto cognitivo do operador executando a teleoperação, também coletados durante a execução da simulação através do método SAGAT.

O processo de avaliação utilizou tanto uma ECI quanto uma ECC. A comparação dos resultados obtidos a partir de cada uma delas é a forma de identificar o quanto o emprego da RV, RA e TPI pode aumentar a CS do operador e a eficiência da navegação. Ele foi realizado em duas etapas, denominadas Teste Piloto (seção 4.6) e Teste de Validação de Protótipo (seção 4.7). O objetivo do Teste Piloto foi definir em detalhes a melhor forma de aplicação do Teste de Validação de Protótipo. Nele verificou-se a necessidade de realizar alterações na EC e no simulador de VTNT visando a qualidade dos resultados a serem obtidos a partir da simulação. O objetivo do Teste de Validação de Protótipo foi realizar a avaliação empírica do sistema proposto.

A seção 4.1 apresenta a simulação propriamente dita, uma missão com um VTNT, a qual procura ser o mais realista possível quanto à situação apresentada. Além da ECI apresentada no capítulo 3, que é compatível com o método SAGAT de mensuração de CS, foram desenvolvidos um simulador de VTNT, descrito na seção 4.2, e um *software* que facilita a observação e a análise dos dados gerados durante a simulação, descrito na seção 4.5. Ambos são compatíveis com o método SAGAT. O simulador de VTNT foi construído devido à indisponibilidade de um veículo real e tem como objetivo principal gerar dados convincentes a serem apresentados na estação de controle. Já o *software* de observação e análise de dados permite que esse trabalho seja feito de forma quantitativa e qualitativa, levando em consideração ainda o fato de que os dados relacionados ao SAGAT são gerados na ECI e na ECC, os dados que definem se as respostas ao questionário SAGAT estão corretas são gerados no simulador de VTNT, e ambos precisam estar correlacionados. Nas seções 4.3 e 4.4 são abordados todos os aspectos

práticos relacionados à medição da eficiência da navegação e à medição de CS através do método SAGAT, respectivamente. Finalmente, as seções 4.6 e 4.7 apresentam a execução do processo de avaliação propriamente dito.

4.1 CENÁRIO DE TESTE SIMULADO

O cenário de teste é formado por um local remoto e um tipo de missão que pode ser realizada através do emprego de um VTNT.

No local remoto o VTNT realiza tarefas que fazem parte da missão a fim de que se possa avaliar o desempenho de seus sistemas relacionados. Neste trabalho, local remoto é virtual e faz parte do simulador de VTNT empregado nos testes.

Os dois principais aspectos levados em conta na elaboração da missão a ser realizada através de um VTNT foram a necessidade de se ter mecanismos para medir CS em seus três níveis e a medição da eficiência da navegação. Para isso, considerou-se que a simulação deveria gerar situações em que fosse possível ao operador:

- exercitar sua capacidade de navegar no local remoto;
- observar o local remoto;
- entender o que está ocorrendo no local remoto;
- prever os próximos acontecimentos.

A situação idealizada envolve um possível vazamento de material tóxico a partir de barris que foram deixados ao ar livre em uma determinada região previamente conhecida. Embora seja necessário verificar o que está ocorrendo no local o mais rápido possível, a presença de seres humanos deve ser evitada, o que gera uma oportunidade para o emprego de um VTNT.

O local remoto é composto por cinco regiões distintas, como pode ser visto na Figura 28. As regiões são as seguintes:

- ponto de partida e balizas (Figura 29);
- zona proibida 1 (ao fundo, na Figura 30);
- aglomerado de barris (Figura 31);
- zona proibida 2 (ao fundo, na Figura 32);
- ponto de chegada (Figura 33).

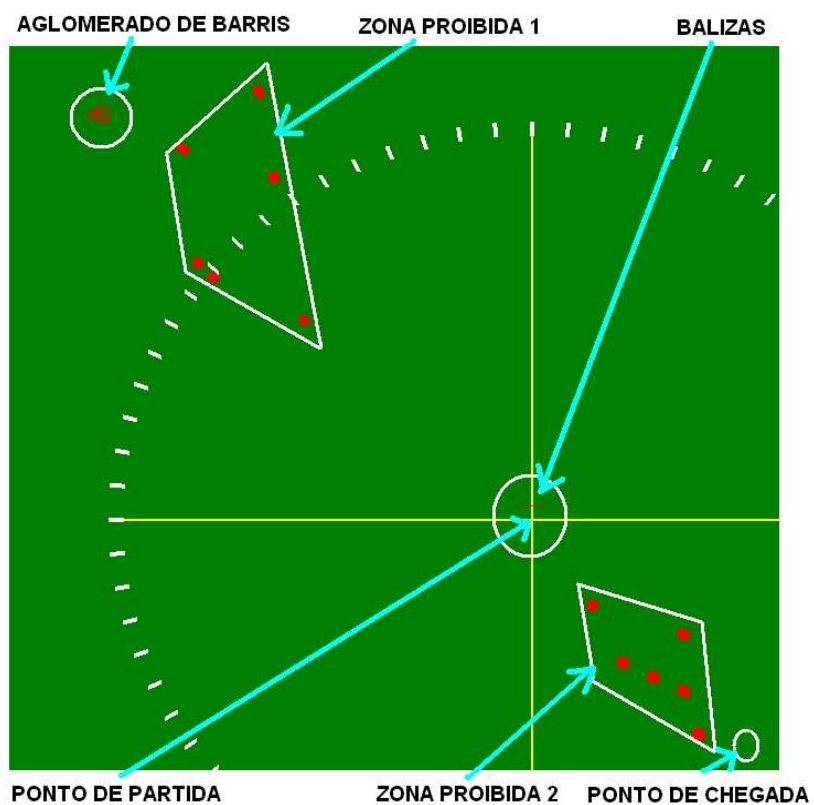


Figura 28 – Mapa do local remoto.

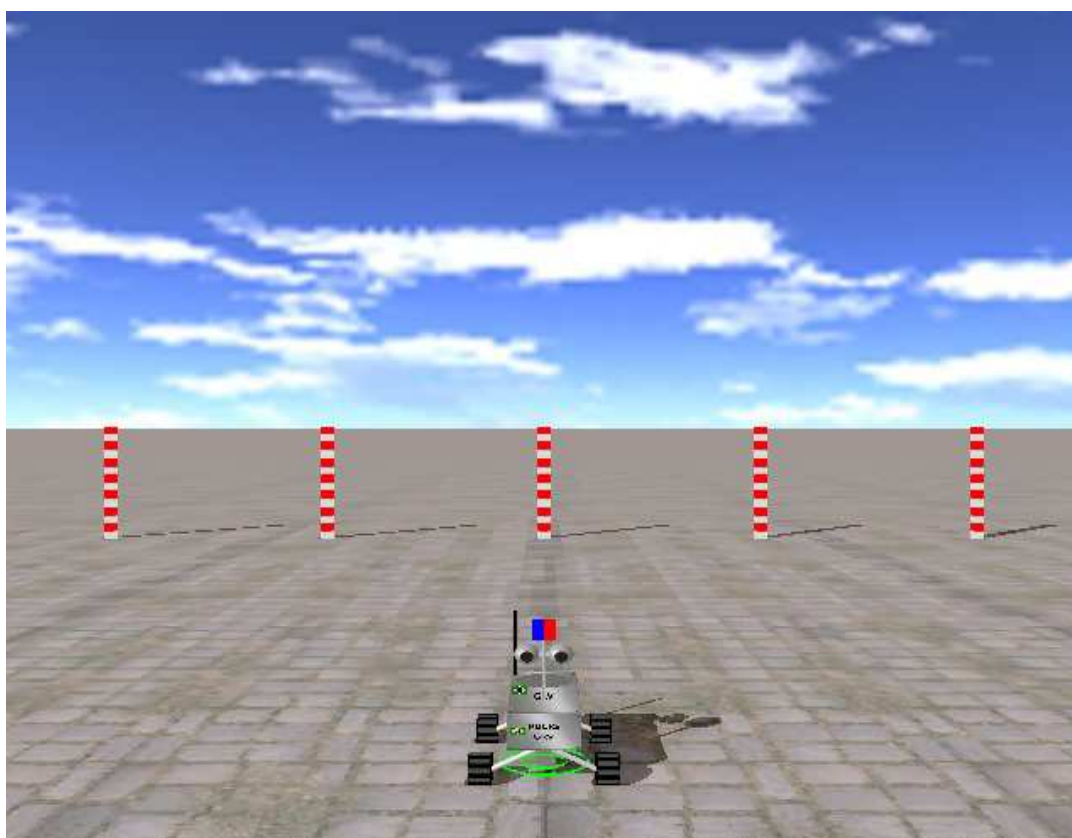


Figura 29 – Ponto de partida e balizas.

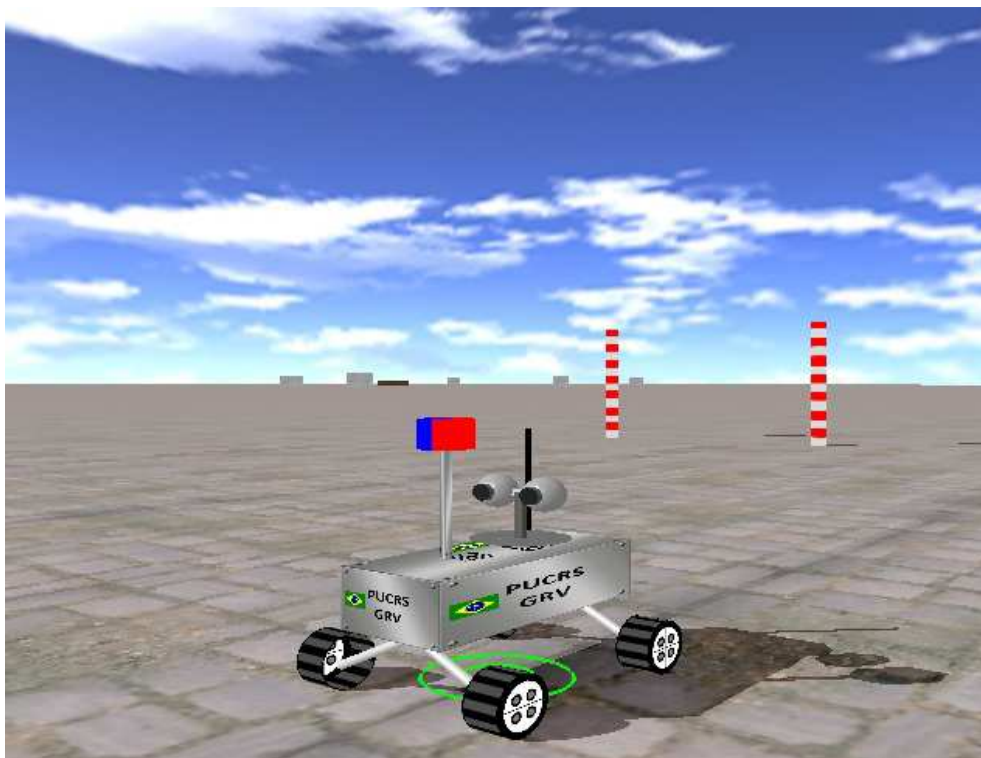


Figura 30 – Ao fundo, a zona proibida 1.

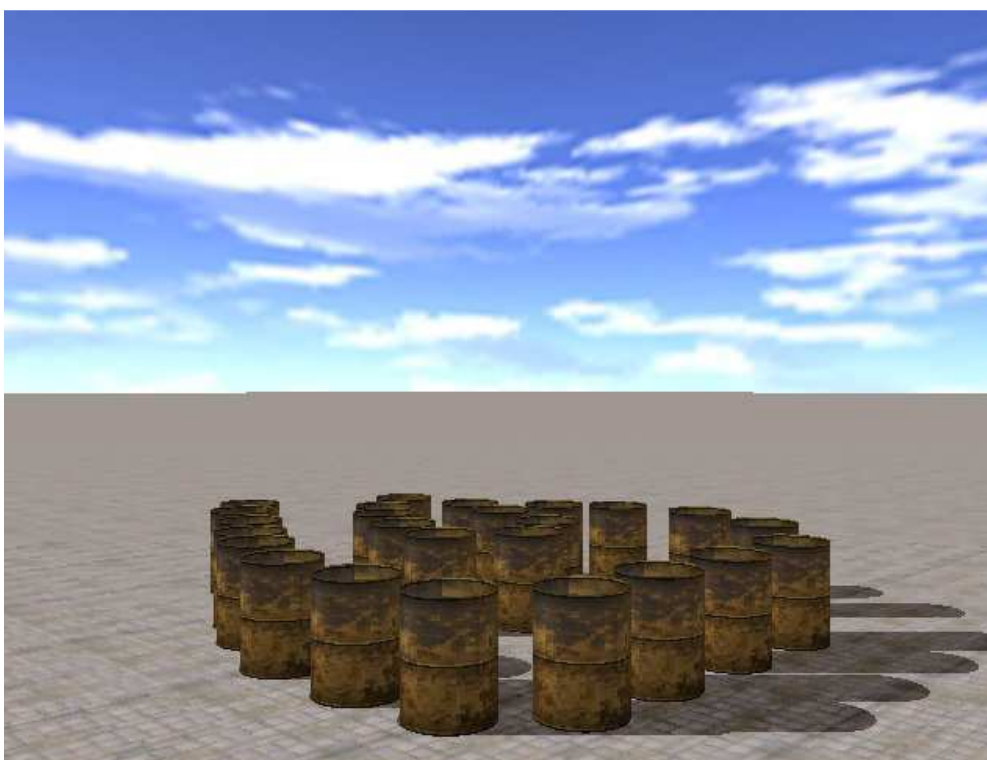


Figura 31 – Aglomerado de barris.

