

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

Realidade Virtual em Ambientes Imersivos aplicada
ao Planejamento de Lavra

Rooniel Hirose

São Paulo

2009

EPMI
TF-2009
H615r

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

Realidade virtual em ambientes imersivos aplicada
ao planejamento de lavra

Trabalho de Formatura do programa de graduação
em Engenharia de Minas da Escola Politécnica

Área de Concentração: Planejamento de Lavra

Orientada: Rooniel Hirose

Orientador: Profº Drº Ricardo Cabral de Azevedo

Co-orientador: Profº Drº Giorgio Francesco Cesare de Tomi

São Paulo

2009

FICHA CATALOGRÁFICA

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Hirose, Rooniel

Realidade virtual em ambientes imersivos aplicada ao planejamento de lavra. São Paulo, 2009.

23 p. : il. ; 30cm.

Trabalho de Formatura, apresentada à Escola Politécnica/USP –

Área de concentração:

Planejamento de Lavra.

Orientador: Azevedo, Ricardo Cabral de

Co-orientador: Tomi, Giorgio Francesco Cesare de

1. Planejamento de lavra. 2. Realidade virtual. 3. Ambientes imersivos. 4. São Paulo.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Rooniel Hirose

Realidade virtual em ambientes imersivos aplicada ao planejamento de lavra

Trabalho de Formatura no Programa de Graduação em
Engenharia de Minas da Escola Politécnica

Área de Concentração: Planejamento de Lavra.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Cabral de Azevedo
Co-orientador: Prof. Dr. Giorgio Francesco Cesare de Tomi
Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____
Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____ Assinatura: _____

TF-2009
H615₂
1823024

M2009c

DEDALUS - Acervo - EP-EPMI



31700005910

À minha família, pelo apoio sempre presente
e orientação indispensável para a minha
formação pessoal e profissional.

Agradeço ao Prof. Dr. Ricardo Cabral de Azevedo,
ao Prof. Dr. Giorgio F. C. de Tomi e ao engenheiro
de minas Carlos Carrasco Arbieto pelas informações
e orientações prestadas neste trabalho.

Agradeço a todos meus colegas do Departamento de
Engenharia de Minas da Poli-USP pelo companheirismo
em diversos momentos, em especial a Felipe S. Saad, Italo K.
Koyama, Fabio C. Passareli e em memória a Fredy Chua.

REALIDADE VIRTUAL EM AMBIENTES IMERSIVOS APLICADA AO PLANEJAMENTO DE LAVRA

Rooniel Hirose
e-mail: roonielhiose@gmail.com

RESUMO

Na mineração, mais precisamente no setor de planejamento de lavra, softwares são desenvolvidos e amplamente utilizados para tornar mais eficiente a funcionalidade dos planos para a etapa operacional da lavra. Muitos deles fazem o uso da realidade virtual para facilitar a visualização do ambiente virtual de trabalho, possibilitando uma maior precisão das modelagens geológicas e da mina. Entretanto, eles se limitam a melhorias no funcionamento do *software* em si, adaptando seus comandos aos equipamentos periféricos tradicionais e abstendo-se da praticidade em termos de utilização. Sendo assim, este trabalho propõe uma otimização do sistema de visualização e dos controles de interação, além de novas funções, a fim de reduzir o tempo de elaboração do plano e aprimorar o nível de segurança, principalmente de minas subterrâneas.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento de Lavra, Realidade Virtual, Ambientes Imersivos, *Software* de Mineração.

ABSTRACT

In mining, specifically in the field of mine planning, softwares are developed and widely used to make more efficient the functionality of the plans for the operational stage of mining. Many of them make use of virtual reality to facilitate viewing of the virtual work environment, providing greater accuracy of geological and mining modeling. However, they are limited to improvements in the functioning of the software itself, adapting its commands to traditional peripheral equipment and refrain of practicality in terms of use. Therefore, this paper proposes an optimization of the visualization system and interaction controls, plus new functions in order to reduce the time to develop the plan and improve the level of security, especially in underground mines.

KEYWORDS: Mine Planning, Virtual Reality, Immersive Environments, Mining Software.

Lista de Figuras

Figura 1	Modelo virtual de uma mina subterrânea e modelo de blocos.....	5
Figura 2	Treinamento militar sobre uma esteira omnidirecional em CAVE.....	7
Figura 3	Representação de menu em ambiente tridimensional.....	7
Figura 4	Representação da técnica de manipulação direta.....	8
Figura 5	Representação da técnica de manipulação por widget.....	8
Figura 6	Representação da técnica <i>head-butt-zoom</i>	9
Figura 7	Representação da técnica de interação com menus através do olhar.....	9
Figura 8	Representação da técnica da direção de movimento com ambas as mão.....	9
Figura 9	<i>Head Mounted Display</i>	10
Figura 10	Sensor de movimento com base e suporte tipo pinça.....	10
Figura 11	Usuário na CAVERNA Digital no Laboratório de Sistemas Integráveis (USP).....	11
Figura 12	Esquema detalhado de funcionamento de um sistema com luva de controle.....	11
Figura 13	Luva de controle com transmissor wireless.....	11
Figura 14	Controle remote de mesa.....	12
Figura 15	Vista inferior do modelo de blocos de minério, do poço e das galerias de acesso e de produção.....	14
Figura 16	Vista interna de uma galeria com representação de uma LHD.....	14

