

RICARDO ANDRÉ GRANDI

**UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE REALIDADE AUMENTADA  
EM SISTEMAS DE OPERAÇÃO DE LAVRA  
COM GPS DE ALTA PRECISÃO**

**São Paulo  
2007**

RICARDO ANDRÉ GRANDI

**UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE REALIDADE AUMENTADA  
EM SISTEMAS DE OPERAÇÃO DE LAVRA  
COM GPS DE ALTA PRECISÃO**

Trabalho de Formatura de graduação  
para o curso de Engenharia de Minas  
da Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Giorgio de Tomi

**São Paulo  
2007**

EPMI

TF-2007

6-764 w

Syntex 166 4406



31700006126

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Grandi, Ricardo André**

Utilização da tecnologia de realidade aumentada em sistemas de operação de lavra com GPS de alta precisão / R.A. Grandi. -- São Paulo, 2007.

28 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Mineração a céu aberto (Planejamento; Operação) 2.Realidade virtual (Equipamentos; Aplicações) 3.Sistema de posicionamento global (Uso) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

Dedico esse trabalho aos meus pais, por todo o apoio dispensado para minha formação profissional e como ser humano.

## Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Giorgio de Tomi e a Jon Dadswell por todas as oportunidades concedidas, necessárias para meu desenvolvimento profissional.

Aos engenheiros de minas Alexandre M. Petermann e Alberto Reyes, por toda a atenção dispensada para meu aprimoramento técnico e profissional.

Às empresas Datamine South África e Anglogold Ashanti, mina de Obuasi, Gana, pelas oportunidades de estágio.

Aos amigos Ricardo G. Romero e João Paulo L. Ghirardi pela amizade em todas as horas.

A todos os colegas do Departamento de Engenharia de Minas da Poli-USP, pela motivação e pelo sentimento de que formamos uma grande família. Em especial, a Alessandro Dotta, Miguel S. Kato e Rodrigo M. Simidu.

## Resumo

No ambiente da mineração, especificamente na parte operacional de lavra de mina, muitas vezes há discordâncias entre a lavra planejada e a lavra executada. Essas discordâncias normalmente ocorrem devido às falhas no fluxo de informação entre planejamento de lavra e operação de mina, alterando a produção originalmente planejada conforme as necessidades práticas da operação.

Este trabalho propõe um sistema de visualização de objetos e informações virtuais específicos de mineração, para apoiar a tomada de decisões operacionais dentro dos equipamentos de lavra operando junto às frentes de operação da mina. O sistema proposto utiliza como base as tecnologias de GPS de alta precisão e de Realidade Aumentada, com auxílio de dispositivos avançados de visualização tridimensional e de rastreadores de posição do operador.

O objetivo final é permitir que os operadores destas máquinas visualizem diretamente os blocos geológicos a serem lavrados em horizontes de curto-prazo, sem a necessidade de utilização de monitores, permitindo a extração de materiais das frentes de lavra conforme a seqüência pré-definida pelo planejamento, minimizando as diferenças entre planejado e lavrado. Isso assegurará que a estratégia ótima de lavra seja obedecida pela operação, e que será atingida a maior eficiência operacional possível.

**Palavras-chave:** Planejamento de Lavra, Realidade Aumentada, GPS de Alta Precisão, Software de Mineração, Vídeo-Capacete

## Abstract

In a mining environment, specifically in its operational side, many times there are differences between what is planned to be mined and what is actually mined. This is due to the lack of information flow between mine planning and operation, resulting in a lower production compared to be desired for the well going of a mining enterprise.

This paper proposes a visualization system for specific mining objects and virtual information, to support operational decision making, in the proper mining environment, inside mining equipment operating at mining faces. The base technology for the proposed system is the high precision GPS and Augmented Reality, with advanced 3D visualization displays and head trackers.

The final objective is to let machine operators to visualize the blocks to be mined in a short-term basis without the use of monitors, allowing material extraction from mining faces in sequences pre-defined by the mine planners, reducing differences between planned and actually mined. This, to ensure that the optimal mining strategy will be followed and to achieve the highest possible operational efficiency.

Key-words: Mine Planning, Augmented Reality, High Precision GPS, Mining Software, Head Mounted Displays

## **Lista de Figuras**

Figura 1 – Imagem da cabine de uma escavadora com monitor do sistema de GPS de alta precisão no detalhe.	9
Figura 2 – Seqüência de posicionamento, escavação e carregamento de uma escavadora frontal vista do monitor, dentro da mesma.	10
Figura 3 – Sistema de rastreamento em caminhão fora-de-estrada.	10
Figura 4 – Receptores GPS de alta precisão em escavadora.	11
Figura 5 – Detalhe do GPS de alta precisão instalado em escavadora.	11
Figura 6 – Do ambiente real ao mundo virtual.	12
Figura 7 – Exemplo de Realidade Aumentada - carro e vaso virtuais em cima da mesa.	13
Figura 8 – Exemplo de Realidade Aumentada - gráfico e blocos virtuais adicionados ao ambiente real	13
Figura 9 – Exemplo de vídeo-capacete de visão direta.	14
Figura 10 – Vídeo-capacete de imersão com câmera.	15
Figura 11 – Exemplo de receptor e rastreador de posição, adaptável a um capacete de visualização.	15
Figura 12 – Sistema de atualização da imagem tridimensional vista pelo observador.	16
Figura 13 – Furos de sondagens e corpo de minério virtuais.	17
Figura 14 – Modelo de blocos e cava virtuais, com cores representando teores.	17
Figura 15 – Objetos tridimensionais (wireframes) representando topografia e cava a céu-aberto.	18
Figura 16 – Blocos tridimensionais virtuais para lavra de curto-prazo.	19
Figura 17 – Visualização de anotações em frente de lavra virtual	20
Figura 18 – Os seis graus de liberdade dos objetos virtuais.	21
Figura 19 – Objeto fixo num local, independente da posição (1, 2, ou 3) do observador.	22
Figura 20 – Diferença de posição entre os receptores GPS e a cabeça do operador.	22
Figura 21 – Visão do operador de trator de esteiras com monitores.	23
Figura 22 - Visão do operador de retroescavadora com monitores.	23
Figura 23 – Montagem da visão do operador, proposta neste trabalho.	24