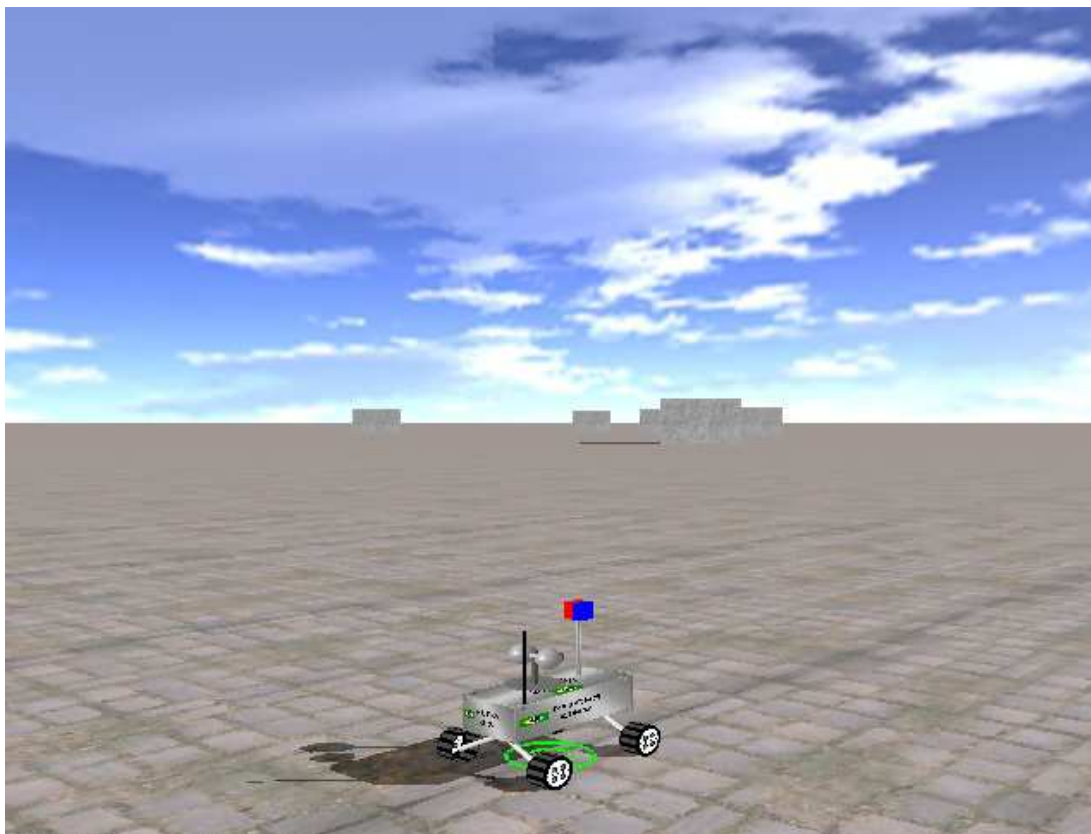


Figura 32 – Ao fundo, a zona proibida 2.

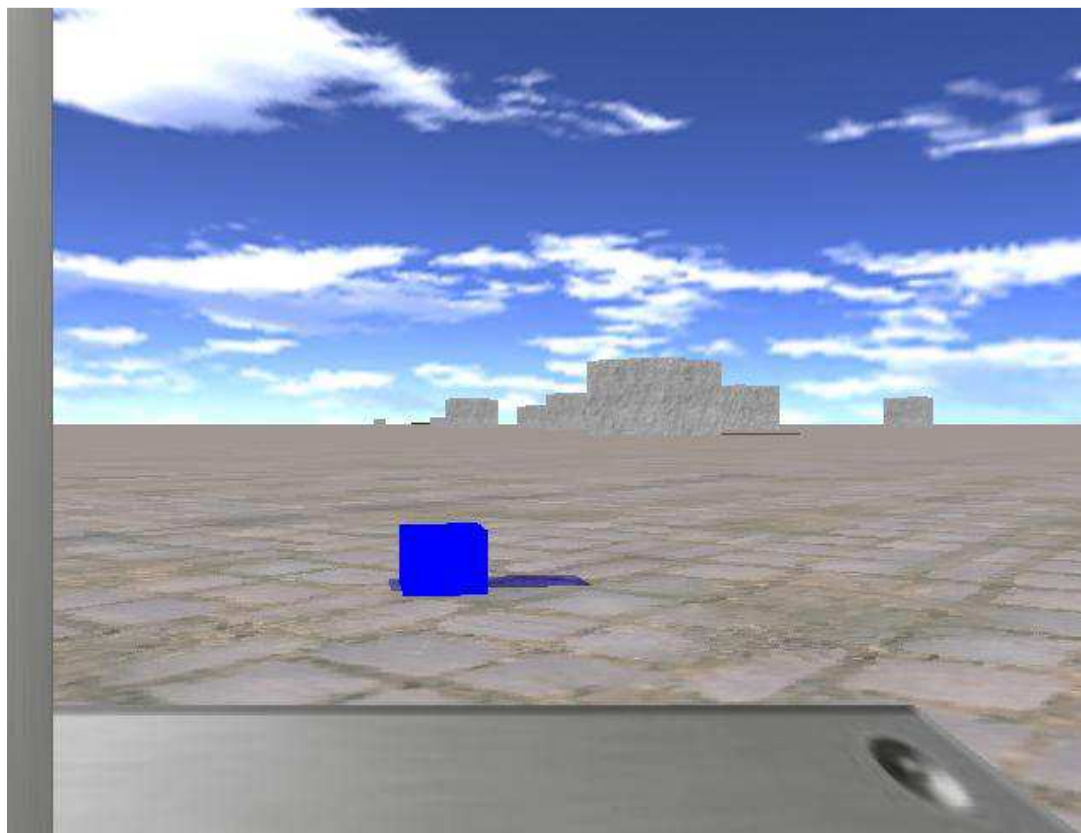


Figura 33 – Ponto de chegada simbolizado por um cubo azul.

A missão do operador do VTNT é dividida em um conjunto de tarefas, sendo elas:

- navegar e localizar o aglomerado de barris;
- encontrar e contar vazamentos;
- navegar e localizar as balizas e o ponto de partida;
- contornar as balizas duas vezes;
- navegar e localizar o ponto de chegada.

A principal tarefa do operador do VTNT é verificar se está ocorrendo vazamento e contar o número de vazamentos. Além disso, o veículo deve sofrer o mínimo de contaminação possível, pois terá de ser recolhido e manuseado em um momento posterior. Assim sendo, o veículo não deve tocar no material tóxico. A situação de vazamento criada em simulador pode ser vista na Figura 34.



Figura 34 – Exemplo de vazamento de material tóxico a partir de um barril.

O operador do VTNT não deve colidir o veículo com os obstáculos e deve trazê-lo de volta, levando-o para o ponto de chegada, um local onde o veículo pode ser recolhido.

No intuito de medir o nível de CS em seu mais alto nível (nível 3), dois vazamentos podem acabar bloqueando uma região fechada formada pelos barris e, caso o operador não perceba, ele não terá como sair dessa região fechada sem contaminar o veículo, conforme pode ser visto na Figura 35.

A simulação tem um tempo limite de 60 minutos, o qual está relacionado à capacidade da bateria definida para o VTNT virtual.

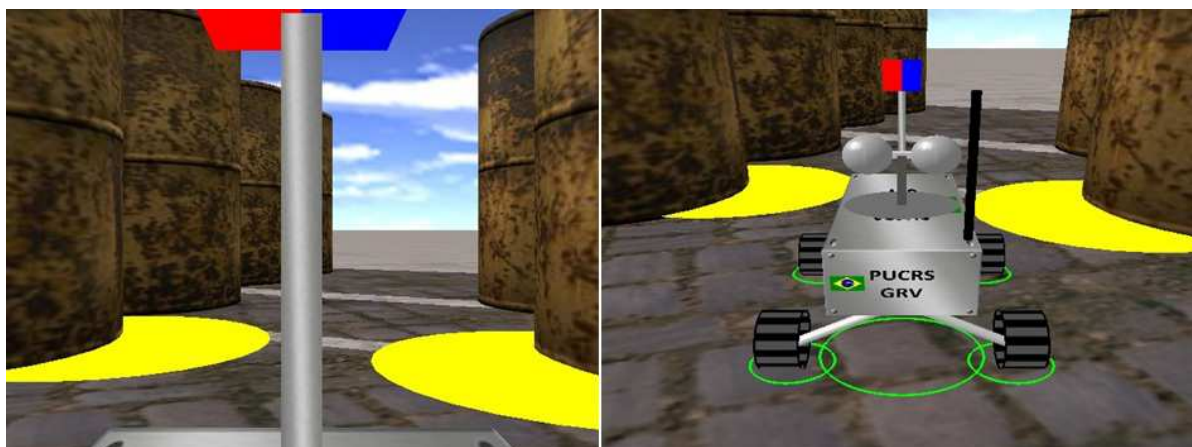


Figura 35 – Situação que pode ajudar a detectar CS de nível 3.

4.2 SIMULADOR DE VTNT

Para a simulação de uma missão com um VTNT em um local remoto foi desenvolvido um software simulador de VTNT baseando-se na ideia de que o contato entre uma EC e um VTNT ocorre somente através da troca de dados entre eles. Assim sendo, basta que o simulador saiba como funciona esta troca de dados e gere dados convincentes para o operador para que ele possa ser utilizado no lugar de um VTNT real. Barros et al [BAR11] também utilizaram um simulador ao investigarem o quanto o acréscimo de uma interface táctil a um sistema de teleoperação pode aumentar a CS do operador e o desempenho da teleoperação como um todo.

No caso do presente trabalho, o simulador é capaz de entender os comandos emitidos pela EC e gerar sequências de imagens que resultam dos comandos recebidos, bem como gerar dados que seriam provenientes de outros sensores, tais como posição e velocidade, importantes para a medição da eficiência da navegação.

É importante ressaltar que no caso dos dados gerados por sensores que não sejam as câmeras, não há diferença entre os dados reais e os dados gerados por simulador.

Já as imagens geradas pela câmera virtual que existe no simulador correspondem à visão de um mundo virtual, no caso o local remoto, e é pela interação do operador com esse mundo virtual que são criadas as situações através das quais é possível medir a CS do operador e a eficiência da navegação.

Como exemplos de vantagens do uso de uma simulação podem ser citados: exigir menos recursos, tornar possível a vivência de situações que seriam de difícil criação no mundo real, e automatizar a coleta de certos tipos de dados que, se feita manualmente,

não teria a mesma precisão. Um exemplo desta última situação é a contagem de quantas vezes o veículo colide com os barris de onde está vazando material tóxico e quantas vezes o veículo encosta neste material. Esta contagem é importante tanto na mensuração da eficiência da navegação quanto como medida auxiliar na identificação do nível de CS do operador.

O simulador foi implementado no ambiente de programação Microsoft Visual Studio 2008 e é capaz de ser executado somente no sistema operacional Microsoft Windows. Na implementação foi utilizada a linguagem de programação "C", bem como as bibliotecas de programação OpenGL e GLUT.

As imagens apresentadas ao usuário da EC poderiam ser geradas no mesmo computador onde se encontra esta estação, já que os dados do mundo virtual são todos artificiais e poderiam ser replicados no simulador e na EC. Entretanto, para simular com maior realismo as situações de atraso na comunicação, as imagens do mundo virtual são geradas no simulador e transmitidas via rede para a EC. Antes de serem transmitidas, essas imagens passam por um processo de compressão realizado através da biblioteca LibJPEG.

Na implementação do simulador foi levado em consideração, para efeito de realismo, o tempo de resposta dos atuadores mecânicos do tipo servo-motor empregados no VTNT tanto para mover a câmera embarcada quanto para definir a direção das rodas dianteiras. Nesse sentido, um comando para mudar a direção das rodas dianteiras é atendido em uma velocidade menor do que a utilizada na movimentação do próprio *joystick*. Da mesma forma, a velocidade de movimentação da câmera embarcada não é igual à velocidade com que o operador movimenta a sua própria cabeça.

O ambiente virtual ou local remoto do simulador é formado por uma *skybox*⁵ e um terreno sem relevo cuja dimensão equivale a um quadrado de 1 Km de lado. Neste local estão implementadas as cinco regiões descritas na seção 4.1.

O VTNT virtual, apresentado na Figura 36, tem aproximadamente 40 cm de comprimento. Em sua parte superior está situado o ponto onde é posicionada a câmera virtual, que corresponde a sua câmera embarcada. Originalmente, a câmera estava posicionada na parte anterior do veículo. Entretanto, na imagem captada a partir dessa posição era impossível visualizar o próprio veículo, o que dificultava a sua operação.

⁵ **Skybox: Cubo que contém em seu interior ambiente virtual da aplicação gráfica e em cujas faces internas são aplicadas texturas que simulam o céu.**
[http://en.wikipedia.org/wiki/Skybox_\(video_games\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Skybox_(video_games)). Acessado em 20/07/2010.

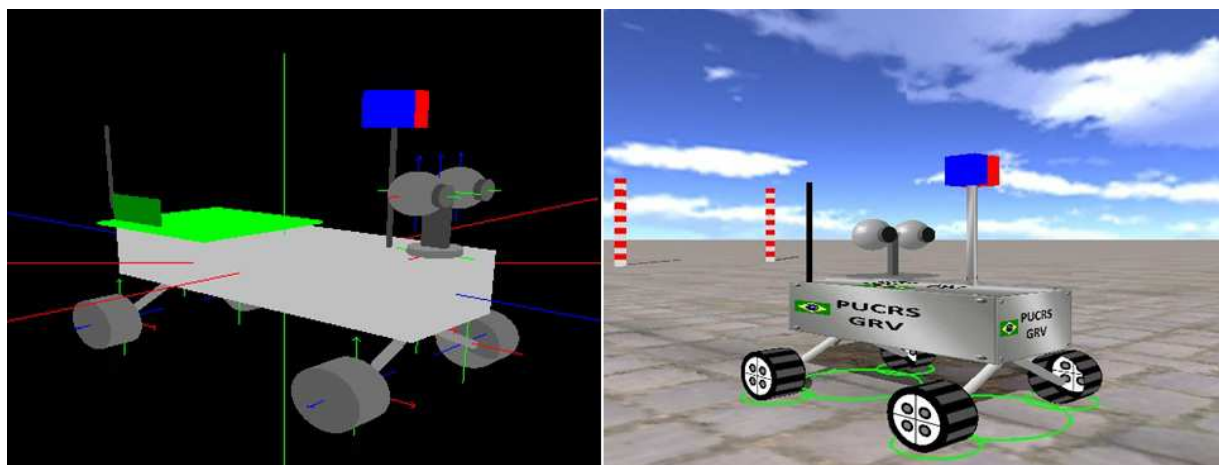


Figura 36 – Modelo virtual do VTNT, original e final, com câmera reposicionada.

O comportamento físico do veículo é simulado de forma limitada. São considerados apenas seu peso, a força do motor e a posição do acelerador para calcular sua aceleração e velocidade. Para fins de simulação, sua posição é definida em termos de coordenadas X e Z que formam o plano correspondente ao terreno do local remoto. Estas posições são geradas a partir de um modelo que descreve a cinemática de veículos com quatro rodas, sendo as rodas dianteiras responsáveis por atuar no direcionamento do veículo. Neste modelo, denominado modelo Ackerman [OSO09], o veículo descreve uma curva ao redor de um ponto central virtual que é definido de acordo com o ângulo de esterçamento das rodas dianteiras

A posição do veículo, sua direção, e o ângulo de rotação da câmera nos seus eixos vertical e transversal são os dados utilizados pela ECI na geração dos objetos virtuais relacionados à RA.

Quando o veículo está sendo controlado a partir de uma ECC, a câmera virtual não se move. Ela aponta sempre para a direção que corresponde ao avanço do veículo para a frente. Quando o veículo está sendo controlado por uma ECI, a câmera virtual pode ser movimentada nos seus eixos vertical e horizontal (transversal) independentemente da movimentação do veículo.

Os dados gerados pelo simulador são compatíveis com os dados gerados por uma plataforma real. Essa compatibilidade permite que os dados obtidos durante o processo de validação possam ser provenientes tanto da operação de um VTNT real quanto de um virtual. Como condição para a compatibilidade com outros elementos da plataforma, o processo de comunicação de dados com a ECI deve ser igual ao que seria utilizado entre a ECI e um VNT real.