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. PLANEJAMENTO DE LAVRA NA ATUALIDADE.....	5
3. REALIDADE VIRTUAL (RV).....	6
3.1 Realidade Virtual em Ambientes Imersivos	6
3.2 Técnicas de Interação de Navegação.....	6
3.3 Técnicas de Interação de Controle	7
3.4 Equipamentos Utilizados em Ambientes Virtuais Imersivos	9
3.4.1 <u>Equipamentos de visualização</u>	10
3.4.2 <u>Equipamentos de controle</u>	11
4. METODOLOGIA.....	12
5. SISTEMA PROPOSTO.....	13
5.1 Requisitos do Sistema.....	13
5.2 Descrição do Sistema Proposto.....	13
5.2.1 <u>Módulo de Visualização</u>	13
5.2.2 <u>Módulo de Controle</u>	14
6. CONCLUSÕES.....	16
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

1. INTRODUÇÃO

Em um empreendimento genérico, decisões precisam ser tomadas a todo o momento. No caso de um empreendimento de mineração não é diferente. Sendo assim, estudos devem ser feitos e analisados antes que uma decisão seja tomada. Esse conjunto de estudos e análises compõe a etapa de planejamento.

Antes e durante a execução da lavra na mineração, o planejamento se faz presente para garantir que o resultado seja o mais próximo do objetivo traçado no plano. Em uma mineração, ele tem como objetivos principais a maximização das receitas, melhor aproveitamento dos recursos minerais, estratégia ótima de exploração, teor de corte, vida útil da mina entre outros.

Atualmente, para a realização desta etapa, são utilizados *softwares* especializados que apresentam ferramentas que facilitam a análise, pois são capazes de processar inúmeras informações e possibilitam a visualização em três dimensões. Alguns desses *softwares* são desenvolvidos, por exemplo, pelas empresas Maptek, Datamine e Gemcom.

Com base em trabalhos práticos realizados por este autor, foram percebidas as dificuldades de se visualizar os objetos em ambientes virtuais apresentados em monitores de mesa. Além disso, a execução de comandos com o uso dos equipamentos periféricos tradicionais, como teclado e *mouse*, se demonstraram bastante lentos.

Portanto, este trabalho tem como objetivo propor uma integração dos softwares de mineração aplicados no planejamento de lavra com equipamentos baseados na realidade virtual em ambientes imersivos. Além de facilitar o modo de visualização e de interação computacional proporcionando maior segurança na operação de lavra e possibilidade de elaboração de um plano mais dinâmico e em menor tempo.

2. PLANEJAMENTO DE LAVRA NA ATUALIDADE

De acordo com o Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves, a Indústria da Mineração apresenta características marcantes que raramente são encontradas em outros empreendimentos. Algumas destas características são definidas como:

- Operações em localidades remotas;
- Cada região possui características extremamente individualizadas;
- Rigidez locacional, uma vez que os recursos naturais são fixos;
- Transitoriedade do empreendimento, devido às jazidas serem recursos não renováveis;
- Longo tempo de maturação e retorno de investimentos etc.

Por este motivo, segundo a empresa SAP (Systeme Anwendungen und Produkte), a importância do planejamento de lavra em assegurar o valor do empreendimento faz dele o ponto de início de todo o planejamento do negócio. Para tanto na pesquisa geológica, as empresas de mineração têm utilizado as mais recentes tecnologias de base de dados – na coleta e classificação de uma vasta quantidade de dados de campo – para detalhar o subsolo da região estudada, aumentando a confiabilidade do modelo de blocos gerado, o qual será utilizado no planejamento de lavra.

Para tanto, conforme a INFOMIMET (2009) há inúmeras empresas que desenvolvem *softwares* voltados para esta indústria, tais como Maptek, Datamine, Gemcom, entre outros. “Estes *softwares* de mineração trabalham de maneira a concentrar dados colhidos em campo e gerar mais informações, necessárias para a modelagem virtual e avaliação do empreendimento mineiro” (GRANDI, 2007, p. 16).

De maneira geral, estes *softwares* têm como aplicações:

- Modelagem geológica: consiste na interpretação das informações dos furos de sondagens com base em geoestatística, possibilitando a criação de um modelo virtual em 3D da geologia do local pesquisado, possibilitando uma estimativa do volume e teor de cada litologia encontrada;
- Configuração da mina: consiste na representação gráfica tridimensional de todos os parâmetros relevantes (método de lavra, dimensões de largura e inclinação das vias de acesso, equipamentos a serem utilizados, ângulo de talude no caso de cava à céu aberto etc.) – Figura 1;
- Seqüenciamento de lavra: consiste na extração seqüencial dos blocos minerais, pode ser executado para curto, médio e longo prazos;
- Estimativas de investimentos iniciais e futuros, custos operacionais e cálculos de receitas, tempo de vida útil da mina etc.;
- Dimensionamento da frota de equipamentos necessários e outras.

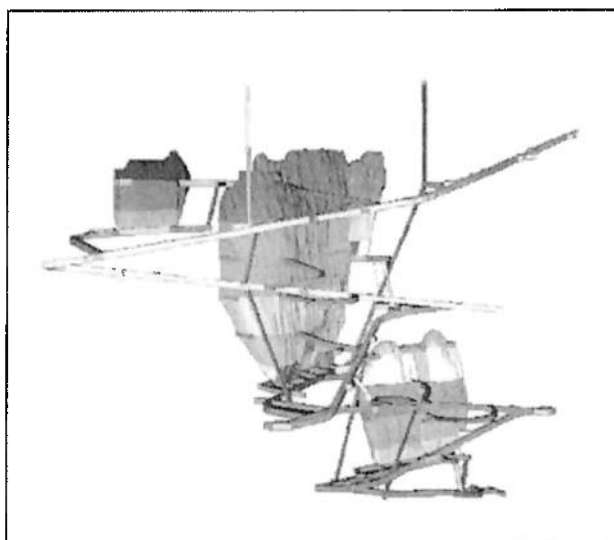


Figura 1: Modelo virtual de uma mina subterrânea e modelo de blocos

(http://www.datamine.co.uk/images/Mine2-4D/M24D_UGpic1.jpg)

3. REALIDADE VIRTUAL (RV)

O termo realidade virtual foi originalmente criado pelo americano Jaron Lanier, fundador da empresa VPL Research. Existem inúmeras definições para este termo, mas segundo o professor Doutor KIRNER (2009) da Universidade Federal de Itajubá, uma definição seria “uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multisensoriais”.