## **Lista de Tabelas e Fluxogramas**

Tabela 1 – Produtos virtuais de softwares específicos de mineração.	16
Fluxograma 1 – Fluxograma de funcionamento do sistema proposto.	25

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1</b>	<b>O Estado da Arte no Controle de Lavra</b>	<b>9</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Realidade Virtual, Realidade Misturada e Realidade Aumentada</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2.1</b>	<b>Realidade Virtual</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2.2</b>	<b>Realidade Misturada</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2.3</b>	<b>Realidade Aumentada</b>	<b>12</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Dispositivos de Imersão Virtual para Realidade Aumentada</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3.1</b>	<b>Dispositivos Visualizadores</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3.2</b>	<b>Dispositivos Rastreadores</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Softwares de modelagem tridimensional para mineração e seus produtos virtuais</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Características não visuais dos objetos tridimensionais virtuais: os Atributos</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Requisitos do sistema</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>O Sistema Proposto</b>	<b>20</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Módulo de Orientação</b>	<b>21</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Módulo Gerenciador do Ambiente Virtual</b>	<b>22</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Módulo de Visualização</b>	<b>23</b>
<b>2.5</b>	<b>Funcionamento do Sistema</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>Conclusões</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>28</b>

## 1 Introdução

Um empreendimento de mineração é uma atividade econômica de alto risco. Tem um grande período de maturação, se comparada a outras atividades econômicas, depende de grandes investimentos para seu planejamento, implantação e operação, e carrega incertezas que podem interferir no seu tempo de duração ou mesmo inviabilizar a sua continuação, como a geológica (com a variação inesperada de teores ou mesmo a descontinuidade imprevista do corpo de minério) e a de mercado (devido às variações dos preços dos minérios ou metais).

No âmbito da lavra de minas, uma das incertezas do processo é saber se o que foi planejado foi, ou está sendo realmente lavrado, para controle de teores e massa enviados para a usina de tratamento de minérios (Azevedo, 2002).

Já existem sistemas no mercado que utilizam a tecnologia de GPS de alta precisão para o monitoramento, em tempo real, de máquinas de lavra, a fim de controlar o que é lavrado, para corresponder às expectativas do planejamento de lavra. Todos estes sistemas utilizam monitores para este controle, desviando a atenção dos operadores para os mesmos, reduzindo a eficiência operacional da máquina e abrindo margem a situações de risco e a acidentes.

O presente trabalho pretende oferecer uma alternativa para a solução deste problema, conciliando o GPS de precisão com a tecnologia de Realidade Aumentada, ambos existentes e disponíveis, a fim de melhorar a segurança na operação de lavra e de aumentar a disponibilidade dos equipamentos de lavra.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Revisão Bibliográfica

#### 2.1.1 O Estado da Arte no Controle de Lavra

Para minas a céu-aberto, o estado da arte no controle de lavra é representado pelo rastreamento de equipamentos através de GPS de alta precisão. Baseado no modelo de blocos geológico da mina, este sistema permite que o operador de máquina de escavação (escavadoras, carregadoras etc) saiba qual bloco está sendo minerado, com precisão de 1 a 2 centímetros, através do rastreamento da posição exata da caçamba.

Assim, comparando as posições da caçamba no momento da escavação com o modelo de blocos, é possível extrair informações muito importantes para o planejamento da mina, como volume e blocos escavados, número de caçambadas, penetração da caçamba na face de escavação, etc.

Os principais benefícios deste sistema, além dos citados acima, são possibilidade de comparação da produção planejada com a realmente obtida, o monitoramento e a visualização da posição e direção do equipamento de lavra, o controle da diluição do minério, o controle da remoção de solo/estéril sem comprometimento ou retirada do minério, o aproveitamento horário máximo dos equipamentos, entre outros, tudo em tempo-real ([www.smartmine.com.br](http://www.smartmine.com.br)).

Todos os sistemas oferecidos utilizam monitores para guiar o operador, mostrando as informações vindas do GPS de alta precisão.



Figura 1 – Imagem da cabine de uma escavadora com monitor do sistema de GPS de alta precisão no detalhe.  
(Cedida pela empresa Devex)