Tanto a compatibilidade quanto o realismo dos dados gerados pelo simulador (se comparados com os dados gerados por um VTNT real), são proporcionados por um algoritmo de controle de VTNT capaz de ser empregado em um VTNT real. Este algoritmo é composto pelos seguintes passos principais:

- receber pacote de dados contendo comando da ECI;
- executar comando (posicionar câmera e rodas dianteiras, controlar motor de tração);
- gerar imagem a ser capturada pela câmera (somente no simulador);
- obter imagem capturada pela câmera;
- obter dados de outros sensores (posição, velocidade, bateria, orientação das câmeras,...);
- gerar pacote de dados de sensores contendo imagem e outros dados;
- enviar pacote de dados de sensores para a ECI.

Os dados gerados e gravados pelo simulador são os seguintes:

- identificador de passo de simulação;
- posição do acelerador;
- direção das rodas dianteiras;
- força resultante da posição do acelerador;
- aceleração;
- velocidade;
- posição X,Y,Z do veículo no mundo virtual;
- direção do veículo no mundo virtual;
- sentido do avanço do veículo, para frente ou para trás;
- inclinação do veículo no eixo transversal (sempre zero);
- inclinação do veículo no eixo longitudinal (sempre zero);
- ângulo de rotação da câmera embarcada, no seu eixo vertical;
- ângulo de rotação da câmera embarcada, no seu eixo horizontal (transversal);
- distância percorrida até o momento;
- indicador de veículo freando;
- indicador de nível da bateria;
- contador de colisões;
- contador de contatos com material tóxico.

O simulador é compatível com o método SAGAT por dois motivos. O primeiro é por ele ser capaz de enviar para a EC seus dados de simulação, gerados a cada 250 milésimos de segundo, quando possível. Neste contexto, o principal dado enviado é o identificador de passo de simulação. Através deste dado, é possível relacionar o momento em que o formulário SAGAT é apresentado na EC com o respectivo momento da simulação. Isto permite que os dados da simulação sejam comparados com as respostas do formulário SAGAT. Assim, é possível verificar, através de um processo não automatizado, se essas respostas estão corretas.

O segundo motivo da compatibilidade do simulador com o método SAGAT é que o simulador é capaz de interromper seu processamento enquanto o formulário SAGAT é apresentado na EC. Isto é possível porque a EC envia um comando para o simulador informando que o formulário começou a ser apresentado para o operador do VTNT, havendo um comando equivalente para o término da apresentação do formulário.

Ao final de uma ou mais simulações, os dados gerados tanto pelo simulador quanto pela EC, através das respostas do formulário SAGAT, podem ser analisados com o auxílio da ferramenta de análise descrita na Seção 4.5.

4.3 MEDIÇÃO DA EFICIÊNCIA DE NAVEGAÇÃO

A medição da eficiência da navegação realizada com o VTNT é baseada em dados que descrevem tanto a utilização do veículo quanto a interação deste com o ambiente que o cerca. Os dados são gerados no simulador de VTNT e coletados a partir dos testes realizados em duas situações: teleoperação realizada com uma ECI e com uma ECC. Estas duas situações e seu conjunto de testes geram dados que são processados para a obtenção de seus respectivos totalizadores. A eficiência da navegação é indicada pelo conjunto de valores dos seguintes totalizadores:

- total de alterações da direção das rodas (direita/esquerda);
- total de alterações de direção maiores que 10 graus;
- velocidade média;
- somatório de distâncias percorridas;
- distância percorrida média;
- maior distância percorrida;
- menor distância percorrida;
- consumo médio de bateria;
- maior consumo de bateria;

- menor consumo de bateria;
- total geral de colisões;
- total geral de contaminações.

O total de alterações da direção das rodas, o total de alterações da direção do veículo e a velocidade média do veículo podem indicar o quanto este precisou ser manobrado. Distâncias percorridas e consumo de bateria podem indicar o quanto o veículo foi acionado para realizar as tarefas previstas na missão. O total geral de colisões e contaminações podem indicar o quanto foi mais fácil ou difícil observar o local remoto e manobrar o veículo.

4.4 MEDIÇÃO DE CONSCIÊNCIA SITUACIONAL

Conforme já foi mencionado, a medição do nível de CS do operador foi feita através do método SAGAT. Para Endsley [END00], uma das questões mais importantes relacionadas ao emprego deste método é a determinação das perguntas mais adequadas a serem utilizadas em um determinado experimento. Fazer perguntas que são relevantes à CS do operador durante as interrupções inerentes ao método é condição determinante da sua utilidade.

A determinação de quais aspectos de um experimento são relevantes para a CS de um operador pode ser feita através de um método denominado **Goal-Directed Task Analysis (GDTA)** [END00]. Nesse método, as principais metas a serem atingidas em uma missão são determinadas, e então para cada meta em particular são definidas submetas, as quais devem ser atingidas como pré-requisito para atingir a meta maior, e assim sucessivamente. As metas são atingidas com base na tomada de decisões. As decisões são tomadas a partir de dados de caráter dinâmico associadas a cada meta, que por sua vez são denominados de **Requerimentos da CS**.

Segundo Endsley [END00], este tipo de análise é conduzida a partir de diversas fontes de informação, tais como o conhecimento de especialistas, a observação da execução de tarefas e análise de documentação associada. É importante observar que o GDTA foca em metas e não em tarefas, pois as metas formam a base do processo de tomada de decisão em muitos ambientes complexos. De forma geral, o GDTA busca identificar o que um operador gostaria de saber para poder atingir um determinado objetivo.

Neste trabalho, um GDTA para a teleoperação de VTNT foi criado com base no GDTA definido por Endsley [END11][END00], em pesquisas semelhantes [RIL05], e a

partir da missão definida neste trabalho e utilizada no cenário de teste. Este GDTA é apresentado na Figura 37.

<p>OBJETIVO PRINCIPAL: Estar ciente da situação atual do veículo.</p> <p>SUB-OBJETIVOS: Manter o veículo em funcionamento.</p> <p>PERGUNTAS DO OPERADOR: Qual a largura do veículo? Qual o comprimento do veículo? Qual a duração total da bateria? Qual o nível atual da bateria? Qual a localização do veículo? Qual a direção do veículo? Qual a velocidade do veículo? Qual a orientação da câmera em relação ao veículo? O veículo está contaminado?</p> <p>REQUERIMENTOS DE CS Largura do veículo. Comprimento do veículo. Duração da bateria (em minutos, levando em consideração consumo médio). Nível da bateria. Localização do veículo (em termos de coordenadas geográficas). Direção do veículo. velocidade do veículo. orientação da câmera em relação ao veículo.</p>
<p>OBJETIVO PRINCIPAL: Navegar com o veículo.</p> <p>SUB-OBJETIVOS: Saber onde o veículo se encontra. Mover-se na direção correta. Não operar em área proibida. Evitar obstáculos. Evitar colisão. Não contaminar o veículo.</p> <p>PERGUNTAS DO OPERADOR: Onde o veículo está em relação ao terreno? Para onde o veículo está indo? Onde o veículo estará no próximo instante? Para que lado fica...? Qual a distância do veículo em relação a...? O veículo pode prosseguir navegando?</p> <p>REQUERIMENTOS DE CS: Distância percorrida desde o ponto de partida ou início da missão. Localização do veículo no terreno. Direção a ser seguida. Localização projetada do veículo no terreno. Impacto da orientação do veículo na sua mobilidade. Espaço disponível para o veículo passar. Quais são os objetos próximos. Qual a distância até esses objetos Distância até o ponto inicial. Distância até o ponto final. Localização de obstáculos. Distância até obstáculos.</p>
<p>OBJETIVO PRINCIPAL: Estar ciente da situação atual da missão.</p> <p>SUB-OBJETIVOS: Saber se é possível executar a missão.</p>

<p>PERGUNTAS DO OPERADOR: Quais são as tarefas a serem executadas? Qual é a tarefa principal? Qual a ação a ser executada em cada tarefa? Qual o local de execução de cada tarefa? Qual é a tarefa atual? A localização atual do veículo corresponde à tarefa atual? A ação atual do veículo corresponde à tarefa atual? Há tempo suficiente para completar a tarefa? Qual é a próxima tarefa? Há tempo suficiente para completar todas as tarefas ou completar a missão? O veículo está em condições de permanecer na missão?</p> <p>REQUERIMENTOS DE CS: Lista de tarefas. O que deve ser feito em cada tarefa. Local de execução de cada tarefa. Número de tarefas completadas. Número de tarefas restantes. Tempo decorrido desde o início da missão. Tempo decorrido desde o início da tarefa. Tarefa atual. Próxima tarefa. Tempo restante até o fim da bateria. Estar ciente da situação do veículo.</p>
<p>OBJETIVO PRINCIPAL: Verificar se está ocorrendo vazamento de material tóxico a partir de um aglomerado de barris deixados ao ar livre em um determinado local.</p> <p>SUB-OBJETIVOS: Localizar o aglomerado de barris. Encontrar vazamentos. Contar o número de vazamentos.</p> <p>PERGUNTAS DO OPERADOR: A região atual possui um aglomerado de barris? Há algum barril vazando? Quantos barris estão vazando?</p> <p>REQUERIMENTOS DE CS: Posição de cada vazamento. Número de vazamentos.</p>
<p>OBJETIVO PRINCIPAL: Levar o veículo até o ponto de chegada.</p> <p>SUB-OBJETIVOS: Não danificar ou contaminar o veículo.</p> <p>PERGUNTAS DO OPERADOR: O veículo está danificado? O veículo está contaminado? Onde está o veículo? Onde está o ponto de chegada? Há combustível suficiente para ir até o ponto de chegada?</p> <p>REQUERIMENTOS DE CS Situação do veículo. Posição do veículo.</p>

Figura 37 – GDTA para teleoperação de VTNT e adaptado para a missão em questão.

É importante observar que nem todas as perguntas precisam ser aplicáveis aos diferentes momentos de uma missão, a qual pode estar dividida por tarefas a serem realizadas, fazendo com que determinadas perguntas só façam sentido durante a

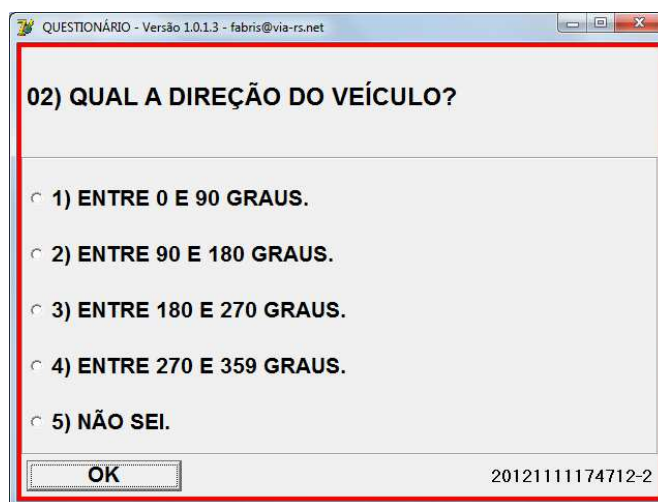
execução de determinadas tarefas [JON04]. O questionário SAGAT utilizado neste trabalho é apresentado na Figura 38.

<p>01) QUAL O NÍVEL DA BATERIA?</p> <p>1) QUASE TOTALMENTE CARREGADA. 2) MUITO CARREGADA. 3) CARREGADA EM SEU VALOR MÉDIO. 4) POUCO CARREGADA. 5) QUASE TOTALMENTE DESCARREGADA. 6) NÃO SEI.</p>
<p>02) QUAL A DIREÇÃO DO VEÍCULO?</p> <p>1) ENTRE 0 E 90 GRAUS. 2) ENTRE 90 E 180 GRAUS. 3) ENTRE 180 E 270 GRAUS. 4) ENTRE 270 E 359 GRAUS. 5) NÃO SEI.</p>
<p>03) QUAL A VELOCIDADE DO VEÍCULO?</p> <p>1) ENTRE 0.0 E 0.5 m/s. 2) ENTRE 0.5 E 1.0 m/s. 3) ENTRE 1.0 E 1.5 m/s. 4) MAIS DE 1.5 m/s. 5) NÃO SEI.</p>
<p>04) QUAL A ORIENTAÇÃO DA CÂMERA EM RELAÇÃO AO VEÍCULO?</p> <p>1) VIRADA PARA FRENTE. 2) VIRADA PARA TRÁS. 3) VIRADA PARA A ESQUERDA. 4) VIRADA PARA A DIREITA. 5) NÃO SEI.</p>
<p>05) ONDE O VEÍCULO ESTÁ EM RELAÇÃO AOS ELEMENTOS DO TERRENO?</p> <p>1) PRÓXIMO AO PONTO DE PARTIDA. 2) PRÓXIMO A ZONA PROIBIDA 1. 3) PRÓXIMO AO AGLOMERADO DE BARRIS. 4) PRÓXIMO A ZONA PROIBIDA 2. 5) PRÓXIMO AO PONTO DE CHEGADA. 6) NENHUMA DAS ALTERNATIVAS. 7) NÃO SEI.</p>
<p>06) INDEPENDENTE DA DISTÂNCIA, PARA ONDE O VEÍCULO ESTÁ APONTANDO?</p> <p>1) APROXIMADAMENTE EM DIREÇÃO AO PONTO DE PARTIDA. 2) APROXIMADAMENTE EM DIREÇÃO A ZONA PROIBIDA 1. 3) APROXIMADAMENTE EM DIREÇÃO AO AGLOMERADO DE BARRIS. 4) APROXIMADAMENTE EM DIREÇÃO A ZONA PROIBIDA 2. 5) APROXIMADAMENTE EM DIREÇÃO AO PONTO DE CHEGADA. 6) NENHUMA DAS ALTERNATIVAS. 7) NÃO SEI.</p>
<p>07) INDEPENDENTE DA DISTÂNCIA E A PARTIR DA DIREÇÃO DO VEÍCULO, PARA QUE LADO FICA O PONTO DE CHEGADA?</p> <p>1) APROXIMADAMENTE À FRENTE DO VEÍCULO. 2) APROXIMADAMENTE À DIREITA DO VEÍCULO. 3) APROXIMADAMENTE À ESQUERDA DO VEÍCULO. 4) APROXIMADAMENTE ATRÁS DO VEÍCULO. 5) NÃO SEI.</p>
<p>08) INDEPENDENTE DA DISTÂNCIA E A PARTIR DA DIREÇÃO DO VEÍCULO, PARA QUE LADO FICA O AGLOMERADO DE BARRIS?</p> <p>1) APROXIMADAMENTE À FRENTE DO VEÍCULO. 2) APROXIMADAMENTE À DIREITA DO VEÍCULO. 3) APROXIMADAMENTE À ESQUERDA DO VEÍCULO. 4) APROXIMADAMENTE ATRÁS DO VEÍCULO. 5) NÃO SEI.</p>

<p>09) O VEÍCULO ESTÁ PRÓXIMO DE UM OBJETO, OBSTÁCULO OU VAZAMENTO?</p> <p>1) NÃO. 2) SIM. 3) NÃO SEI.</p>
<p>10) PARA QUE LADO FICA ESTE OBJETO, OBSTÁCULO OU VAZAMENTO MAIS PRÓXIMO?</p> <p>1) APROXIMADAMENTE À FRENTE DO VEÍCULO. 2) APROXIMADAMENTE À DIREITA DO VEÍCULO. 3) APROXIMADAMENTE À ESQUERDA DO VEÍCULO. 4) APROXIMADAMENTE ATRÁS DO VEÍCULO.</p>
<p>11) QUAL A DISTÂNCIA ATÉ ESSE OBJETO, OBSTÁCULO OU VAZAMENTO?</p> <p>1) MENOS DE 10 cm. 2) ENTRE 10 E 30 cm. 3) ENTRE 30 E 60 cm. 4) MAIS DE 60 cm. 5) NÃO SEI.</p>
<p>12) QUANTOS VAZAMENTOS ESTÃO OCORRENDO?</p> <p>1) ENTRE 1 E 3. 2) ENTRE 4 E 6. 3) ENTRE 7 E 9. 4) MAIS DE 9. 5) NÃO SEI AINDA. 7) NÃO HÁ VAZAMENTO.</p>
<p>13) O VEÍCULO ESTÁ CONTAMINADO OU JÁ COLIDIU?</p> <p>1) NÃO. 2) SIM. 3) NÃO SEI.</p>
<p>14) QUAL TAREFA ESTÁ EM EXECUÇÃO?</p> <p>1) NAVEGAR E ENCONTRAR AGLOMERADO DE BARRIS. 2) ENCONTRAR E CONTAR VAZAMENTOS. 3) NAVEGAR E LOCALIZAR PONTO DE PARTIDA/BALIZAS. 4) CONTORNAR AS BALIZAS. 5) NAVEGAR E LOCALIZAR PONTO DE CHEGADA.</p>
<p>15) A LOCALIZAÇÃO DO VEÍCULO CORRESPONDE A TAREFA ATUAL?</p> <p>1) NÃO. 2) SIM. 3) NÃO SEI.</p>

Figura 38 - Questionário SAGAT.