A idéia de imersão, de acordo com KIRNER (2009), é traduzida pelo sentimento de estar dentro do ambiente criado, que é ocasionado pelos fatores visual e auditivo, uma vez que com a utilização de equipamentos como óculos ou capacete de visualização, “cavernas digitais” e sistema de áudio espacial, aliados ao posicionamento automático do usuário, da movimentação de sua cabeça e os controles reativos, a sensação de imersão se torna quase real.

Sobre imersão, é válido mencionar que existem sistemas imersivos e não imersivos. Os sistemas não imersivos são a visualização tridimensional através de um monitor, onde o movimento do usuário não altera o campo de visão apresentado. Os sistemas imersivos, mencionados anteriormente, são os visualizados através de óculos ou capacetes visualizadores (HMD – *Head Mounted Displays*) ou salas de projeção (CAVE – *Computer Automatic Virtual Environments*) e serão focados e apresentados com mais detalhes no decorrer deste trabalho.

Segundo DIAS, JUNIOR e BARRERÉ (2005, v.1, p. 204-206), a interação tem como objetivo permitir que o usuário tenha a sua tarefa como o centro de sua atenção, que seja de fácil operação e em tempo real.

3.1. Realidade Virtual em Ambientes Imersivos

Como foi mencionado anteriormente, os sistemas imersivos permitem que os usuários tenham a sensação de estarem dentro do ambiente virtual. Nestes sistemas, conforme DIAS (2005), o processo de interação usuário-ambiente é realizado através das seguintes formas:

- Direta: o usuário utiliza o próprio corpo para atuar sobre o objeto virtual;
- Com controles físicos: o usuário utiliza dispositivos como *joysticks*, luvas, pedais, volante de automóveis (como no treinamento de caminhões *off-road* para mineração) etc.;
- Com controles virtuais: o usuário utiliza uma representação virtual de um dispositivo físico como menus 3D, *widgets*, botões, ponteiro virtual etc.

Esses dispositivos de controle são os já desenvolvidos na atualidade. Entretanto, as funções exercidas por eles podem ser otimizadas para se adaptarem aos diversos *softwares*, inclusive nos utilizados no planejamento de lavra na mineração.

3.2. Técnicas de Interação de Navegação

De acordo com os autores DIAS, JUNIOR e BARRERÉ (2005, v.1, p. 204-206) a idéia de navegação corresponde ao processo de movimentar o observador no ambiente tridimensional virtual, como sendo parte da interação com o ambiente, uma vez que pode ser caracterizada pela modificação do ambiente em resposta (capacidade reativa) aos movimentos do usuário.

BOWMAN, KRUIJFT, LAVIOLA e POUPYREV (2004) citam 5 metáforas para as técnicas de navegação: movimento físico, manipulação do ponto de visão, pilotagem (*steering*), navegação baseada no alvo (*target-based travel*), direção planejada (*route planning*).

Segundo eles, a metáfora baseada no movimento físico, o usuário utiliza o próprio corpo para se deslocar no ambiente. São necessários sensores de movimento (para rotação) e equipamentos que permitam o movimento sem deslocamento físico do usuário (para translação). Por exemplo, pedais, bicicletas fixas ou esteiras omnidirecionais, exemplificada na Figura 2 a seguir.



Figura 2: Treinamento militar sobre uma esteira omnidirecional em CAVE

(http://en.wikipedia.org/wiki/File:ARL_ODT.jpg)

A metáfora pilotagem (*steering*) é a mais freqüente e eficiente, e trata-se da constante determinação da rota a ser tomada, seja pela técnica do apontamento, onde a orientação baseia-se no movimento da mão, ou do olhar, onde a orientação se baseia no movimento da cabeça.

Segundo DIAS (2005) a metáfora de navegação baseada no alvo (*target-based travel*), o usuário especifica o local do destino e o sistema controla o movimento, podendo ser feito na forma de teletransporte, onde o usuário é transportado imediatamente para a nova localização, ou, preferivelmente, através de uma animação do deslocamento do usuário do trajeto percorrido.

Já em direção planejada (*route planning*), o usuário escolhe uma rota para ser percorrida e o sistema controla o movimento. Ele pode manipular ícones ou estipular qual o caminho sobre um mapa do ambiente. A figura abaixo ilustra uma técnica em que o usuário realiza marcações do caminho a ser percorrido no ambiente virtual.

3.3. Técnicas de Interação de Controle

Os menus são freqüentemente usados em ambientes *desktops* (bidimensionais), pois este tipo de interação minimiza a memorização de comandos e informações exigidas do usuário. DARKEN (1994, p. 365-371) apresenta um menu 3D (Figura 3) para espaços virtuais ilustrado na figura 4, que facilita a interação, pois libera as mãos do usuário para outras tarefas, uma vez que utiliza a fala para selecionar os itens.