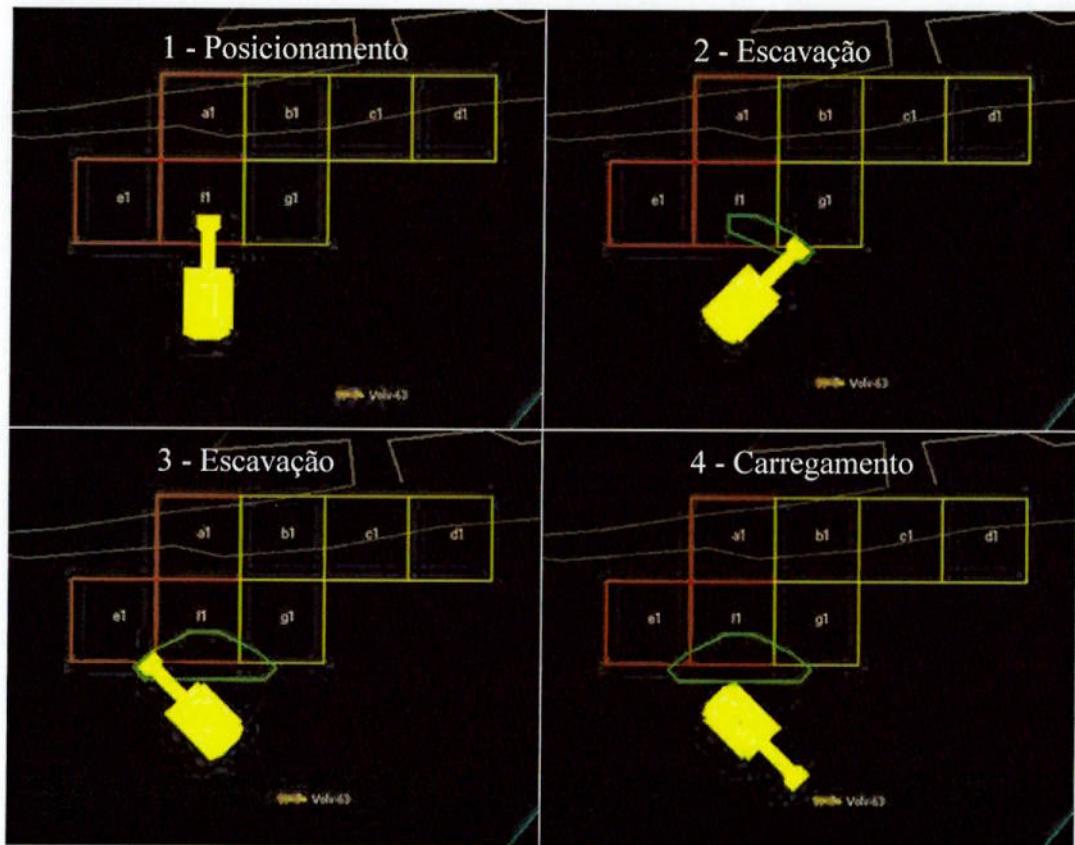


Figura 2 – Seqüência de posicionamento, escavação e carregamento de uma escavadora frontal vista do monitor, dentro da mesma.

O traço verde simboliza a área lavrada, de acordo com a posição da caçamba.  
Os quadrados coloridos representam o modelo de blocos gelógico, colorido por teores.  
(Cedida pela empresa Devex)



Figura 3 – Sistema de rastreamento em caminhão fora-de-estrada.  
(Cedida pela empresa Devex)

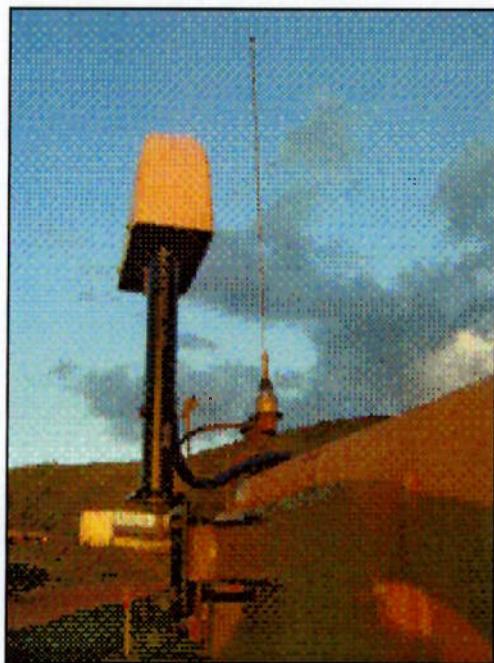


Figura 4 – Receptores GPS de alta precisão em escavadora.  
(Cedida pela empresa Devex)



Figura 5 – Detalhe do GPS de alta precisão instalado em escavadora.  
(Cedida pela empresa Devex)

## 2.1.2 Realidade Virtual, Realidade Misturada e Realidade Aumentada

Para se compreender o sistema proposto neste trabalho, primeiramente é necessário entender todos os conceitos a seguir, segundo Tori & Kirner (2006).

### 2.1.2.1 Realidade Virtual

A realidade virtual é uma interface avançada do usuário para acessar aplicações executadas no computador, tendo como características a visualização e movimentação em ambientes tridimensionais em tempo real, e a interação com elementos desse ambiente.

Nos ambientes virtuais, a interação mais simples consiste na navegação, que ocorre quando o usuário se movimenta no espaço tridimensional, usando algum tipo de dispositivo, como mouse 3D, ou gestos detectados por algum dispositivo de captura, tendo como resposta a visualização de novos pontos de vista do cenário. Nesse caso, não há mudanças no ambiente virtual, somente um passeio exploratório.

### 2.1.2.2 Realidade Misturada

A realidade misturada pode ser definida como a sobreposição de objetos virtuais tridimensionais gerados por computador com o ambiente físico, mostrada ao usuário, com apoio de algum dispositivo tecnológico, em tempo real. A realidade misturada incorpora elementos virtuais ao ambiente real ou leva elementos reais ao ambiente virtual, complementando os ambientes.