Estas perguntas são apresentadas para o operador do VTNT durante a teleoperação através de um software que gera uma sequência de telas, cada uma contendo uma pergunta, conforme pode ser visto na Figura 39. Ao serem apresentadas, estas telas cobrem por completo a interface da estação de controle, não permitindo que o operador veja os dados que descrevem a situação do veículo e nem a imagem captada pela câmera embarcada.



QUESTIONÁRIO - Versão 1.0.1.3 - fabris@via-rs.net

02) QUAL A DIREÇÃO DO VEÍCULO?

1) ENTRE 0 E 90 GRAUS.

2) ENTRE 90 E 180 GRAUS.

3) ENTRE 180 E 270 GRAUS.

4) ENTRE 270 E 359 GRAUS.

5) NÃO SEI.

OK 20121111174712-2

Figura 39 – Formulário com uma pergunta do método SAGAT.

4.5 VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A grande quantidade de dados gerados nas diversas simulações realizadas durante o processo de validação do sistema proposto, bem como o tipo de dado gerado, podem ser melhor visualizados e analisados se houver uma ferramenta que possua funcionalidades específicas para tratar os dados gerados pelo simulador de VTNT.

Além disso, para realizar a correção das respostas obtidas através da aplicação do questionário SAGAT, é necessário que essas respostas sejam integradas aos dados gerados pelo simulador, pois são estes dados, observados em momento específico, que dirão se as respostas ao questionário estão corretas.

Assim sendo, com o objetivo de facilitar a visualização e a análise dos dados gerados pelo simulador e pela aplicação do questionário do método SAGAT, foi implementado um software para tratar os dados gerados por VTNT. Uma das telas deste software pode ser vista na Figura 40.

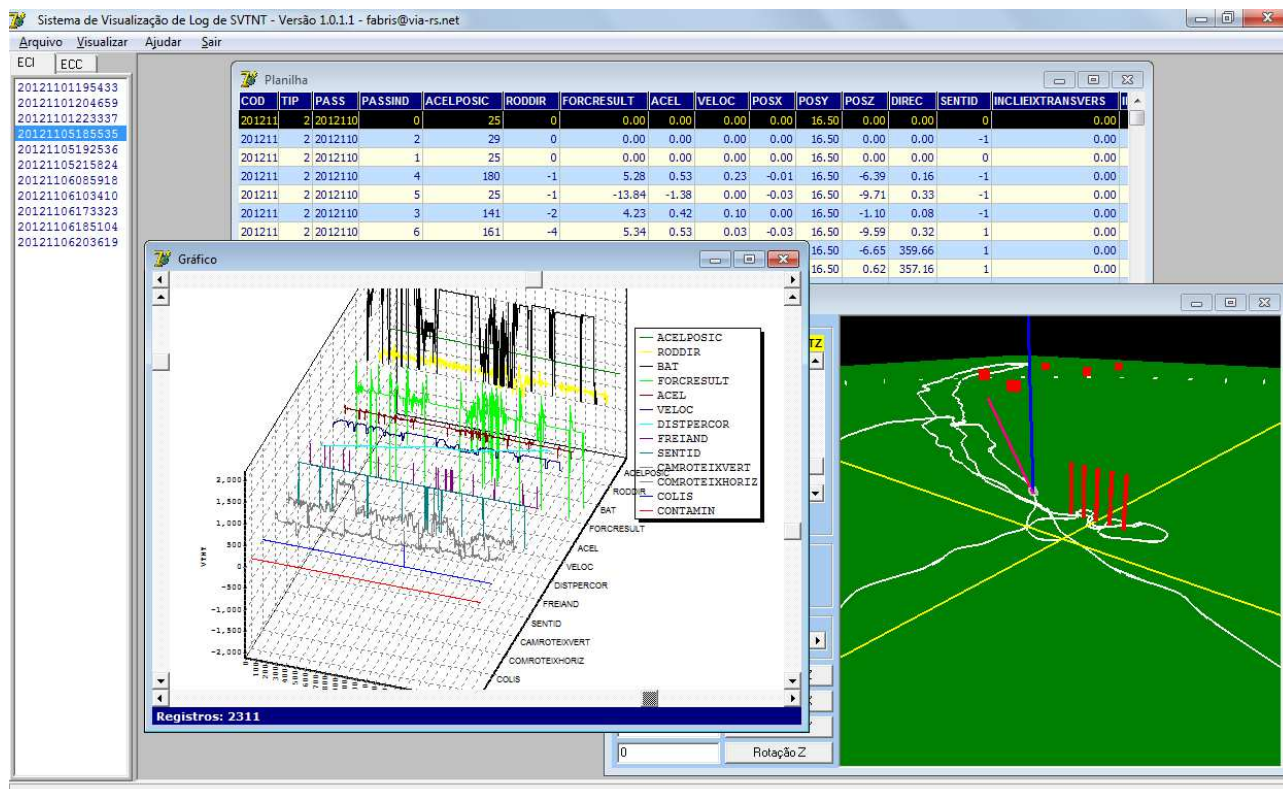


Figura 40 – Visualizador de Log gerado pelo simulador de VTNT.

As principais funcionalidades deste software são:

- importar dados gerados pelo simulador de VTNT;
- armazenar dados em banco de dados;
- visualizar os dados de forma básica, em três formatos diferentes;
- associar uma determinada aplicação do questionário SAGAT com seu respectivo registro de simulação no banco de dados;
- visualizar os dados de maneira integrada.

Com relação à funcionalidade de visualização básica em três formatos diferentes, o objetivo é permitir que os dados possam ser analisados tanto de forma quantitativa como qualitativa. Nessas visualizações os dados são apresentados na forma de planilha (Figura 41), na forma de gráfico (Figura 42) e na forma de trajetória percorrida pelo VTNT no local remoto (Figura 43).

Sistema de Visualização de Log de SVTNT - Versão 1.0.1.1 - fabris@via-rs.net - [Planilha]

ECC	COD	TIP	PASS	PASSIND	ACELPOSIC	RODDIR	FORCRESULT	ACEL	VELOC	POSX	POSY	POSZ	DIREC	SENTID	INCLIEIXTRANSVERS	INCLIEIXLONGIT
20121101195433	20121101223337	2	20121101223338	0	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20121101204659	20121101223337	2	20121101223338	1	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20121101223337	20121101223337	2	20121101223338	2	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20121105185535	20121101223337	2	20121101223339	3	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20121105192536	20121101223337	2	20121101223339	4	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20121105215824	20121101223337	2	20121101223339	5	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20121106085918	20121101223337	2	20121101223339	6	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20121106103410	20121101223337	2	20121101223340	7	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20121106173323	20121101223337	2	20121101223340	8	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20121106185104	20121101223337	2	20121101223340	9	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20121106203619	20121101223337	2	20121101223340	10	26	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	-1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223341	11	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	-1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223341	12	25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	-1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223341	13	95	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	-1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223342	14	31	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	-1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223342	15	69	-3	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	-1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223342	16	65	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	-1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223342	17	45	-1	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	-1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223343	18	31	0	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	-1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223343	19	25	-1	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	-1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223343	20	62	-5	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223344	21	104	-10	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223344	22	164	-15	0,10	0,01	0,00	0,00	16,50	0,00	360,00	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223344	23	183	-15	5,76	0,58	0,15	-0,03	16,50	2,56	358,81	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223344	24	183	-18	5,14	0,51	0,30	-0,42	16,50	9,41	355,30	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223345	25	183	-16	4,58	0,46	0,43	-1,79	16,50	19,44	350,20	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223345	26	164	-16	3,39	0,34	0,54	-5,18	16,50	33,03	343,22	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223345	27	164	-16	3,03	0,30	0,62	-10,93	16,50	47,63	335,41	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223345	28	160	-16	2,56	0,26	0,70	-20,41	16,50	63,90	326,02	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223346	29	141	-16	1,58	0,16	0,75	-32,80	16,50	78,77	316,38	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223346	30	146	-16	1,64	0,16	0,79	-49,45	16,50	92,68	305,56	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223346	31	141	-18	1,22	0,12	0,83	-68,42	16,50	103,16	294,32	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223347	32	160	-17	1,81	0,18	0,88	-91,75	16,50	109,89	280,92	1	0,00	0,00
	20121101223337	2	20121101223347	33	137	-17	0,71	0,07	0,92	-117,22	16,50	111,12	267,35	1	0,00	0,00

Registros: 1960

Figura 41 – Visualização na forma de planilha.

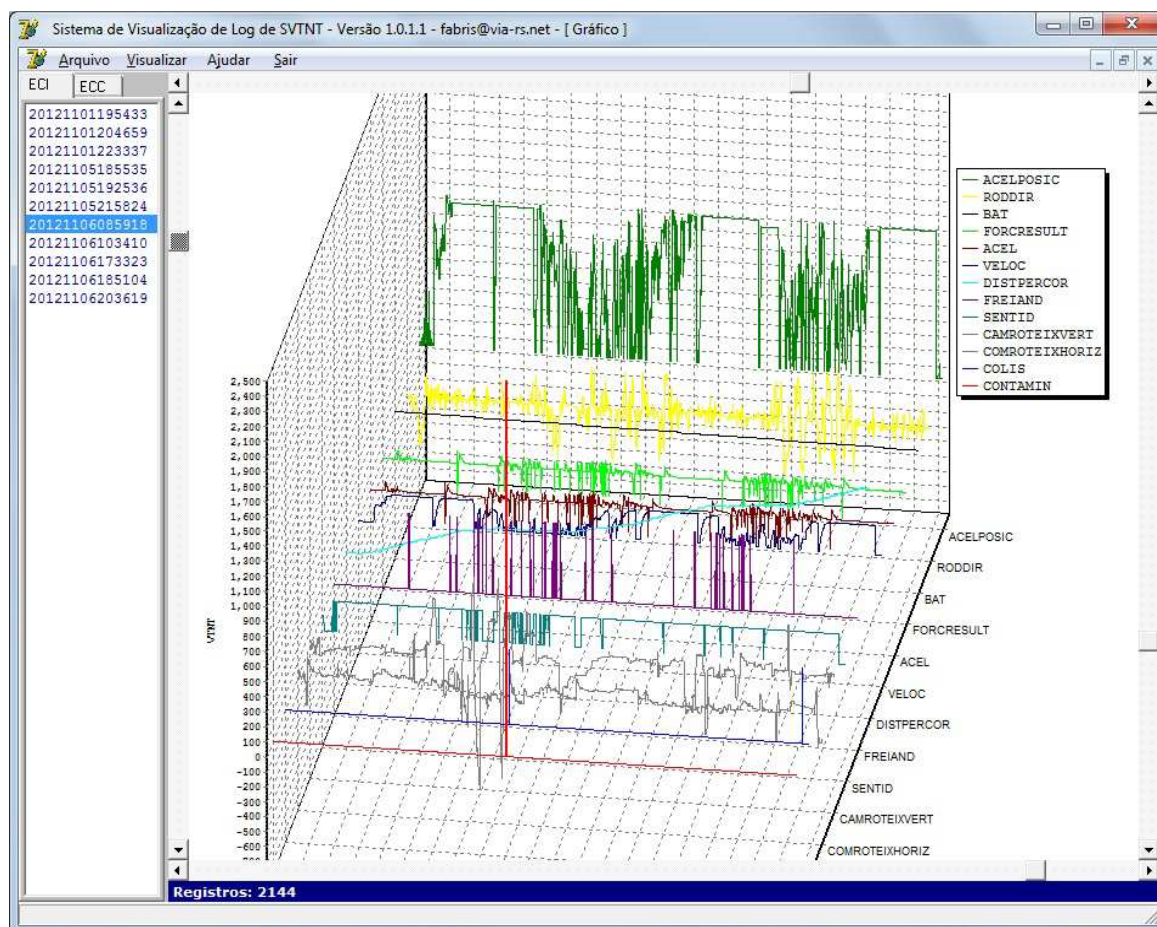


Figura 42 – Visualização na forma de gráfico.