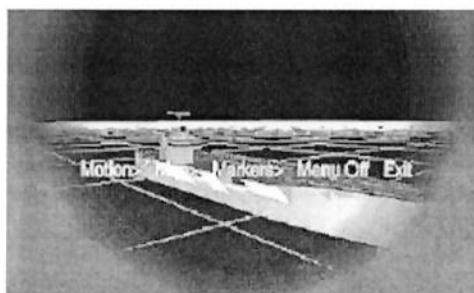


Figura 3: Representação de menu em ambiente tridimensional

(Darken, 1994)

Existem técnicas de interação que enfatizam a propriocepção. MINE (1997) define propriocepção como a sensação que toda pessoa tem da posição e da orientação das partes do seu próprio corpo. Esta sensação favorece a interação em ambientes imersivos porque propicia maior facilidade na manipulação dos objetos, uma vez que o usuário tem a sensação tátil do seu próprio corpo.

Usando as informações do próprio corpo, como a posição das mãos ou da cabeça, as técnicas propostas possibilitam uma referência física real na qual o usuário pode apoiar-se para compreender o processo interativo, como por exemplo, menus ou controles presos ao corpo do usuário, um controle mais fino sobre os movimentos executados e a possibilidade de uma interação sem os olhos, onde o usuário não necessita estar sempre olhando para os objetos ou para aquilo que estiver fazendo.

Considerando este conhecimento inerente que todo usuário tem das partes do seu corpo, MINE (1997) cita algumas técnicas para manipulação de objetos:

- Manipulação Direta

A principal técnica de manipulação direta é a *scaled-world grab* (Figura 4), na qual o ambiente virtual é escalado automaticamente quando o usuário seleciona o objeto. Após a manipulação, uma transformação inversa devolve o objeto a seu tamanho original, respeitando as transformações realizadas durante o processo de manipulação.

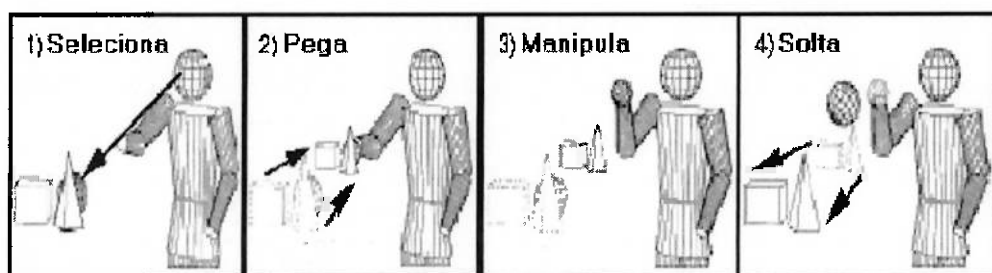


Figura 4: Representação da técnica de manipulação direta

(Mine, 1997)

- Objetos vinculados ao corpo do usuário

Existem objetos de controle físicos ou virtuais. Os físicos são os controles remotos, cuja manipulação é trivial não demandando explicações. Os virtuais podem ser do tipo menus localizados em posições fixas em relação ao corpo do usuário, pois quando o usuário anda livremente pelo ambiente, pode ter dificuldade para encontrar os objetos após um movimento brusco ou um deslocamento muito grande. Para contornar este problema, utiliza-se menus presos ao corpo do usuário. Um menu pode conter opções dos diferentes locais para onde o usuário pode se deslocar pelo ambiente, ou então, uma lista de objetos do ambiente que podem ser selecionados.

Outro tipo de objetos virtuais são os *widgets*, ou seja, objetos gráficos 3D com geometria e comportamento, que aparecem na mão virtual do usuário (Figura 5). *Widgets* manuais podem ser usados para controlar objetos a distância como uma espécie de controle remoto. Os movimentos e transformações aplicados aos *widgets* são realizados sobre os objetos aos quais estão associados.

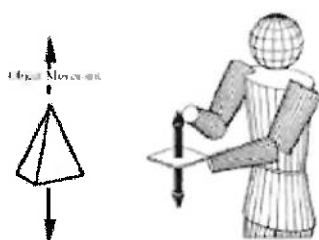


Figura 5: Representação da técnica de manipulação por widget

(Mine, 1997)

- Ações por gestos

Estas técnicas são as mais intuitivas, pois foram desenvolvidas a partir dos movimentos do corpo semelhantes aos realizados rotineiramente. Algumas delas são a remoção por cima dos ombros, a *head-butt-zoom*, a interação do menu através do olhar e a direção de movimento com ambas as mãos.

A técnica de remoção de um ou mais objetos selecionados por cima dos ombros é bastante intuitiva, pois se assemelha ao gesto de “jogar fora um objeto” ao atirá-lo por cima do ombro. A técnica *head-butt-zoom* (Figura 6) consiste em o usuário utilizar as duas mãos para delimitar uma moldura sobre a cena virtual. Esta moldura é especificada através do posicionamento das mãos em frente ao objeto de interesse do usuário. Para prover um *feedback* ao usuário durante o processo de seleção, o *software* pode reconhecer o comando e desenhar sobre a imagem um retângulo que represente a moldura.



Figura 6: Representação da técnica *head-butt-zoom*

(Mine, 1997)

Outras técnicas bastante intuitivas são a interação com menus através do olhar (Figura 7), a qual consiste em um raio fixado na cabeça do usuário que reconhece o seu movimento possibilitando selecionar a opção com o olhar, e a direção de movimento com ambas as mãos (Figura 8), que como o próprio nome diz, se trata de uma técnica de controle de locomoção, na qual a direção do movimento pode ser especificada com o uso das duas mãos e pode ser representada por um vetor.