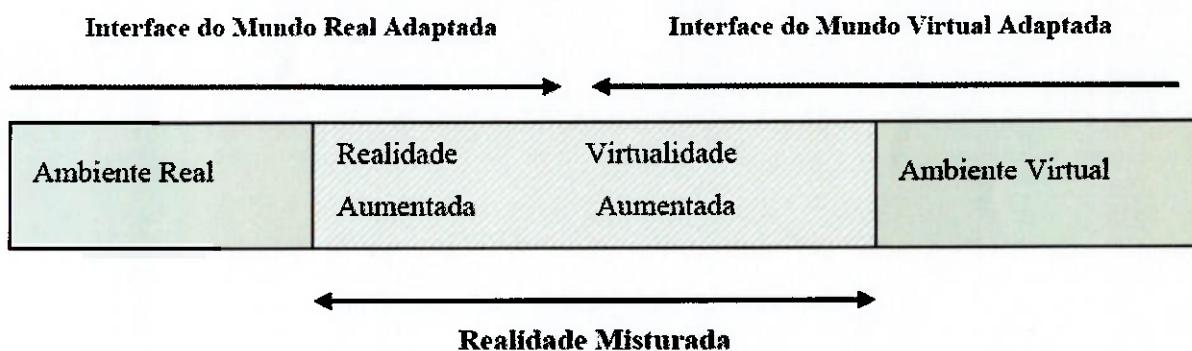


Figura 6 – Do ambiente real ao mundo virtual.  
(Tori & Kirner, 2006)

### 2.1.2.3 Realidade Aumentada

A realidade aumentada mantém o usuário no seu ambiente físico e transporta o ambiente virtual para o espaço do usuário, permitindo a interação com o mundo virtual, de maneira mais natural e sem necessidade de treinamento ou adaptação.

De outro modo, a realidade aumentada permite que o usuário visualize e navegue no ambiente no qual está inserido, acrescido de objetos virtuais em três dimensões.

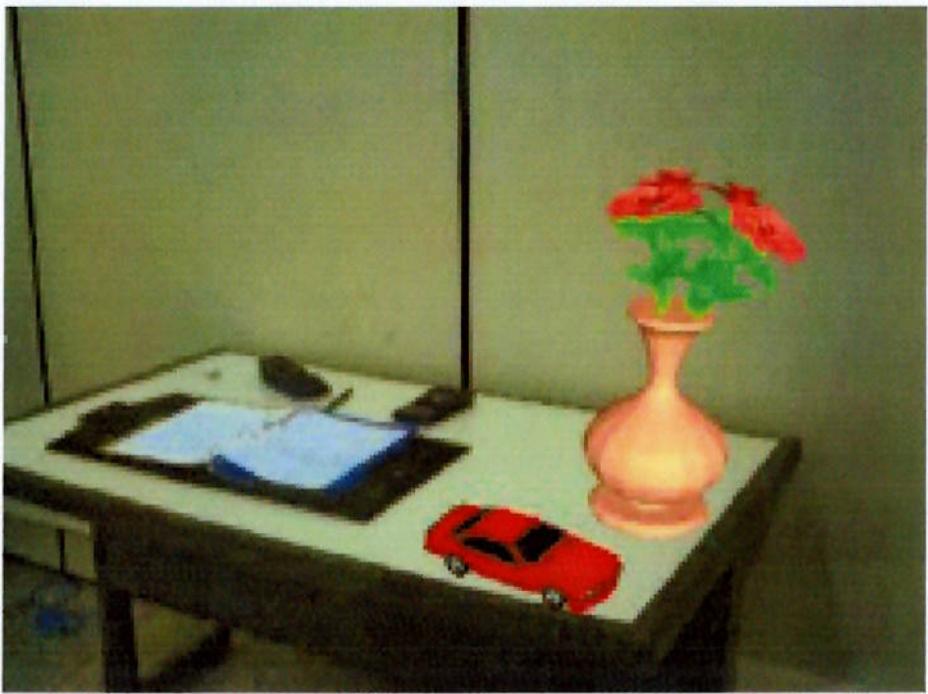


Figura 7 – Exemplo de Realidade Aumentada - carro e vaso virtuais em cima da mesa.  
(Tori & Kirner, 2006)

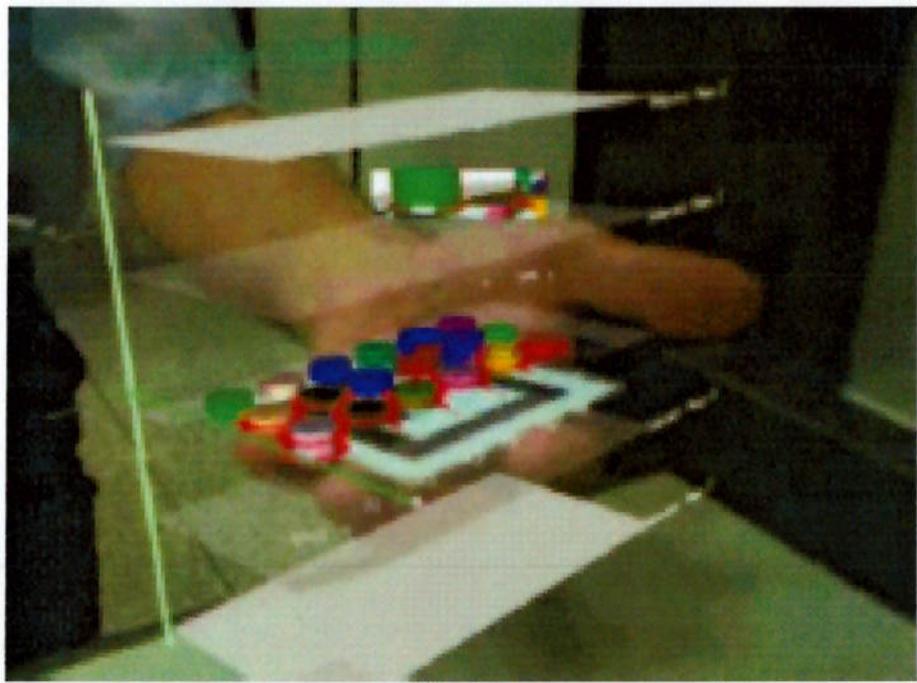


Figura 8 – Exemplo de Realidade Aumentada - gráfico e blocos virtuais adicionados ao ambiente real (Tori & Kirner, 2006).