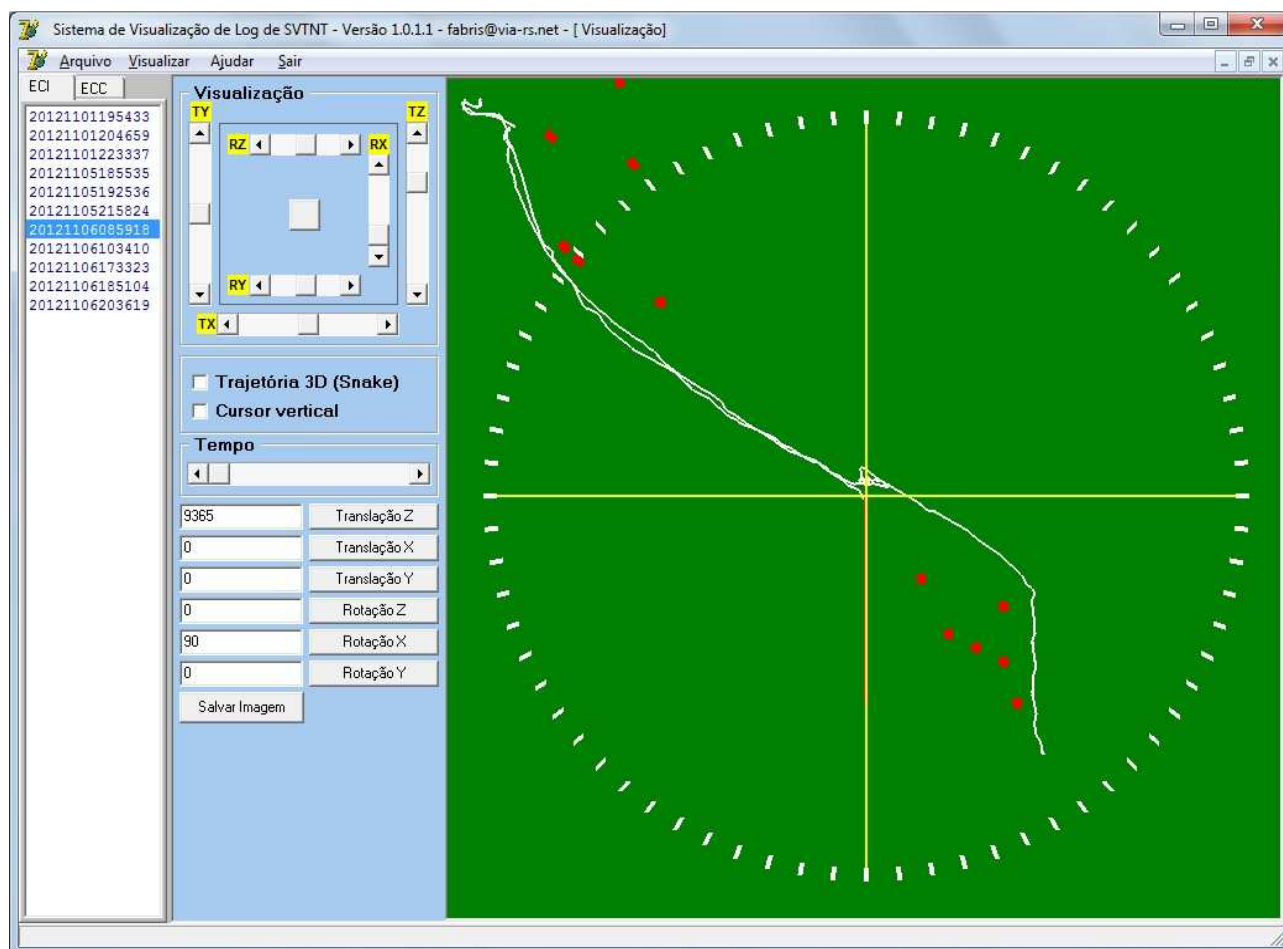


Figura 43 – Visualização na forma de trajetória percorrida pelo VTNT.

Uma das principais características deste software é permitir a visualização dos dados gerados de forma integrada em uma única visão. Isto é feito unindo os dados gerados pelo comportamento do VTNT a uma visualização do comportamento físico do VTNT, como pode ser visto na Figura 44. Nesta janela ainda é possível percorrer todos os registros que possuem dados de CS e avaliar se as respostas fornecidas pelo operador estão corretas ou não.



Figura 44 – Associação da simulação com os dados gerados pelo SAGAT.

4.6 TESTE PILOTO

O Teste Piloto contou com a presença de dois testadores, caracterizados por possuírem experiência em Informática mas não na utilização de games ou mesmo na teleoperação de VNT nas suas diversas formas. Neste teste foram avaliados os seguintes itens:

- operacionalidade da ECI e do modelo de VTNT;
- integração entre a ECI e o simulador;
- coleta de dados através do questionário SAGAT;
- comportamento do operador;
- comunicação de dados sem fio.

No que se refere à operacionalidade da ECI e do modelo, o fato da câmera estar posicionada na extrema dianteira do veículo, conforme mencionado na seção 4.2, fez com que o operador não conseguisse visualizar a estrutura física do VTNT durante a teleoperação, reduzindo sua noção do quanto ele está olhando para os lados. Quando o operador comanda o veículo para que ele avance para frente, por exemplo, caso ele não

perceba que está olhando para o lado, a imagem que ele verá no HMD não corresponderá exatamente à sensação de avanço do veículo para frente, parecendo inicialmente que o veículo está avançando para uma direção diferente da desejada.

Foi verificado ainda que a possibilidade de observar pelo menos parte da estrutura do veículo, ao mesmo tempo em que se observa o ambiente, melhora a noção do estado do veículo em relação ao ambiente em que ele se encontra. Para isso, a câmera instalada no VTNT foi reposicionada em uma posição intermediária entre o centro do veículo e sua traseira, conforme mostra Figura 36. Uma solução alternativa seria instalar uma antena horizontal no veículo, que se projeta na direção de avanço do veículo e serve como referência para indicar ao operador o quanto ele está olhando para os lados.

Ainda sobre a operacionalidade da ECI e do modelo de VTNT, foi verificado também que a estrutura física de um *joystick* comum pode dificultar a teleoperação em determinadas situações. Por exemplo, tendo o *joystick* uma base de movimentação circular, o movimento máximo que pode ser feito com o *joystick* resultará também circular, tendo como centro a posição ocupada pelo *joystick* quando não está sendo manuseado. Em face desta configuração circular, quanto mais o *joystick* estiver em posição de velocidade máxima, para frente ou para trás, menor é a possibilidade de incliná-lo para os lados na tentativa de um comando para fazer curvas. Logo, assim que um comando de curva começa, imediatamente é especificada uma velocidade menor. Da mesma forma, inclinar o *joystick* para um dos lados especificando uma curva com menor raio possível implicará em uma velocidade que tende a zero. Com relação a esta situação, optou-se pela permanência desta configuração, pela indisponibilidade de um outro tipo de *joystick*.

Um dos participantes dos testes sugeriu a aplicação de diferentes cores nos objetos virtuais gerados pela aplicação da RA. Ocorre que boa parte dos equipamentos de projeção de imagem empregados em HUD ou HMD utilizam tubos de raios catódicos que projetam luz na cor verde. Assim, para um efeito de maior realismo, todos os objetos virtuais permaneceram sendo gerados apenas na cor verde, sendo também transparentes.

No que se refere à integração entre a ECI e o simulador, e levando em consideração as dificuldades artificiais geradas pelo simulador, descritas na Seção 4.2, os atuadores não conseguem mover a câmera na mesma velocidade que o operador move sua cabeça. De forma semelhante, os atuadores também não conseguem direcionar as rodas na mesma velocidade em que o *joystick* é inclinado para os lados. Isso resulta em um comportamento não instantâneo do veículo, fazendo com que este atraso no tempo de

resposta gere dificuldades durante a teleoperação. De fato, foi constatada dificuldade em manter estável a direção do VTNT quando este é guiado em alta velocidade.

No que se refere ao comportamento do operador, verificou-se com os dois testadores que o tempo aproximado para a execução do teste era de aproximadamente 60 minutos.

4.7 TESTE DE VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO

O objetivo desta fase do teste foi realizar a medição empírica da CS do usuário na teleoperação do VTNT virtual e a eficiência da navegação, utilizando tanto a ECI quanto a ECC, a fim de comparar o desempenho de cada tipo de estação.

O teste foi realizado com um grupo de 11 participantes, denominados aqui de testadores. Todos os testadores eram profissionais ou estudantes de informática, sendo que quatro deles declararam utilizar jogos de computador com frequência. Nenhum dos testadores tinha experiência prévia em teleoperação de VTNT.

Todos os testadores realizaram o mesmo teste, o qual era aplicado em duas etapas. Cada etapa se caracterizava pelo tipo de estação utilizada. Em uma etapa, a teleoperação era realizada utilizando a ECI, e na etapa seguinte a ECC. A cada novo testador, a ordem dessas etapas se invertia.

Os testes foram realizados em uma sala isolada, reservada exclusivamente para este fim. Nela foi instalado todo o aparato necessário para a realização dos testes, como pode ser visto na Figura 45.



Figura 45 – Sala de Teste.

Nesta sala, cada um dos testadores executou a missão de teleoperação acompanhado por um observador. Este observador era responsável pelo gerenciamento da sessão de teste e suas atividades previstas eram:

- recepcionar o testador;
- acomodar o testador na sala de teste;
- obter do testador a assinatura do documento intitulado "Termo de Consentimento Livre e Esclarecido" (APÊNDICE 1), o qual formalizava a concordância do testador com as condições de realização do teste;
- apresentar ao testador uma visão geral a respeito das teorias relacionadas ao teste;
- explicar para o testador como o teste era realizado;
- acomodar o testador na estação de controle, ajustando o *joystick* e o capacete às características físicas do testador;
- treinar o testador na utilização da estação de controle e na condução do VTNT através do *joystick*;
- acompanhar a execução da teleoperação;
- registrar no formulário do questionário SAGAT as respostas do testador.

Desta forma, todos os testadores receberam uma mesma explanação a respeito dos tópicos conceituais relacionados ao teste e foram treinados da mesma maneira para a execução deste. Durante esta fase de preparação para os testes, que durava 10 minutos, aproximadamente, os seguintes tópicos eram abordados:

- teleoperação e veículos não tripulados, o que são, como funcionam e quando são utilizados;
- tecnologias que podem ajudar na teleoperação: RV, RA e TPI;
- o que é RA e TPI;
- o que é e para que serve uma estação de controle, o que é uma estação de controle imersiva;
- como funciona e se comporta o VTNT virtual utilizado nos testes, como pilotá-lo;
- dificuldades na teleoperação, atraso na comunicação e velocidade dos servo-atuadores conceitualmente presentes no veículo virtual, efeitos gerados na navegação;
- o *joystick* e o comportamento do veículo;
- o HMD com *head-tracker* e o comportamento do veículo;

- a tela da estação de controle e os dados que ela disponibiliza;
- noção de tamanho e distância no ambiente virtual;
- ferramentas de RA oferecidas pela ECI, para que servem os cones e as paredes virtuais visualizadas no HMD;
- medição de eficiência de navegação e CS;
- o que é CS;
- forma de avaliação de CS, o questionário SAGAT e como ele é empregado.

Após estas explicações terem sido apresentadas, o testador era convidado a comandar o VTNT pela primeira vez para perceber e entender como o veículo se comportava ao ser acionado pelo *joystick* e pelo *head-tracker*. Este período de teste durava aproximadamente 5 minutos.

Também era demonstrado ao testador como ocorreria a apresentação do formulário SAGAT durante a teleoperação.

Uma vez que o testador tivesse entendido como operar o veículo, ele era instruído sobre a missão a ser realizada com o VTNT, descrita na seção 4.1. Neste momento era apresentado um mapa do cenário de teste para o testador, conforme a Figura 46. A função do mapa era dar ao testador uma idéia da estrutura física do local remoto. Nele podiam ser reconhecidos o ponto de partida, o ponto de chegada, as zonas proibidas, o aglomerado de barris e as balizas. Além disso, o mapa fornecia os rumos para o aglomerado de barris e o ponto de chegada. Este mapa, fixado na mesa onde se encontrava o *joystick*, podia ser consultado pelo testador durante a execução do teste, mesmo utilizando o HMD, uma vez que em uma situação real isto também pode acontecer.

Terminada a explicação sobre todos os detalhes do teste, o testador era convidado a executar a missão de teleoperação. Para o caso do teste com a ECC, o testador empunhava o *joystick* e observava a teleoperação através de um monitor colocado a sua frente. Já para o caso da ECI, o testador vestia o capacete com HMD e *head-tracker*, empunhava o *joystick* e observava a teleoperação através do HMD, como pode ser visto na Figura 47. Ainda no caso da ECI, o testador era instruído para seguir os cones de RA e evitar as regiões demarcadas pelas paredes virtuais.

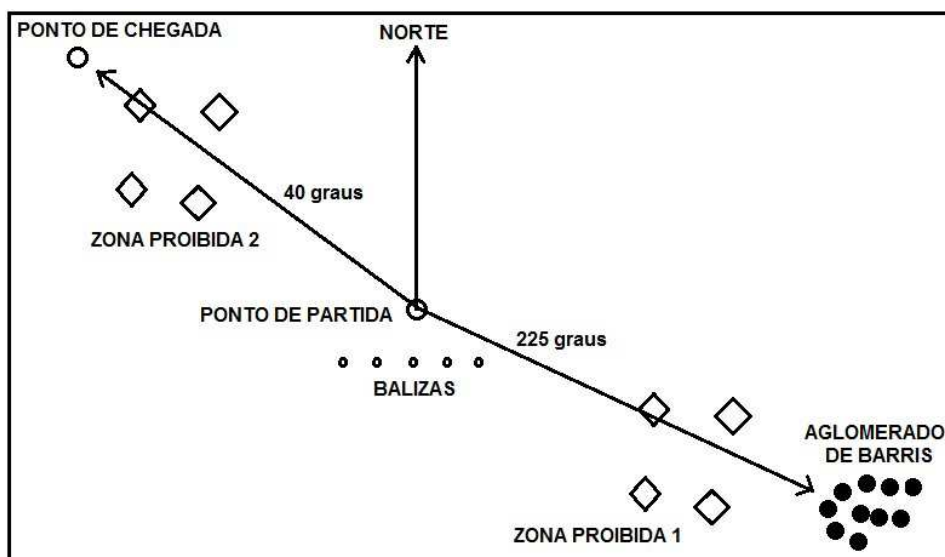


Figura 46 – Mapa do local remoto virtual disponibilizado para o testador.



Figura 47 – Testador utilizando a ECI.

Conforme foi explicado na seção 4.2, durante a execução dos testes os dados que descrevem o acionamento dos periféricos do veículo e o comportamento deste eram registrados pelo simulador, não havendo necessidade do observador fazer qualquer tipo de registro manual no que se refere a este tipo de dado.

Já o preenchimento do questionário SAGAT, quando este era apresentado para o testador, paralisando a teleoperação, era preenchido pelo observador a partir das respostas que o testador dava para cada pergunta do questionário. O preenchimento das respostas ocorria desta forma em função do testador estar utilizando suas mãos tanto para manusear o *joystick* quanto para segurar sua respectiva base para dar maior firmeza ao seu uso. Este preenchimento era feito clicando na resposta desejada com o *mouse*.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos a partir do processamento dos dados gerados durante a execução do teste de validação de protótipo, descrito na Seção 4.7. Os resultados obtidos são de dois tipos. O primeiro refere-se à eficiência de navegação. O segundo, à CS do testador, obtida tanto a partir do uso da ECI quanto da ECC.

No caso da eficiência da navegação os resultados são provenientes tanto da avaliação visual das trajetórias percorridas pelo VTNT quanto pelo processo de totalização dos registros gerados pelo simulador de VTNT.

No que se refere à CS do testador, os dados foram obtidos a partir da aplicação do questionário SAGAT durante a execução dos testes.

Tanto os dados relativos à eficiência de navegação quanto os relativos à CS do testador foram analisados através de software desenvolvido para este fim, descrito na Seção 4.5.

Todos os dados disponíveis foram organizados em dois grupos, sendo um deles os dados provenientes do uso da ECI e o outro os dados provenientes do uso da ECC.