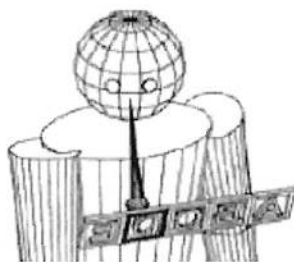


Figura 7: Representação da técnica de interação com menus através do olhar

(Mine, 1997)

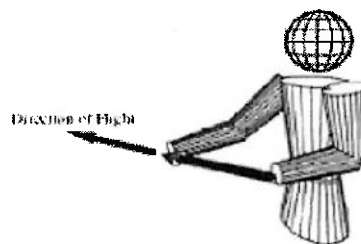


Figura 8: Representação da técnica da direção de movimento com ambas as mãos

(Mine, 1997)

3.4. Equipamentos Utilizados em Ambientes Virtuais Imersivos

Há diversos equipamentos desenvolvidos para serem utilizados com este tipo de realidade virtual. Eles se dividem em classes de visualização, controle e navegação. Sendo este último isento de detalhes, devido ao sistema proposto não exigir um equipamento para tal finalidade.

3.4.1. Equipamentos de visualização

Atualmente, existem basicamente dois equipamentos que possuem maior aceitação nesse setor, ambos tornam possível a imersão do usuário no ambiente virtual tridimensional, entretanto diferem tanto na utilização como no custo.

Os *head mounted displays* (HMD) – apresentado na Figura 9 – são equipamentos individuais, providos de dois monitores oculares de LCD, *headphones* e microfone montados em uma estrutura ajustável à cabeça do usuário. Normalmente não inclui o sensor de movimento (Figura 10), apesar de ser imprescindível para o devido fim.

Ainda que seja um equipamento completo, seu custo é relativamente baixo. Segundo o distribuidor VIRTUAL REALITY (2009), o conjunto HMD, microfone e sensor de movimento podem chegar a um valor aproximado de US\$ 1.000,00.



Figura 9: Head Mounted Display

(<http://www.vrealities.com/5dtglove14.html>)

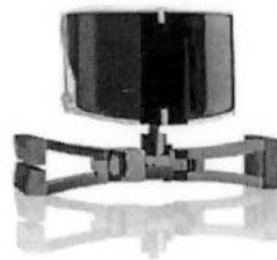


Figura 10: Sensor de movimento com base e suporte tipo pinça

(<http://www.vrealities.com/trackir4pro.html>)

Já os *computer automatic virtual environments* (CAVE), de acordo com *HowStuffWorks* Brasil, não são um único equipamento, mas sim uma sala de três ou quatro paredes, de dimensões variáveis, composta de equipamentos como projetores de alta definição, sensores de movimentos e sistema de áudio. A quantidade de cada equipamento requerida varia conforme as dimensões do CAVE.

As paredes do CAVE funcionam como telas de retroprojeção e as imagens são projetadas em um formato estereoscópico com um padrão alternante rápido, que sincronizadas com os óculos dos usuários proporcionam a ilusão de profundidade.

Devido aos equipamentos serem fixos na própria sala, o usuário não necessitará de HMD, somente um simples óculos-3D com dispositivo de rastreamento para que as imagens sejam ajustadas de acordo com a sua movimentação. O CAVE pode ser utilizado por mais de um usuário, entretanto, o ponto de vista será determinado pelo usuário que possuir o dispositivo de rastreamento, enquanto que os demais usuários serão meros observadores.

Em abril de 2001, conforme FRUET (2001), foi inaugurada a CAVERNA Digital (Figura 11) no Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI), na Escola Politécnica da USP. De pequenas dimensões, cinco telas de 3m x 3m, mas com equipamentos de alta tecnologia, teve um custo de aproximadamente US\$ 1.000.000,00.



Figura 11: Usuário na CAVERNA Digital no Laboratório de Sistemas Integráveis (USP)

(http://www.lsi.usp.br/interativos/nrv/fotos/caverna_0257.jpg)

3.4.2. Equipamentos de controle

Neste módulo se inserem todos os equipamentos que têm como finalidade a interação entre o usuário e o ambiente virtual. Contudo, como os equipamentos que compõem este módulo são demasiadamente diversificados, serão relatados apenas os pertinentes ao trabalho em questão.

O principal deles é um equipamento que pode ser considerado uma luva (figura 13), no qual há sensores de movimento individuais em cada dedo capazes de reconhecer pequenos movimentos. Estes transmitem o sinal através de um cabo ou via *Bluetooth* para um receptor conectado ao computador. (Figura 12)

Atualmente existem diferentes fabricantes deste tipo de equipamento, alguns deles afirmam reconhecer até a pressão aplicada no objeto virtual e outros um sistema de resposta tátil ao toque, com pequenos estimuladores na palma da mão e nos dedos que podem ser individualmente programados para reproduzir a sensação do toque ao objeto.

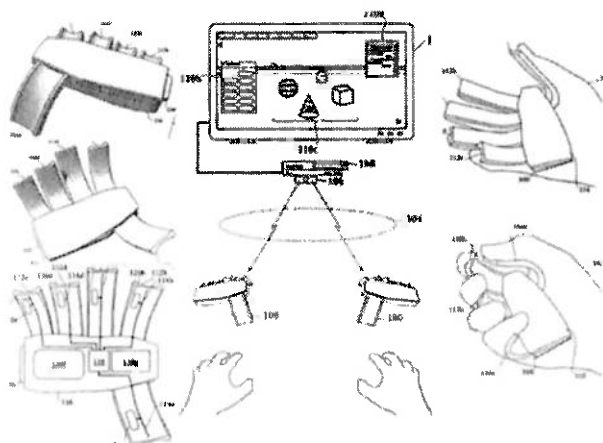


Figura 12: Esquema detalhado de funcionamento de um sistema com luva de controle

(<http://www.techzine.com.br/arquivo/sony-lanca-patente-de-controle-para-realidade-virtual/>)



Figura 13: Luva de controle com transmissor wireless

(<http://www.vrealities.com/5dtglove14.html>)

Outro tipo de equipamento utilizado para executar comandos é o controle remoto (opcional) – apresentado na figura 14 – o qual pode ter diferentes formatos e funcionalidades. Mantido preferencialmente próximo do usuário para necessidades de controle ou navegação.