## 2.1.3 Dispositivos de Imersão Virtual para Realidade Aumentada

### 2.1.3.1 Dispositivos Visualizadores

Existem diversos sistemas para visualização de ambientes de realidade aumentada. Estão entre eles os monitores convencionais e os capacetes com visão de câmera de vídeo, os chamados vídeo-capacetes, onde o que se vê é a imagem de uma câmera que captura o ambiente real, misturada com os objetos virtuais. Estes últimos não permitem que o usuário esteja atento ao ambiente real, uma vez que a imagem recebida é limitada pelo campo de visão da câmera, além de demorar certo tempo para ser processada (misturando a imagem da câmera com a do mundo virtual) e não possui brilho, contraste e cores fiéis às reais, assim comprometendo a segurança no ambiente de mineração, além de desviar a atenção do usuário para com o ambiente, no caso dos monitores.

Assim, o melhor sistema que se adapta à mineração é aquele em que se utiliza um capacete com visão ótica direta. Chamado de vídeo-capacete de visão direta, este consiste de um dispositivo com óculos semitransparente, inclinado, de forma a permitir a passagem da imagem real vista diretamente e a refletir imagens geradas pelo computador e projetadas por miniprojetores acima dos óculos.

A visão tridimensional é conseguida pelo efeito estereoscópico, obtido pela diferença nas imagens enviadas para cada olho, vinda de cada um dos projetores (Siscoutto, Szenberg, Tori, Raposo, Celes, Gattass, 2006).



Figura 9 - Exemplo de vídeo-capacete de visão direta.  
(<http://www.vrealities.com/p-50.html>)



Figura 10 – Vídeo-capacete de imersão com câmera.  
(<http://www.vrealities.com/arvision-3d.html>)

### 2.1.3.2 Dispositivos Rastreadores

São dispositivos que percebem a diferença de posição e orientação em relação a um ponto conhecido. Um dispositivo rastreador é formado por uma fonte emissora de sinais, um sensor que os recebe e um controlador que processa o sinal e o envia ao computador. Deste modo, serve para detectar a direção da cabeça do usuário, a fim de projetar num dispositivo visualizador, a imagem de um objeto tridimensional, posicionada corretamente no espaço real (Machado & Cardoso, 2006).

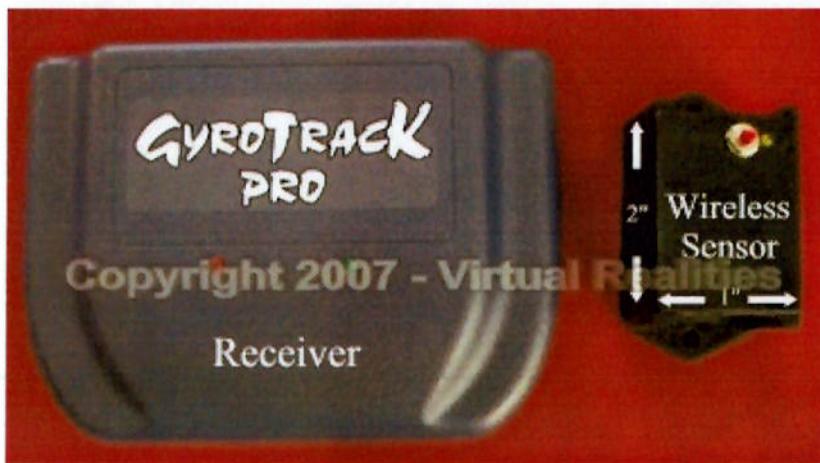


Figura 11 – Exemplo de receptor e rastreador de posição,  
adaptável a um capacete de visualização.  
(<http://www.vrealities.com/gyrotrackpro.html>)

Normalmente, os atrasos admissíveis para que o ser humano tenha a sensação de interação em tempo-real estão em torno dos 100 milisegundos, tanto para a visão, quanto para as reações de tato, força e audição. Isto impõe um compromisso do sistema em funcionar com taxas mínimas de 10 quadros por segundo na renderização das imagens e de 100 milisegundos de atraso nas reações aos comandos do usuário (Tori & Kirner, 2006).

A figura a seguir mostra o ciclo de atualização da imagem tridimensional virtual vista pelo observador, à medida que este move a cabeça.

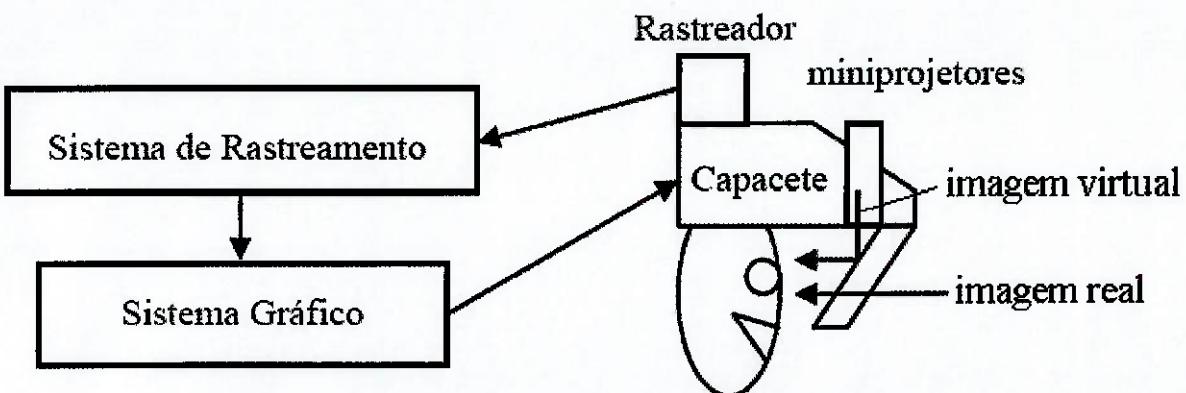


Figura 12 – Sistema de atualização da imagem tridimensional vista pelo observador.