A seção 5.1 deste capítulo apresenta os resultados relacionados à eficiência de navegação, enquanto a seção 5.2 dedica-se à análise dos resultados relacionados à CS.

5.1 RESULTADOS RELACIONADOS À EFICIÊNCIA DE NAVEGAÇÃO

A avaliação da eficiência da navegação foi feita com base nos dados gerados pelo simulador. Nesta avaliação foram analisados os gráficos gerados a partir desses dados, a totalização das variáveis que descreviam o desempenho do veículo e do operador e as trajetórias descritas pelo VTNT nas missões realizadas. As variáveis totalizadas de acordo com o tipo de estação (ECI ou ECC) foram as seguintes:

- velocidade;
- distância percorrida;
- consumo de bateria;
- direção;
- ângulo de rotação das rodas dianteiras;
- número de colisões;
- número de contaminações.

Como resultados dessas análises foram identificados padrões de comportamento e tendências de desempenho. Foi identificado um padrão de comportamento relacionado ao emprego da ECI que explicitou a relação entre as tarefas que tinham de ser realizadas e o uso tanto da câmera embarcada no VTNT, quanto do *joystick*. O uso intensivo desses recursos ficou evidenciado em dois momentos específicos da missão: a busca por vazamentos e o contorno de balizas. Este uso intensivo pode ser constatado na observação dos gráficos traçados, como pode ser visto na Figura 48, que apresenta os dados de um usuário nos vários momentos da missão (IDA, BUSCA POR VAZAMENTOS, VOLTA, BALIZAS, FINAL). Neles, o maior uso da câmera fica evidenciado pela maior variação dos valores dos seus ângulos de rotação.

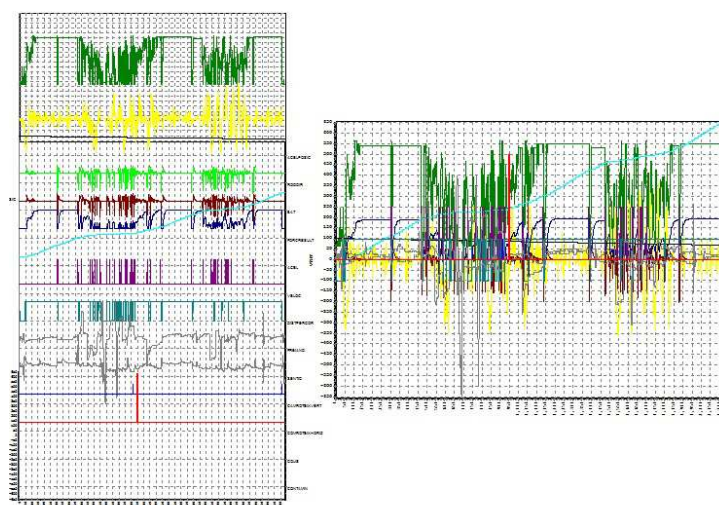
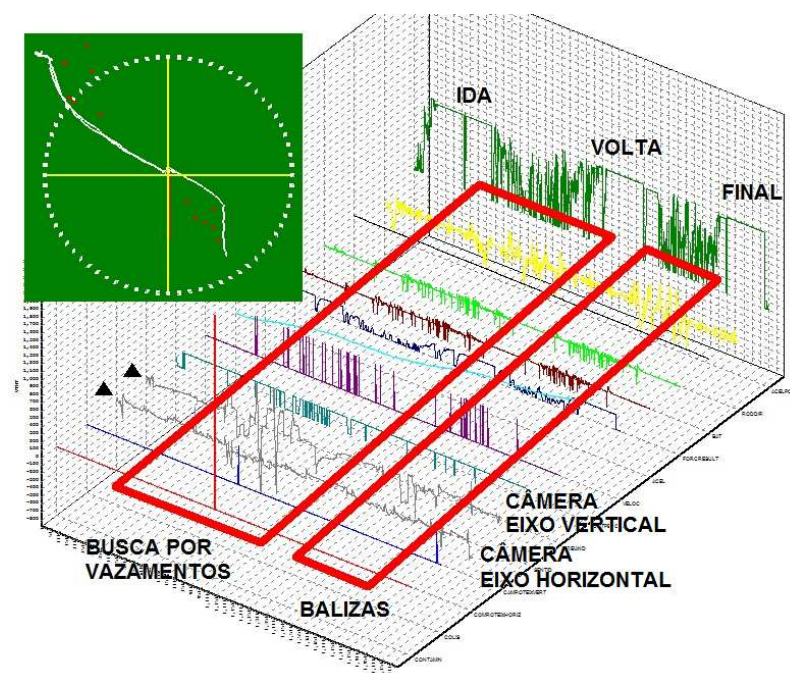


Figura 48 – Momentos de uso intenso do *joystick* e da câmera embarcada na ECI.

O gráfico com a sobreposição dos registros de todas as missões utilizando a ECI comprova esta situação, como pode ser visto na Figura 49.

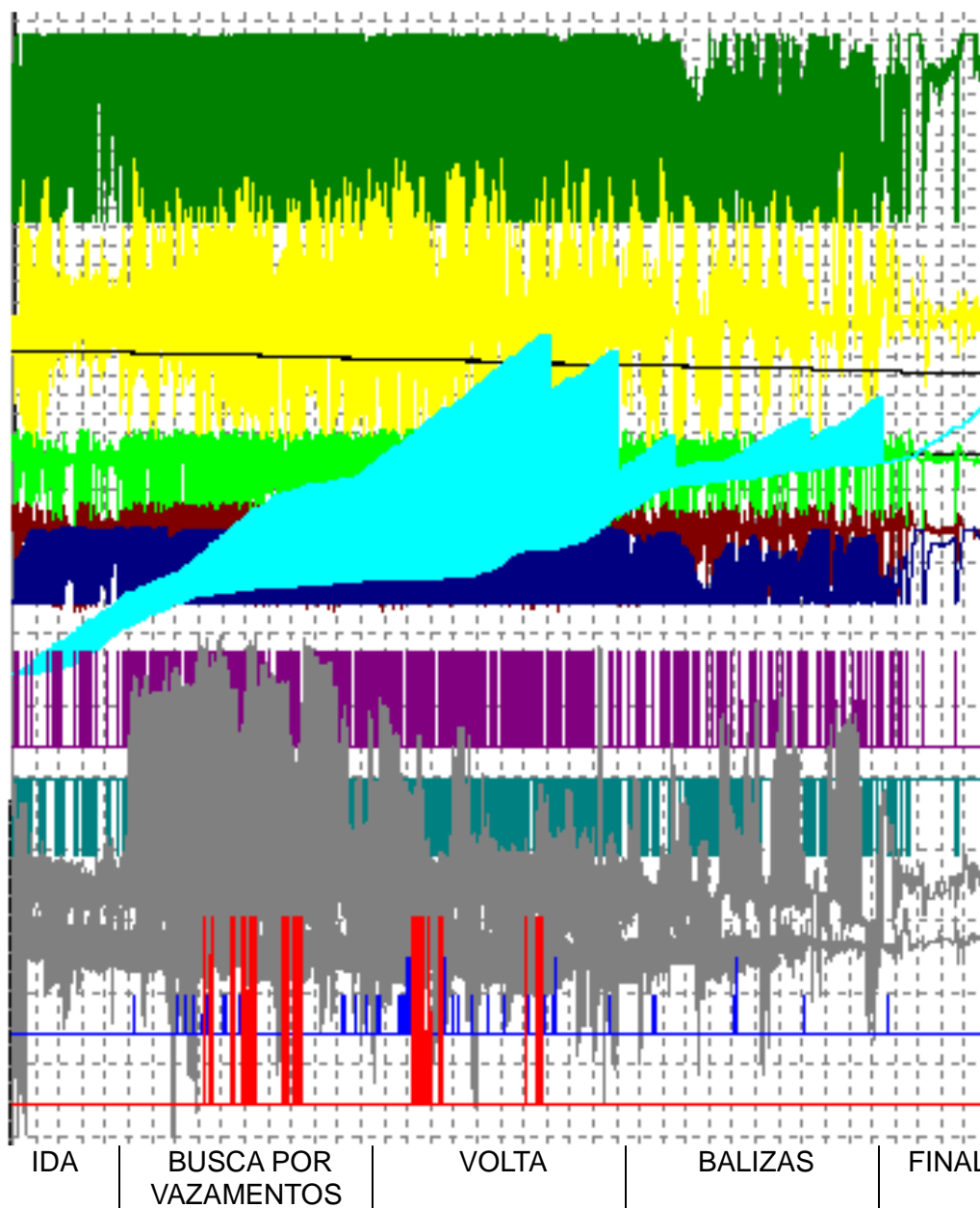


Figura 49 – Todos os registros de uso da ECI.

Por outro lado, nas tarefas em que predomina a navegação por um caminho planejado, pode-se perceber um menor uso do recurso de movimentação da câmera embarcada, pois o operador está mais interessado em percorrer um determinado caminho, do que em localizar algum objeto ou navegar de forma mais precisa em função de obstáculos presentes no terreno.

Isso indica que as missões em que predomina a navegação do tipo "percorrer um caminho planejado", podem ser realizadas satisfatoriamente utilizando-se apenas uma câmera fixa embarcada no veículo.

No que se refere às trajetórias descritas pelo VTNT, observando-se como exemplo a Figura 50, percebe-se uma maior tendência de concentração da trajetória quando o VTNT é operado pela ECI. Isto pode ser um efeito do uso dos recursos de RA, no caso, os cones indicadores do caminho a ser percorrido.

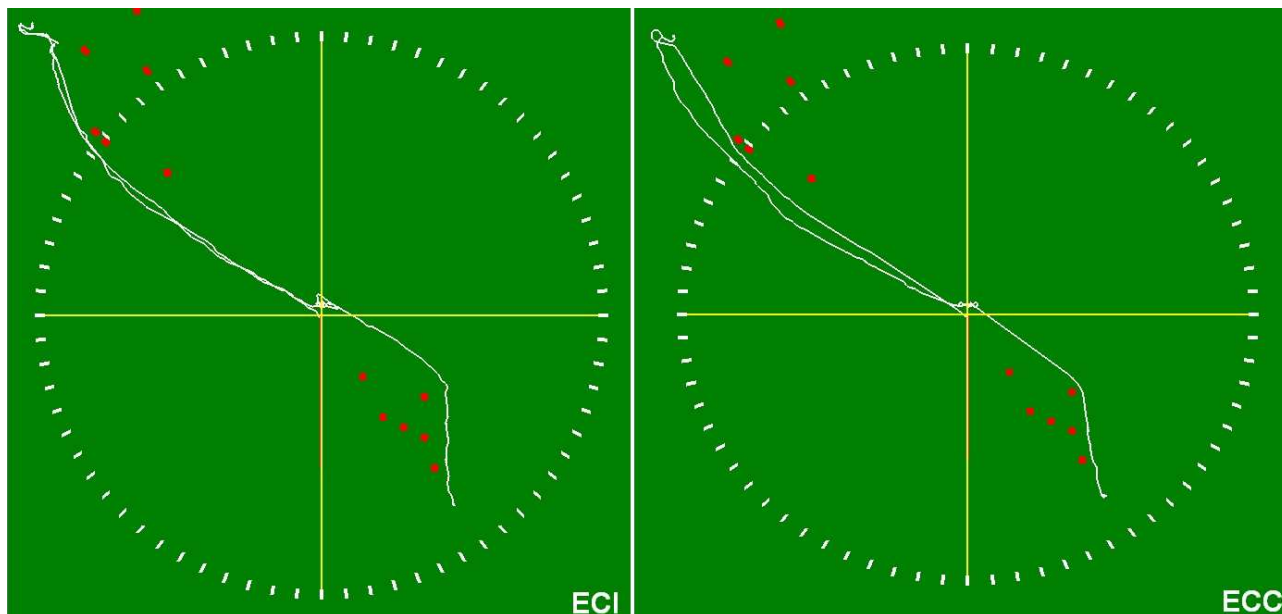


Figura 50 – Amostra comparativa de navegação com ECI e ECC.

Caso a precisão de navegação seja um dos itens de segurança na missão, esta maior concentração de trajetória pode indicar maior segurança de operação, desde que o operador do VTNT obedeça aos indicadores visuais fornecidos pela RA.

A maior concentração de trajetórias apresentada pela ECI é confirmada quando se analisa a imagem apresentada na Figura 51. Nela, todas as trajetórias estão reunidas em uma só imagem, agrupadas por uso de ECI e ECC.

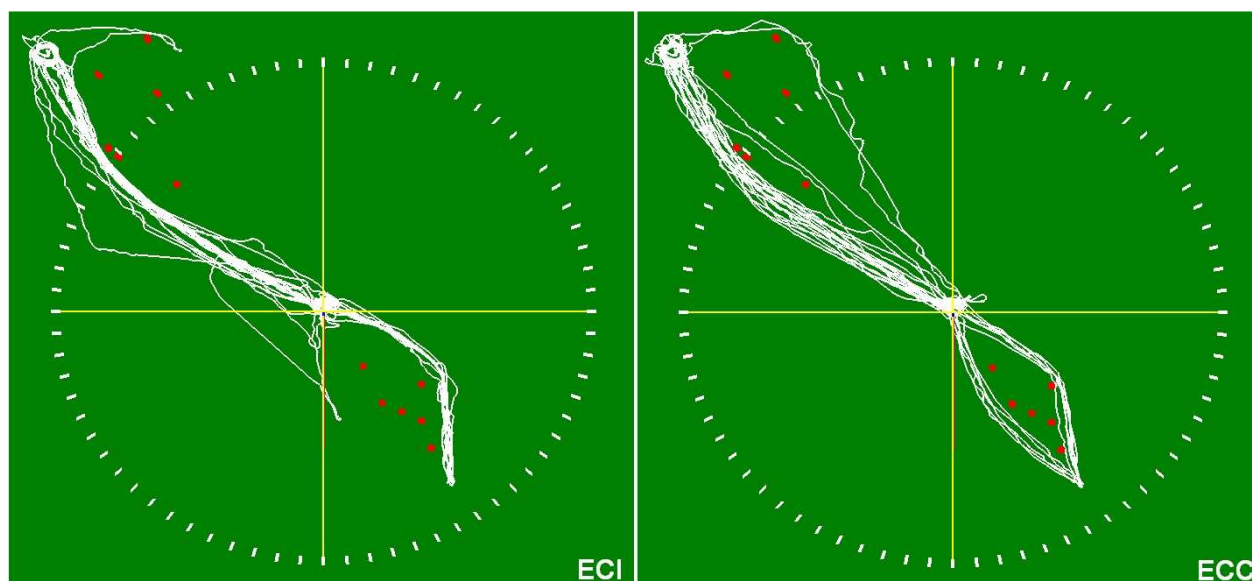


Figura 51 – Fusão de todas as trajetórias reunidas em uma só imagem.

Existem ainda outros aspectos que diferenciam os dois conjuntos de dados. O primeiro deles é que somente com a ECC houve invasão de área proibida. Disso resulta mais uma indicação de que a ECI pode aumentar a segurança da teleoperação.

O segundo aspecto está relacionado ao caso de dois testadores que se perderam utilizando o aparato imersivo, mesmo com recursos de RA, fato que não ocorreu utilizando a ECC.