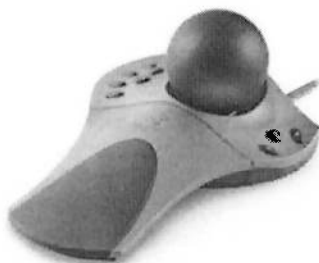


Figura 14: Controle remote de mesa

(<http://www.vrealities.com/spaceball5000.html>)

De acordo com o mesmo fabricante o custo de aquisição das luvas de controle com transmissor *wireless*, incluindo o receptor varia entre US\$ 1.500,00 e US\$ 6.000,00 a depender do modelo escolhido. Já o controle remoto possui um custo bem inferior, cerca de US\$ 350,00.

4. METODOLOGIA

Inicialmente foi-se realizado uma pesquisa a respeito dos *softwares* de mineração que são aplicados no planejamento de lavra, observando principalmente os modos de visualização e as ferramentas de controle utilizados.

Em seguida fez-se um estudo simplificado a respeito da realidade virtual em ambientes imersivos, seus equipamentos de visualização (*head mounted displays* e *computer automatic virtual environments*) e de interação (luvas de controle, sensores de movimento e controles remotos) bem como seus custos de aquisição.

A partir desse estudo foram analisadas as vantagens de se utilizar esses equipamentos no âmbito do planejamento de lavra e foi feita a seleção dos mais adequados. Assim, foi feita uma proposição de um modelo de integração desses equipamentos escolhidos com os *softwares* de planejamento de lavra.

5. SISTEMA PROPOSTO

5.1. Requisitos do Sistema

Para o funcionamento do sistema proposto neste trabalho, é preciso ter os requisitos mínimos apresentados abaixo:

- Um *software* de mineração que possibilite a geração e visualização de objetos em 3D, bem como a modelagem da mina e do modelo de blocos;
- HMD com sistema de áudio, microfone e dispositivo de movimento acoplados;
- Luvas de controle com sensor de movimento;
- Um computador que seja compatível com estes equipamentos e que permita o completo uso do *software*.

5.2. Descrição do Sistema Proposto

O sistema proposto representa uma aplicação prática de tecnologias existentes, mas que não foram aplicadas ainda no âmbito do planejamento de lavra, com a finalidade de otimizar a segurança e o tempo de execução do planejamento através de equipamentos de controle e visualização, que serão apresentados com maiores detalhes nos dois módulos a seguir.

5.2.1. Módulo de visualização

Atualmente, a maioria dos *softwares* de mineração que afirma apresentar o modo de visualização em 3D, é uma representação bidimensional que se aproxima de uma tridimensional através de contrastes de cores e mudança de tamanho de acordo com a proximidade com o mesmo.

O sistema proposto aprimora este modo de visualização substituindo o monitor de mesa por um *head mounted display* (apresentado no item 3.4.1) que permite o usuário imergir no ambiente virtual de trabalho, o que proporciona diversos benefícios:

- Aumenta significativamente a área de trabalho;
- Reduz o nível de distrações, uma vez que todo o campo de visão é tomado pelo equipamento e não é possível enxergar através dele;
- Além do menu flutuante, pode-se selecionar os fatores a serem avaliados em tempo real, simultaneamente com a modelagem, como por exemplo a relação estéril-minério (REM), custo total (avaliando de acordo com os valores de minério e estéril estipulado), porcentagem do volume de minério retirado, tempo de vida de acordo com a produção adotada etc.;
- No caso de modelagem de galerias subterrâneas, pode-se observar, em uma seção vertical, as famílias de fraturas contidas no modelo de blocos, proporcionando uma melhor alocação das galerias visando maior segurança contra desabamentos;
- Ainda com relação a segurança, pode-se sincronizar, em tempo real, as informações das vias subterrâneas com o *software*, tornando mais seguro o monitoramento e o procedimento a ser tomado em caso de desprendimento ou até desabamento de rocha, além do que beneficiará o tempo de execução dos planos de curto prazo.

O *software* deve permitir alterações na escala dos objetos para facilitar o manuseio dos mesmos ou a depender da área de atuação do comando utilizado.

As figuras 15 e 16 são exemplos de modos de visualização tridimensional virtual do *software* Studio 3 da fabricante Datamine.