## 2.2 Softwares de modelagem tridimensional para mineração e seus produtos virtuais

Os softwares de mineração vêm sido utilizados já há algum tempo e são reconhecidos pelo mercado como importante ferramenta tanto para o entendimento geológico da região, como para o planejamento e sequenciamento de lavra do depósito mineral, além de muitas outras aplicações (Azevedo, 2002).

Basicamente os 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.

Este processo e seus produtos virtuais estão descritos na tabela a seguir:

Seqüência	Descrição	Produtos tridimensionais virtuais
1	Modelagem dos furos de sondagens, com informações de litologia, contatos, falhas, teores, etc	Furos de sondagens virtuais, com posição da boca do furo, azimute e mergulho semelhante aos reais
2	Modelagem do corpo de minério através de contatos geológicos	Corpo de minério virtual, com características definidas pelo geólogo
3	Produção do modelo de blocos da região com interpolação de teores, através de ferramentas geoestatísticas	Modelo de blocos regional com informações de teores, litologia, área da mina, etc
4	Desenho da mina através de parâmetros geotécnicos, topográficos e técnico-operacionais	Modelo virtual da mina (cava operacional, prédios, galerias subterrâneas, realces, bacias, etc)
5	Sequenciamento da extração do minério, através de frentes de lavra de longo, médio e curto-prazos, para alcançar metas de produção (tonelagens, teores, etc).	Blocos a serem extraídos de longo a curto-prazo no tempo

Tabela 1 – produtos virtuais de softwares específicos de mineração.

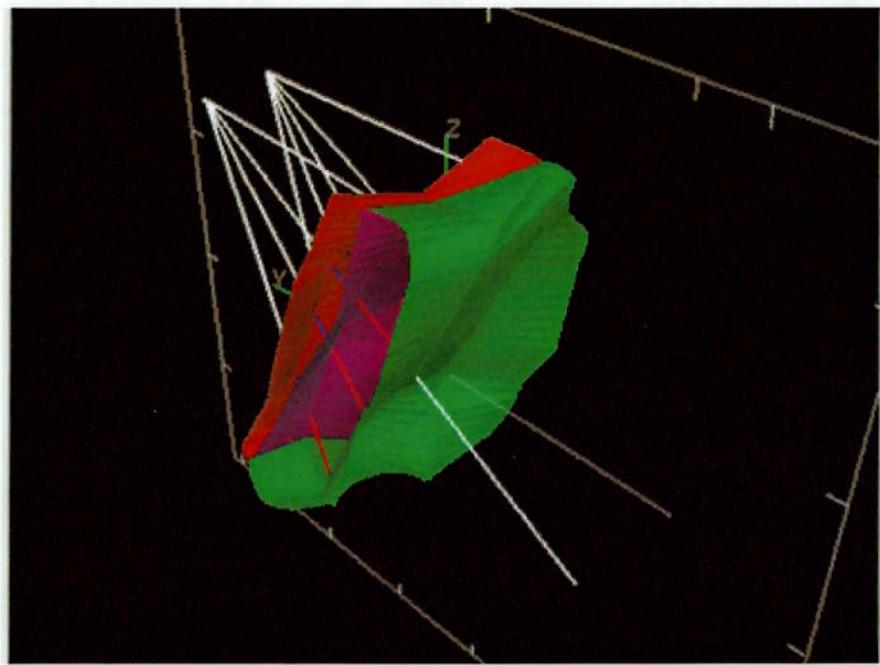


Figura 13 – Furos de sondagens e corpo de minério virtuais.  
([http://www.datamine.co.uk/images/Studio/Studio3\\_new/wireframe3.GIF](http://www.datamine.co.uk/images/Studio/Studio3_new/wireframe3.GIF))

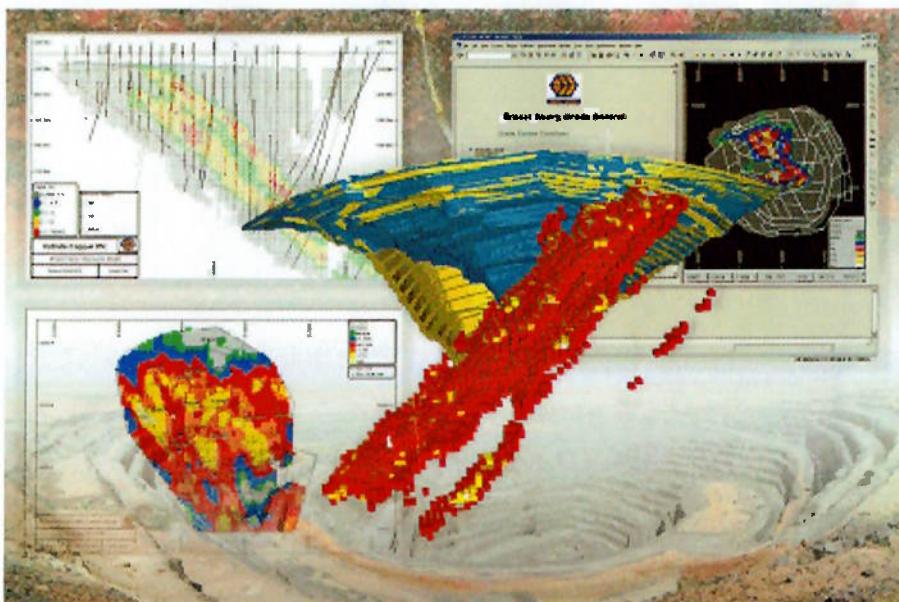


Figura 14 – Modelo de blocos e cava virtuais, com cores representando teores.  
([http://www.datamine.co.uk/Products/Geological\\_Products/Studio/Studio\\_brochure/block\\_modeling.htm](http://www.datamine.co.uk/Products/Geological_Products/Studio/Studio_brochure/block_modeling.htm))



Figura 15 – Objetos tridimensionais (wireframes) representando topografia e cava a céu-aberto.