Uma possível causa desta situação pode ser a combinação de dois fatores. O primeiro deles é a dificuldade inerente de navegar com o VTNT para uma direção enquanto se observa o local remoto em uma outra direção, situação que pode confundir o operador. O segundo fator é que, dependendo da direção para onde o operador está observando o local remoto, podem não ser apresentados no HMD os recursos de RA, fazendo com que o operador se esqueça da instrução de seguir os cones, induzindo-o a uma sensação de desorientação quando também não sabe qual a tarefa a ser executada.

Uma possível solução seria o operador ser constantemente lembrado de que o recursos de RA estão disponíveis. A apresentação periódica de dados sobre a missão, como um mapa, uma lista de tarefas e tarefas por região, também poderia ajudar.

É importante registrar que na segunda etapa do teste o testador já tinha adquirido uma melhor noção sobre como o local remoto estava organizado e sobre o caminho a ser seguido. Disso resultou a necessidade de inverter as etapas do teste a cada novo testador. De certa forma, a teleoperação mais difícil ocorria, em termos de navegação, quando a estação utilizada primeiro era a ECC. Nesse caso, o testador podia se basear apenas no rumo oferecido no início da missão e no reconhecimento visual dos elementos presentes em um terreno que, embora totalmente plano, tinha como dificuldade a distância entre esses elementos.

O terceiro aspecto é que os testadores criaram suas próprias trajetórias durante o uso da ECC. Isto pode ter ocorrido porque a trajetória dos cones não foi pensada como sendo a mais otimizada ou de menor comprimento, mas sim a que oferecia mais segurança na missão.

De modo geral, observa-se também que, na utilização da ECC, os testadores tangenciaram mais a zona proibida, o que pode ter causado uma menor distância total percorrida durante a missão.

A observação do contorno das balizas e da busca por vazamentos, apresentados respectivamente na Figura 52 e na Figura 53, não apresentaram evidências visuais de diferença de desempenho entre a ECI e a ECC.

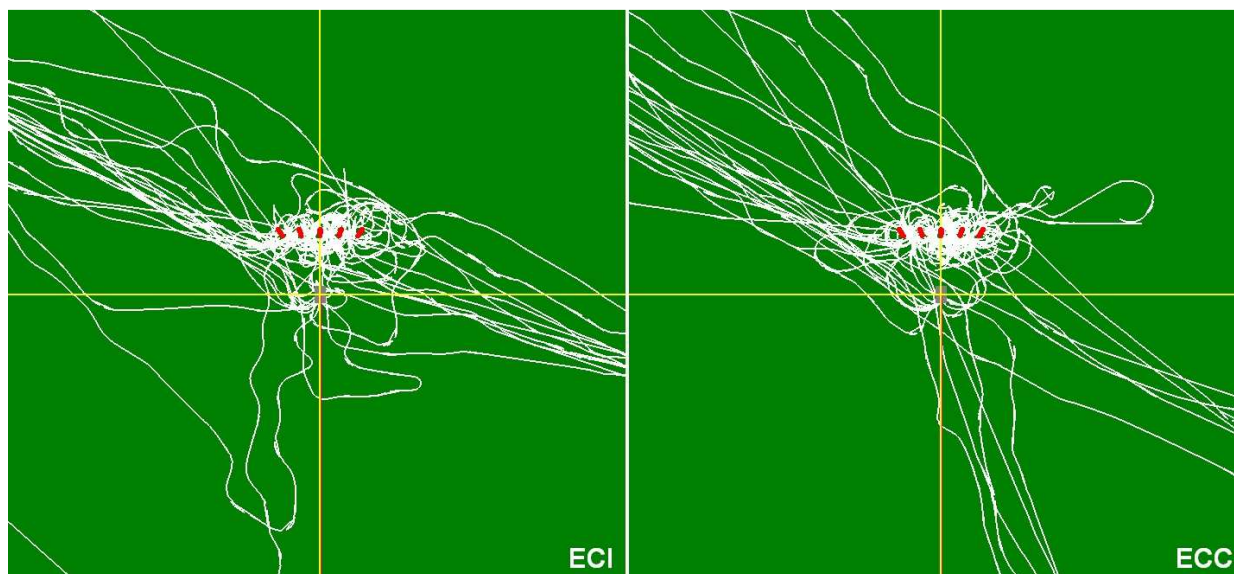


Figura 52 – Trajetórias para contorno de balizas.

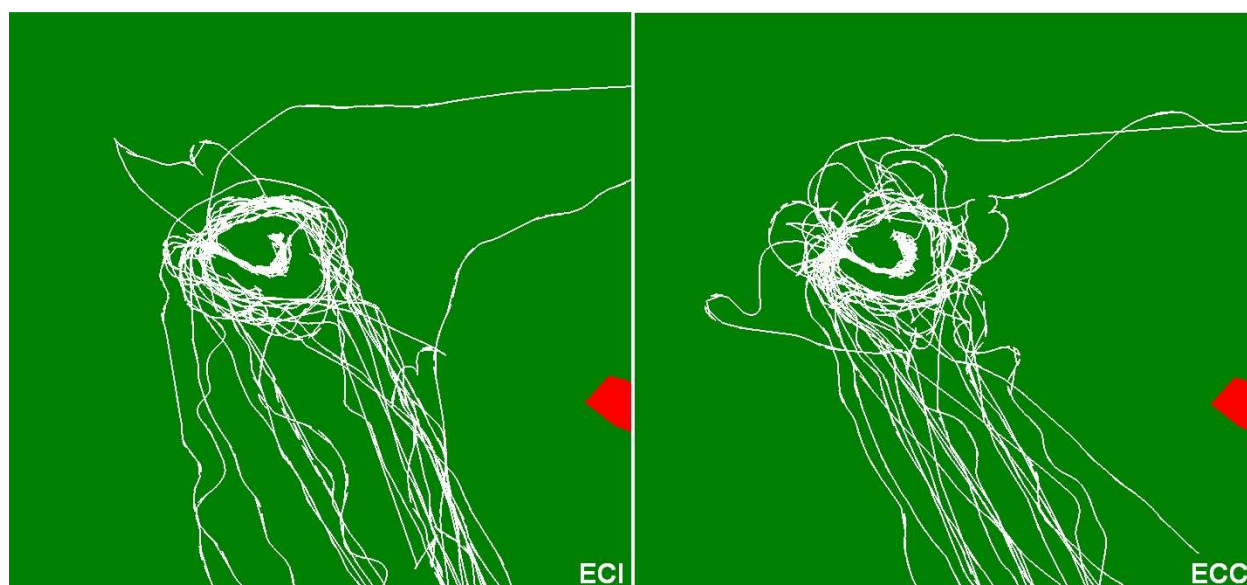


Figura 53 – Trajetórias para busca por vazamentos.

Os testes apresentaram situações imprevistas no que se refere à atitude dos testadores frente à missão a ser executada no ambiente virtual. Uma vez que a situação pretendia ser o mais semelhante possível a um caso real de emprego de VTNT, ela também permitia que o testador criasse suas próprias soluções na execução de cada uma das tarefas. Por exemplo, ao testador era solicitado que ele seguisse os cones e evitasse as regiões delimitadas por paredes virtuais. Entretanto, a utilização dos recursos de RA para a navegação não era obrigatório, sendo impossível ao observador exigir que o testador executasse a missão do modo ideal.

Em situação semelhante, quatro testadores utilizando a ECI resolveram a questão da busca por vazamentos circundando diversas vezes o aglomerado de barris com a câmera embarcada virada 90 graus para o mesmo lado da curva, o que correspondia ao testador estar com sua cabeça orientada na mesma situação da câmera. Este movimento circular, como pode ser observado na Figura 54, era feito até que o testador adquirisse certeza a respeito de quantos vazamentos ele estava conseguindo contar. Assim, estes testadores evitavam entrar com o veículo por entre os barris, o que poderia aumentar as chances de colisão e contaminação. De qualquer forma, estes testadores conseguiam contar o número de vazamentos com uma funcionalidade que somente a ECI disponibilizava, o que veio a indicar que a ECI pode ter um desempenho melhor em tarefas de busca.

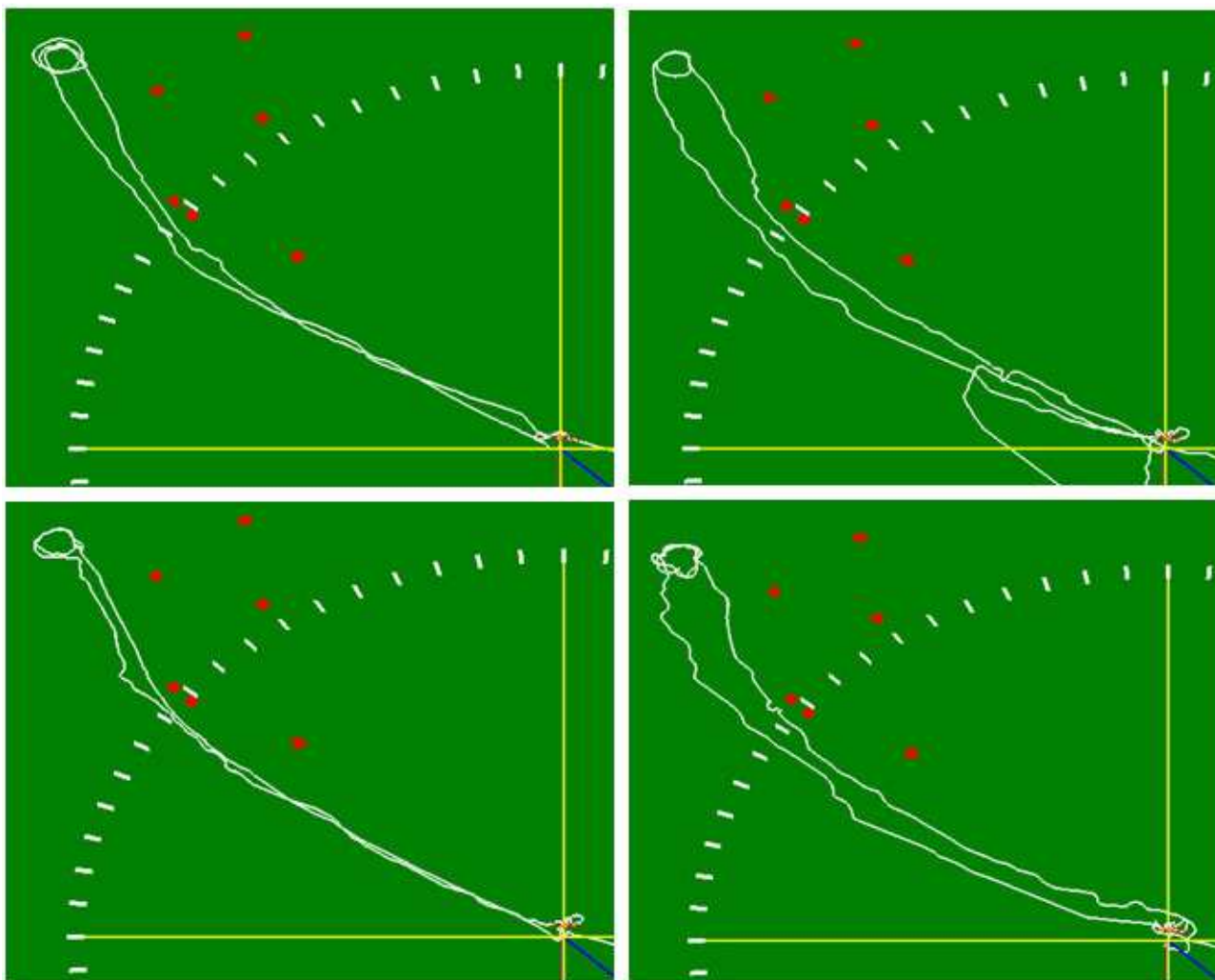


Figura 54 – Abordagem alternativa na busca por vazamentos.

No que se refere à operação do veículo, foi observada a difícil adaptação dos testadores ao uso de um *joystick* comandando um mecanismo que apresentava grande atraso na resposta a seus comandos. Esta situação pode ter limitado uma possível

vantagem na operação do VTNT por testadores que eram usuários de jogos de computador.

Embora não tenha sido registrado formalmente, alguns testadores comentaram, durante a execução da missão que a busca por vazamentos era mais difícil de ser feita utilizando a ECC.

Também sem registro formal, foi percebido pelo observador que parte dos testadores, após terem realizado a tarefa de contorno das balizas, apresentaram grande desorientação. De fato, a maior parte das respostas do tipo "não sei", ocorreram logo após os testadores passarem pelas balizas.

Finalmente, a totalização dos valores, apresentada na Tabela 2, mostrou que a ECC tende a apresentar melhor desempenho geral quando seu uso está relacionado à navegação. Entretanto, quando o que está sendo considerado é o desempenho relacionado à realização de manobras durante a execução de tarefas específicas, fica evidenciado que o aparato imersivo tende a ser de maior utilidade. Esta divisão de vantagens entre a ECI e a ECC é reforçada pelo fato da ECC ter tido melhor desempenho em todos os quesitos relacionados à eficiência de navegação.

Tabela 2 – Totalização de valores gerados no simulador de VTNT.

ITEM DE TOTALIZAÇÃO	ECI	ECC
Velocidade média	0.94 m/s	1.02 m/s
Somatório de distâncias percorridas	7962.08 m	7580.56 m
Distância percorrida média	723.83 m	689.14 m
Maior distância percorrida	908.33 m	841.77 m
Menor distância percorrida	634.41 m	598.99 m
Consumo médio de bateria	99,9% -> 58.69%	99,9% -> 63.49%
Maior consumo de bateria	99,9% -> 36.89%	99,9% -> 52.67%
Menor consumo de bateria	99,9% -> 70.78%	99,9% -> 72.00%
Total de alterações de direção maiores que 10 graus	2623	2395
Total de alterações da direção das rodas (direita/esquerda)	6643	5661
Total geral de colisões	72	95
Total geral de contaminações	5	7

RESULTADOS RELACIONADOS À CONSCIÊNCIA SITUACIONAL

Na execução dos testes, foram gerados de forma aleatória uma quantidade diferente de aplicações do questionário SAGAT durante a operação da ECI e da ECC. Os dados desses questionários sofreram uma filtragem em função da aplicabilidade de determinadas perguntas a certas situações da simulação.

Embora os resultados relativos à CS sejam semelhantes para a ECI e a ECC, conforme é possível observar na Tabela 3, também é possível notar que há um maior número de acertos a partir da ECC quando as perguntas estão relacionadas à navegação e orientação. Isto pode ser observado nos resultados encontrados a partir das perguntas 5, 6, 7 e 8. Entretanto, quando as perguntas estão relacionadas à observação e à execução de buscas, o maior número de acertos recai para a ECI, conforme pode ser observado nos resultados encontrados a partir das perguntas 9, 10, 11 e 12.

Tabela 3 – Totalização dos valores relacionados a CS.