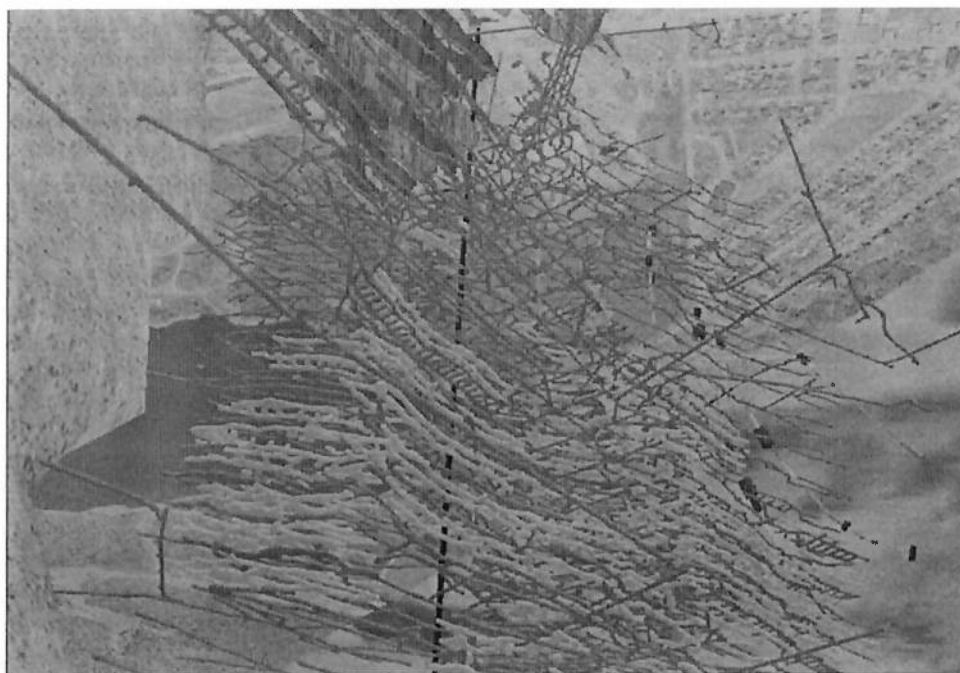


Figura 15: Vista inferior do modelo de blocos de minério, do poço e das galerias de acesso e de produção
(http://www.datamine.co.uk/images/Studio/Studio3_new/VR3.jpg)

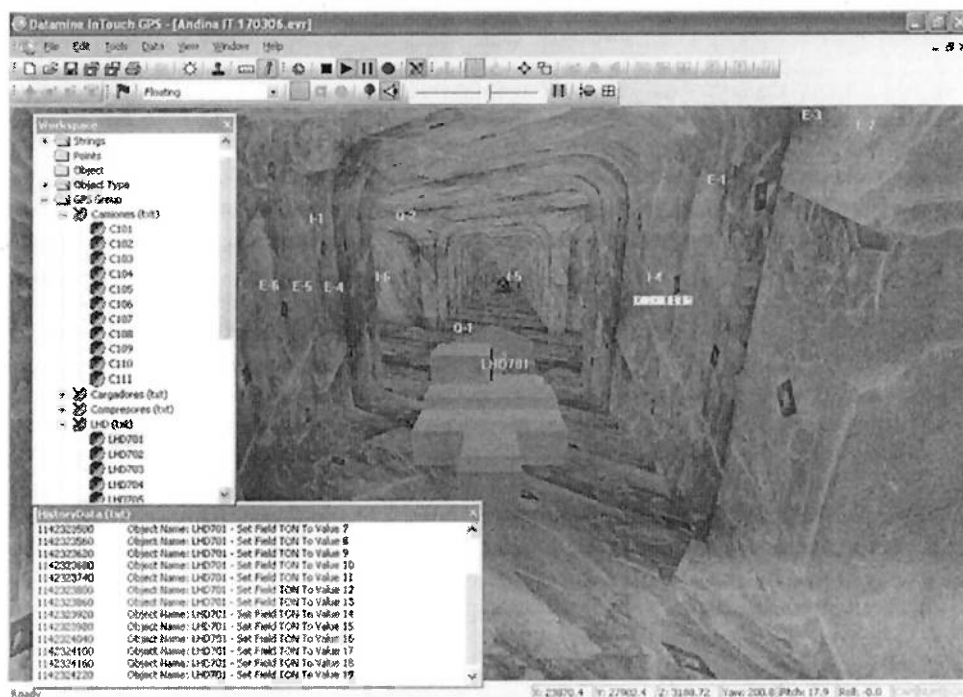


Figura 16: Vista interna de uma galeria com representação de uma LHD
(http://www.datamine.co.uk/images/Studio/Studio3_new/VR1.jpg)

5.2.2. Módulo de controle

Os *softwares* de mineração voltados para planejamento de lavra dificilmente utilizam outros equipamentos periféricos além dos convencionais teclado e *mouse* para realizar os comandos desejados. Apesar destes serem

bastante conhecidos, não requerendo nenhum período de adaptação ou treinamento, uma de suas limitações é que todos os comandos são executados apenas com o toque dos dedos.

O sistema proposto utiliza tanto ferramentas de controle reais quanto virtuais. Entenda-se por ferramentas reais as luvas, controle remoto (mencionados no item 3.4.2) e comandos por voz e por ferramentas virtuais os menus flutuantes, *widgets* e o teclado virtual (apresentados no item 3.3).

As luvas seriam a ferramenta principal, em seguida os comandos de voz ou os menus flutuantes, uma vez que todos os comandos de voz podem ser acessados através dos menus ou digitados no teclado virtual, sendo que este existiria apenas como uma alternativa opcional em casos de ambientes de trabalho demasiadamente barulhento, por exemplo.

Os modos de interação das luvas com o *software* utilizariam as técnicas de manipulação direta dos objetos, objetos virtuais acoplados ao corpo do usuário e gestos.

6. CONCLUSÕES

O sistema apresentado é totalmente teórico e nenhum resultado prático foi alcançado com este trabalho. Apesar de utilizar equipamentos e tecnologias existentes, a integração sugerida é nova e, portanto, passível de ser investigada em um estudo mais detalhado com a realização de experimentos práticos. Uma possibilidade poderia ser pesquisar sobre alternativas tecnológicas que reduzam os custos de hardware (componentes físicos) como os HMD e as luvas de controle.

Como esses equipamentos nunca foram testados com nenhum software aplicado ao planejamento de lavra, outra possibilidade de pesquisa seria uma parceria entre fabricante e pesquisadores com o intuito de desenvolver softwares compatíveis com esses equipamentos e avaliar o rendimento do controle do usuário e do tempo de elaboração do plano.