([http://www.mine24d.com/Product\\_Brochures/Mine2-4D.pdf](http://www.mine24d.com/Product_Brochures/Mine2-4D.pdf))

À medida que são geradas novas informações, em qualquer etapa descrita acima, deve-se atualizar os produtos das etapas posteriores, ajustando, no final, a seqüência de extração do minério.

A quantidade e a qualidade das informações disponíveis na execução de cada uma destas etapas influenciará na acurácia do modelo virtual e da seqüência de extração obtida, frente a metas de produção pré-definidas. Os erros ou imprecisões serão carregados para as etapas seguintes, produzindo resultados e avaliações errôneas, que comprometerão o planejamento e o sequenciamento das operações de lavra da mina.

Isso significa, por exemplo, que quanto mais furos de sondagem tivermos, mais próximos dos reais serão os teores obtidos em regiões em que não temos este tipo de informação, devido à melhor interpolação de teores. Ou então que, se conhecendo o teor real de determinado bloco, podemos prever melhor o teor dos blocos adjacentes, quando se faz uma nova interpolação de teores, agora considerando o do bloco conhecido. Ou ainda, que quanto melhor o modelo virtual reproduzir o ambiente real, melhor será a seqüência de extração do minério obtida, devido à redução de erros ou incertezas trazidas deste modelo virtual.

Esse processo é iterativo e melhorado ao longo do tempo, produzindo modelos virtuais mais próximos dos reais e sequenciamentos mais próximos do ideal, uma vez que cresce a quantidade e qualidade das informações sobre a mina, ao longo da sua vida.

Assim, podemos dizer que a qualidade e, portanto, a confiabilidade da seqüência de extração do minério é totalmente dependente da qualidade do modelo de blocos obtido, o que se reflete nos produtos virtuais oriundos deste processo (Azevedo, 2002).

Neste trabalho, os objetos de nosso interesse são os blocos a serem lavrados a curto-prazo, que serão visualizados pelo operador de máquina.

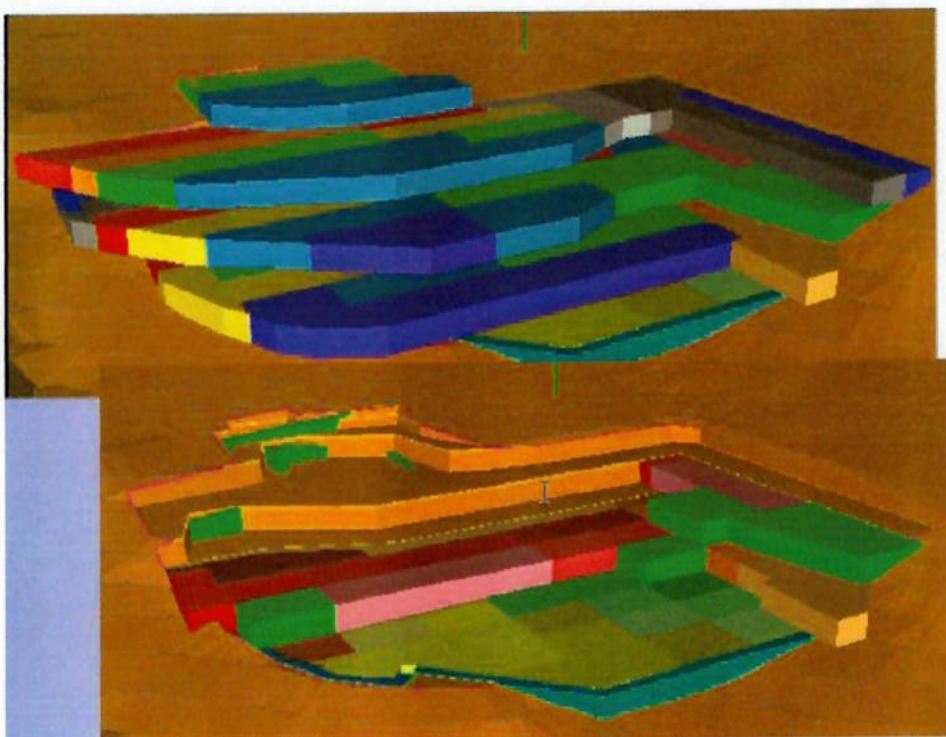


Figura 16 – Blocos tridimensionais virtuais para lavra de curto-prazo.

Cores iguais representam mesmo período de extração.

([http://www.datamine.co.uk/Products/PDF\\_Flyers/  
Datamine\\_OperationScheduler\\_Flyer\\_Sept06\\_LoRes.pdf](http://www.datamine.co.uk/Products/PDF_Flyers/Datamine_OperationScheduler_Flyer_Sept06_LoRes.pdf))

## 2.2.1 Características não visuais dos objetos tridimensionais virtuais: os Atributos

Objetos tridimensionais virtuais nada mais são do que representações gráficas de tabelas, que podem incluir outras informações além das necessárias para sua construção no mundo virtual, os aqui chamados atributos. Estes podem ser: área da mina, nível de lavra, nome do bloco a ser extraído, litologia, teor, nome do operador da máquina de lavra, tipo de máquina de lavra, ou qualquer outra informação pertinente ao usuário.