Perguntas	ECI			ECC		
	Acertos	Erros	Não Sabe	Acertos	Erros	Não Sabe
01) Qual o nível da bateria?	66	4	0	64	4	1
02) Qual a direção do veículo?	46	22	2	49	18	2
03) Qual a velocidade do veículo?	47	22	1	35	32	2
04) Qual a orientação da câmera em relação ao veículo?	64	5	1	68	0	0
05) Onde o veículo está em relação aos elementos do terreno?	64	6	0	65	4	0
06) Independente da distância, para onde o veículo está apontando?	52	16	2	53	13	3
07) Independente da distância e a partir da direção do veículo, para que lado fica o ponto de chegada?	46	23	1	51	16	2
08) Independente da distância e a partir da direção do veículo, para que lado fica o aglomerado de barris?	54	15	1	58	9	1
09) O veículo está próximo de um objeto, obstáculo ou vazamento?	69	1	1	67	2	0
10) Para que lado fica este objeto, obstáculo ou vazamento mais próximo?	34	4	0	31	3	0
11) Qual a distância até esse objeto, obstáculo ou vazamento?	36	2	0	32	2	0
12) Quantos vazamentos estão ocorrendo?	55	10	0	47	17	0
13) O veículo está contaminado ou já colidiu?	39	31	1	46	22	2
14) Qual tarefa está em execução?	65	5	0	67	2	0
15) A localização do veículo corresponde a tarefa atual?	67	3	0	68	1	0

Durante a realização dos testes foi constatada a importância das perguntas do questionário serem sensíveis ao contexto da simulação. Além disso, as perguntas

precisam ser precisas o suficiente para que o operador não tenha dúvidas ao respondê-las.

Ainda no que se refere ao emprego do método SAGAT, foram observadas expressões corporais próprias de cansaço e descontentamento por parte dos testadores a partir de certo número de vezes em que a execução da missão de teleoperação era interrompida para a aplicação do questionário SAGAT. Uma das causas prováveis é que o questionário exigia do testador um esforço repetitivo de raciocínio, pois a cada interrupção ele precisava se esforçar para lembrar a situação em que o veículo e a missão se encontravam um momento antes da teleoperação ser interrompida. Ficou evidenciado também que este método provoca grande variação no tempo de aplicação do teste em cada testador, pois cada um pode levar o tempo que for necessário para responder as perguntas do questionário nas diversas vezes em que a simulação é interrompida e o questionário é aplicado.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou a questão da teleoperação de veículos não tripulados. Foi proposta e avaliada uma configuração de estação de controle que é caracterizada pelo emprego simultâneo de três tecnologias ligadas a Computação Gráfica: Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Telepresença Imersiva.

A estratégia de avaliação do desempenho desta estação de controle foi compará-la com uma estação de controle que apresenta uma configuração dita convencional. Nessa comparação, foram analisadas a eficiência da navegação realizada com o veículo e o nível de consciência situacional que cada tipo de estação gera no operador.

Para a validação foi construído um simulador de veículo terrestre não tripulado. Este simulador se caracteriza por interagir em tempo real com a estação de controle, gerando imagens semelhantes às que seriam vistas pelo operador na estação de controle caso ele estivesse usando um veículo real captando imagens de um local remoto também real. Através desse simulador foi possível criar uma missão de teleoperação semelhante a uma situação real, na qual o operador pode sentir dificuldades semelhantes às aquelas presentes em uma situação de emprego real.

A eficiência da navegação foi medida através da análise dos dados gerados pelo simulador. Para tanto, este simulador registrava de forma contínua o valor de variáveis que descrevem as ações do operador e o comportamento resultante do veículo.

A consciência situacional do operador foi medida através do método SAGAT, que interrompe a simulação com uma frequência aleatória e coleta do operador dados que buscam avaliar o modelo mental instantâneo e futuro próximo que este operador tem da situação geral da teleoperação.

A análise dos dados coletados mostrou que a ECC pode ter bom desempenho em tarefas de navegação. A ECI se mostrou mais vantajosa nos momentos da teleoperação em que é preciso uma maior capacidade de observação do local remoto, durante a execução de tarefas diferentes da navegação.

O número de testadores foi pequeno, não sendo possível afirmar qual tipo de estação é melhor para a teleoperação em geral. Entretanto, os dados desta pesquisa podem servir de indicativo para caminhos a serem tomados no desenvolvimento deste tipo de tecnologia.

Este trabalho pode servir de subsídio para pesquisas relacionadas à teleoperação, tais como a avaliação de diferentes configurações de estações de controle e veículos, simuladores de veículos não tripulados e comunicação de dados.

O emprego dos veículos não tripulados é recente e seu uso se tornou notório nas duas últimas décadas. A maioria das nações desenvolvidas realiza pesquisas nessa área, uma vez que este tipo de veículo permite a atuação humana em situações e locais perigosos sem expor o ser humano.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [AMB00] R. O. Ambrose, H. Aldridge, R. S. Askew, R. R. Burrige, W. Bluethmann, M. Diftler, C. Lovchik, D. Magruder, F. Rehnmark. "Robonaut: NASA's space humanoid". *Intelligent Systems and their Applications*, IEEE, vol.15-4, pp. 57-63, Jul-Ago 2000.
- [AND06] J. Anderson, D. Lee, R. Schoenberger, Z. Wei, J. Archibald. "Semi-autonomous unmanned ground vehicle control system". In: *Proceedings of the SPIE, Unmanned Systems Technology VIII*, 2006, pp. 62301M.
- [AZU01] R. T. Azuma, Y. Bailot, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, B. MacIntyre. "Recent Advances in Augmented Reality". *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 21-6, Nov 2001, pp. 34-47.
- [AZU97] R. T. Azuma. "A Survey of Augmented Reality". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, Ago 1997, pp. 355-385.
- [BAR11] P. G. de Barros, R. W. Lindeman, M. O. Ward. "Enhancing Robot Teleoperator Situation Awareness and Performance using Vibro-Tactile and Graphical Feedback". In: *IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 2011, pp. 47-54.
- [BRA02] B. M. Brady, I. Oakley, S. Hughes, S. O'Modhrain. "RELAY: A futuristic interface for remote driving". In: *Proceedings of EuroHaptics*, 2002, pp. 8-10.
- [BRU02] D. J. Bruemmer, J. L. Marble, D. D. Dudenhoeffer, M. O. Anderson, M. D. McKay. "Intelligent Robots for Use in Hazardous DOE Environments". In: *Proceedings of the Performance Metrics for Intelligent Systems (PerMIS) Workshop*, 2002.
- [BUR93] G. Burdea. "Virtual reality technology". John Wiley & Sons, 1993, 400p.
- [CAR07] A. Cardoso, C. Kirner, E. Lamounier Júnior, J. Kelner. "Tecnologias e ferramentas para o desenvolvimento de sistemas de realidade virtual e aumentada". Editora Universitária UFPE, 2007, pp. 1-19.
- [CAS02] J. L. Casper, R. R. Murphy. "Workflow study on human-robot interaction in USAR". In: *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2002, pp. 1997-2003
- [CAS03] J. Casper, R. R. Murphy. "Human-robot interactions during the robot-assisted urban search and rescue response at the World Trade Center". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, vol. 33-3, Jun 2003, pp. 367-385.

- [CRU92] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, T. A. DeFanti, R. V. Kenyon, J. C. Hart. "The CAVE Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment". *Communications of the ACM*, vol. 35-6, Jun 1992, pp. 64-72.
- [DRU04] J. L. Drury, B. Keyes, H. A. Yanco. "LASSOing HRI: Analyzing Situation Awareness in Map-Centric and Video-Centric Interfaces". *ACM/IEEE international conference on Human-robot Interaction*, Mar 2007, pp. 279-286.
- [DSB04] Defense Science Board. "Defense Science Board Study on Unmanned Aerial Vehicles and Uninhabited Combat Aerial Vehicles". Capturado em: <http://www.fas.org/irp/agency/dod/dsb/uav.pdf>, Maio 2009.
- [DUR95] N. I. Durlach, A. S. Mavor. "Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges". *National Research Council*, 1995, 542p.
- [END00] M. R. Endsley, D. J. Garland. "Situation Awareness Analysis and Measurement". *CRC Press*, 2000, 408p.
- [END11] M. R. Endsley, D. G. Jones. "Designing for Situation Awareness. An Approach to User-Centered Design". *CRC Press*, 2011, 372p.
- [ERP01] J. B. F. van Erp, L. van Breda. "UAV Operations using Virtual Environments". *RTO HFM Workshop on "What Is Essential for Virtual Reality Systems to Meet Military Human Performance Goals?"*, 2000, 172p.
- [FER65] W. R. Ferrell. "Remote manipulation with transmission delay". *Tese de Doutorado, Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Mechanical Engineering*, 1964, 120p.
- [FON01] T. W. Fong, C. Thorpe. "Vehicle Teleoperation Interfaces". *Autonomous Robots*, vol. 11-1, Jul 2001, pp. 09-18.
- [FRA08] M. Franklin. "Unmanned Combat Air Vehicles: Opportunities for the Guided Weapons Industry?". Capturado em: http://www.rusi.org/downloads/assets/Unmanned_Combat_Air_Vehicles.pdf, Maio 2009.
- [GAG95] D. W. Gage. "UGV History 101: A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts". *Unmanned Systems Magazine*, vol. 13-3, 1995, 9p.
- [HAZ04] M. Hazas, J. Scott, J. Krumm. "Location-Aware Computing Comes of Age". *Computer*, vol. 37-2, Fev 2004, pp. 95-97.
- [HIL98] J. W. Hills, J. F. Jensen. "Telepresence Technology in Medicine: Principles and Applications". In: *Proceedings of the IEEE*, 1998, pp. 569-580.
- [JAC00] A. Jacoff, E. Messina, J. Evans. "A standard test course for urban search and rescue robots". *NIST Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop*, 2000, pp. 499-503.

- [JAC01] A. Jacoff, E. Messina, J. Evans. "A reference test course for autonomous mobile robots". SPIE-AeroSense, Unmanned Ground Vehicle Technology III, vol. 4364, Set 2001.
- [JON04] D. G. Jones, D. B. Kaber. "Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods". CRC Press, 2004. pp. 42-1–42-8.
- [KAP97] E. Kaplan, S. Keshav, N. L. Schryer, J. H. Venutolo. "An Internet accessible telepresence". Multimedia Systems Journal, vol. 5, 1997, pp. 140-144.
- [KOE02] M. Koeda, Y. Matsumoto, T. Ogasawara. "Development of an Immersive Teleoperating System for Unmanned Helicopter". In: Proceedings of 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2002, pp.47-52.
- [KUM93] R. Kumar. "Tactical Reconnaissance: UAVs versus Manned Aircraft". Capturado em: <http://fas.org/irp/program/collect/docs/97-0349.pdf>, Maio 2009.
- [LID08] R. L. Lidowski. "A Novel Communications Protocol Using Geographic Routing For Swarming UAV's Performing a Search Mission". Tese de Doutorado, Department of the Air Force Air University, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 2008, 126p.
- [LIN05] C.E. Lin, C. Hsu; Y. S. Li. "Verification of Remote Vehicle Control Using Mobile Communication". Sensors for Industry Conference, vol. 8-10, Fev 2005, pp.111-117.
- [NEW95] R. L. Newman. "Head-Up Displays, Designing the way ahead". Avebury Aviation, 1995, 349p.
- [OSO09] F. S. Osório, G. Pessin, D. F. Wolf, E. V. Simões, K. R. L. J. C. Branco. "Simulação Virtual de Carros em Jogos e Aplicações de I.A.". In: VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment, 2009, 20p.
- [PIN96] M. S. Pinho. "Realidade Virtual como Ferramenta de Informática na Educação – Tutorial". In: VII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, 1996.
- [PRE98] J. Pretlove. "Augmenting Reality for Telerobotics: Unifying Real and Virtual Worlds", Industrial Robot, vol. 25-6, 1998, pp. 401–407.
- [RIL05] J. M. Riley, M. R. Endsley. "Situation Awareness in HRI with Collaborating Remotely Piloted Vehicles". In: Human Factors And Ergonomics Society 49th Annual Meeting, 2005, 5p.
- [SAR01] Zak Sarris. "Survey of UAV Applications in Civil Markets". Capturado em: http://med.ee.nd.edu/MED9/Papers/Aerial_vehicles/med01-164.pdf, Maio 2009.

- [SHE92] T. B. Sheridan. "Telerobotics, automation, and human supervisory control". MIT Press, 1992.
- [SHE95] T. B. Sheridan. "Teleoperation, telerobotics and telepresence: a progress report", Control Engineering Practice, vol. 3, Feb 1995 , pp. 205-214.
- [STE06] A. Steinfeld, T. Fong, D. Kaber, M. Lewis, J. Scholtz, A. Schultz, M. Goodrich. "Common Metrics for Human-Robot Interaction". In: 1st ACM SIGCHI/SIGART Conference on Human-robot Interaction, 2006, pp. 33-40.
- [VIN98] J. Vince. "Essential Virtual Reality Fast: How To Understand The Techniques And Potential of Virtual Reality". Springer, 1998, 174p.
- [WAL04] B. E. Walter, J. S. Knutzon, A. V. Sannier, J. H. Oliver. "Virtual UAV Ground Control Station". In: AIAA 3rd Unmanned Unlimited Technical Conference, Workshop and Exhibit, 2004, 10p.
- [YAN02] H. A. Yanco, J. L. Drury. "A Taxonomy for Human-Robot Interaction". In: AAAI Fall Symposium on Human-Robot Interaction, 2002, pp. 111-119.
- [ZEI07] F. Zeiger, C. Selbach, B. Ruderisch, K. Schilling. 2007. "An application protocol to integrate a small size helicopter into an IP based ad-hoc network." In: 1st International Conference on Robot Communication and Coordination (RoboComm), 2007, 8p.
- [ZHI08] Q. Zhi-Hua, L. Yi-Bo, K. Shao-Peng, Z. Qiong. "Design of UAV Telepresence and Simulation Platform Based on VR". In: International Conference on Cyberworlds, Set 2008, pp. 520-524.

APÊNDICE A

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE INFORMÁTICA

"O Emprego da Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Telepresença Imersiva na Operação de Veículos Não Tripulados"

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Agradecemos sua participação nos testes da dissertação de mestrado "O Emprego da Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Telepresença Imersiva na Operação de Veículos Não Tripulados".

O objetivo deste trabalho é verificar o quanto o uso simultâneo da Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Telepresença Imersiva em uma estação de controle para veículo não tripulado é capaz de aumentar a consciência situacional do operador do veículo e a eficiência da navegação. Para isto, os participantes são convidados a comandar um veículo terrestre não tripulado virtual em um local remoto também virtual. O comando é feito através de uma estação de controle que pode ser utilizada com recursos imersivos ou não. Os dados gerados através da simulação são gravados para posterior análise.

Lembramos que o objetivo **não é** avaliar o participante, **mas sim** avaliar a estação de controle imersiva. O uso que se faz dos dados gerados através das simulações é **absolutamente** limitado à atividade de pesquisa e desenvolvimento, garantindo-se para tanto que:

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

() Estou de pleno acordo com os termos acima.

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

Assinatura do participante

Assinatura do observador

Nome do participante