Um aspecto que não foi mencionado neste trabalho e que poderia ser discutido é a ergonomia desses dispositivos utilizados pelo operador. Devido ao fato de serem acessórios acoplados ao corpo humano é possível haver problemas relacionados ao desconforto no trabalho ou à postura inadequada se utilizados por longos períodos de tempo.

Um inconveniente deste sistema seria o ambiente de trabalho, uma vez que é utilizado controle por comandos de voz, o ambiente não pode exceder um certo nível de ruído, pois pode haver uma má interpretação do comando causando um atraso na elaboração do plano ou ainda um erro de planejamento, o que seria mais grave.

A respeito da escolha dos equipamentos de visualização, o HMD, se comparado com o CAVE, além de ser a opção de menor custo de aquisição, é a melhor opção espacial, devido ao CAVE demandar uma área considerável e como esses equipamentos seriam mais utilizados em locais do tipo escritórios, uma espaço desse porte tornaria inviável a implantação deste sistema.

Sobre o modo de visualização do HMD conjuntamente com as diversas funcionalidades dos softwares atuais é coerente afirmar que a possibilidade de observar qualquer objeto do ponto de vista de um operador em uma mina subterrânea, porém no mundo virtual, torna o planejamento das vias de acesso, transporte e produção consideravelmente mais fácil de checar se há algum erro de dimensionamento ou de alocação, evitando escavações equivocadas, o que é sinônimo de prejuízo e insegurança para a empresa e seus trabalhadores.

Já as luvas de controle foram selecionadas como a melhor opção, pois é a que possui maior número de alternativas de controle, pois além dos dedos pode-se utilizar movimentos, tornando o processo muito mais dinâmico e intuitivo. Isso conduz a crer o tempo de elaboração de um plano será reduzido e se houver um levantamento constante das frentes de lavra talvez seja possível uma mudança no plano de curto prazo em tempo real, caso haja qualquer problema na usina.

Assim, é compreensivo afirmar que as principais vantagens deste sistema – o modo de visualização imersivo e o controle dinâmico das luvas – justificam possíveis pesquisas acerca do tema, pois envolve duas áreas críticas em qualquer empreendimento, inclusive no da mineração com suas características marcantes: segurança e eficiência.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRERE, E. ; DIAS, A. L. ; OLIVEIRA JR, G. C.. **Interface para Softwares de Instanciação de Objetos 3D. In: XI Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web.** Poços de Caldas: 2005. XI Simpósio Brasileiro de Multimídia e Web - Web Media. Poços de Caldas, 2005. v. 1. p. 204-206.

BOWMAN, D., et. al. **3D User Interfaces: theory and practice.** Boston: Addison-Wesley, 2004. 478p.

CHAVES, Arthur Pinto. **Gerenciamento de Projetos de Mineração.** nov-2002. Trabalho não publicado.

DARKEN, R.P. **Hands-off interaction with menus in virtual spaces.** In: Proceedings of SPIE Vol. 2177, p. 365-371. In: Fisher SS, Merritt JO, Bolas MT, editors. Stereoscopic displays and virtual reality systems, 1994. p. 365-71.

DATAMINE. **Studio 3 and Virtual Reality.** Disponível em:
http://www.datamine.co.uk/Products/Geological_Products/Studio/studio3_VR.htm. Acessado em: 26/11/2009.

DIAS, Ana Luisa. **Técnicas de Interação em Ambientes Virtuais.** 2005. Resumo.

FRUET, Henrique. **Caverna do futuro: sala de realidade virtual da USP vai simular transplantes.** Disponível em: http://www.terra.com.br/istoe/1648/ciencia/1648_caverna_futuro.htm. Acessado em: 15/10/2009.

GRANDI, Ricardo Andre. **Utilização da tecnologia de realidade virtual aumentada em sistemas de operação de lavra com GPS de alta precisão.** 2007. 28 p. Trabalho de Conclusão (Graduação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

HOWSTUFFWORKS BRASIL. **Como funciona o equipamento da realidade virtual.** Disponível em:
<http://eletronicos.hsw.uol.com.br/equipamentos-realidade-virtual2.htm>. Acessado em: 15/10/2009.

INFOMIMET, Disponível em: <http://200.20.105.7/infomimet/inicial.htm>. Acessado em: 15/10/2009.

KIRNER, Claudio. **Sistemas de Realidade Virtual.** Disponível em:
<http://www2.dc.ufscar.br/~grv/tutrv/tutrv.htm>. Acessado em: 15/10/2009.

MINE, M.R. et.al. **Image Plane Interaction Techniques in 3D Immersive Environments.** In: 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics. 1997, New York, NY: ACM Press, p.39-44.

PINHO, Marcio Serolli. **Interação em Ambientes Tridimensionais.** Disponível em:
<http://www.inf.pucrs.br/~pinho/3DInteraction/>. Acessado em: 20/11/2009.

SAP. **The Sap Mining Solution.** Disponível em:
www.sap.com/industries/mining/pdf/SAP_Mining_solution.pdf. Acessado em: 10/11/2009.

VIRTUAL REALITY. **I-glasses i3PC.** Disponível em: <http://www.vrealities.com/iglassesi3pc.html>. Acessado em: 28/10/2009.

VIRTUAL REALITY. **TrackIR 4 Pro.** Disponível em: <http://www.vrealities.com/trackir4pro.html>. Acessado em: 28/10/2009.

WIKIPEDIA. **Omnidirectional treadmill.** Disponível em:
http://en.wikipedia.org/wiki/Omnidirectional_treadmill. Acessado em: 28/10/2009.