Uma importante função destes atributos é possibilitar a criação de anotações no espaço virtual, geralmente dentro do objeto que os contém, possibilitando ao usuário identificar o mesmo através destas anotações, sem ter de acessar o banco de dados para tal.

Isso significa que é possível visualizar um bloco a ser lavrado e, ao mesmo tempo, verificar informações intrínsecas a este, como teor médio, data prevista para sua extração, custo e tempo planejado para lavra. Essas anotações permitirão ao operador identificar os blocos a serem minerados no dia, bem como as metas de produção ou outras informações listadas acima.

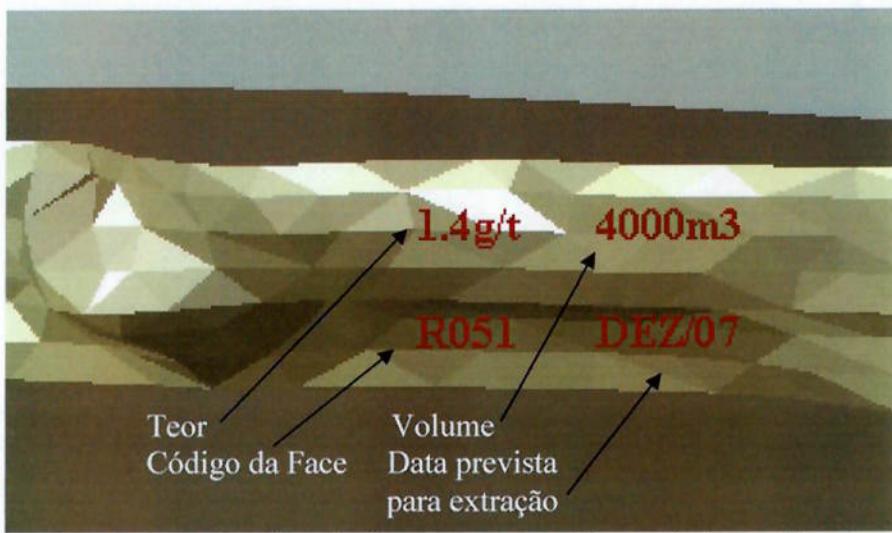


Figura 17 - Visualização de anotações em frente de lavra virtual.

### 2.3 Requisitos do sistema

Para o funcionamento do sistema descrito neste trabalho, é preciso ter os requisitos mínimos apresentados a seguir:

- Um sistema de GPS de alta-precisão instalado, descrito na seção 2.1.1 ;
- Um software de mineração, para ser possível gerar objetos 3D com anotações, representando blocos de lavra de curto-prazo, para posterior visualização;
- Os dispositivos para visualização e rastreamento descritos na seção 2.1.3, necessários para a imersão virtual;
- Um computador de bordo, para gerenciar e processar as informações a serem enviadas para o dispositivo de visualização.

### 2.4 O Sistema Proposto

São muitos os benefícios de um sistema de controle de lavra por GPS de alta precisão, como descrito anteriormente, na seção 2.1.1. Mas uma desvantagem que um sistema como este tem, é a necessidade da utilização de monitores para passar ao operador todas as informações necessárias para o bom andamento do trabalho.

Imagens da posição do equipamento no espaço (em visão plana e seção vertical) sobrepostas com o modelo de blocos a ser lavrado, informações como situação operacional (carregando material, esperando por caminhão, esperando alocação para frente de lavra, máquina parada, defeitos, etc) ou vindas de sensores nos motores (rpm, temperatura do motor, nível e pressão do óleo, etc) ou de sensores externos (como alerta de aproximação de outros equipamentos ou de pessoal, etc), são alguns exemplos destas informações, que podem estar concentradas em um ou alguns monitores. Isto sem contar aquelas mostradas no próprio painel da máquina.

O resultado direto de tantas informações apresentadas ao mesmo tempo, em diversos dispositivos, ao operador é a não observação de algumas delas, uma vez que este deve se concentrar principalmente na ação de operar o equipamento. E, tendo que gerenciar todos esses dados, a eficiência do operador é reduzida no ato de escavação, o que reduz o tempo útil do equipamento.

Este projeto visa eliminar a utilização destes monitores, diminuindo o tempo que o operador leva para ler estas fontes de dados, aumentando sua eficiência operacional, e consequentemente o tempo útil do equipamento. E com a vantagem de não distrair o operador da tarefa que executa.

O sistema é composto de três módulos, descritos a seguir. O objetivo deste trabalho não é entrar em detalhes técnicos sobre o funcionamento de cada um dos módulos que compõem o sistema proposto, mas sim propor as principais funções de cada um. Esses detalhes podem ser aprofundados posteriormente em um curso de pós-graduação universitária.

#### 2.4.1 Módulo de Orientação

Os objetos, nos ambientes virtuais, podem se mover com seis graus de liberdade, sendo eles três de rotação e três de translação (Machado & Cardoso, 2006), nos eixos X, Y e Z, conforme a figura a seguir.

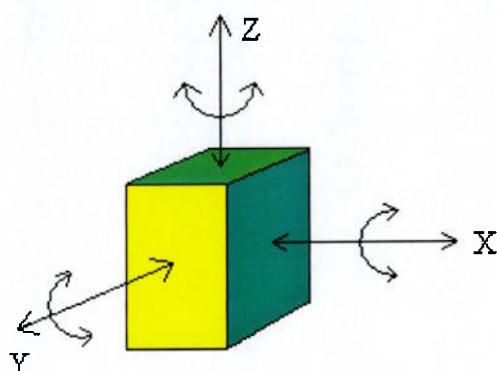


Figura 18 – Os seis graus de liberdade dos objetos virtuais.

Os movimentos de translação são fornecidos pelo GPS de alta precisão, vide seção 2.1.1, que informa as coordenadas exatas da máquina de lavra. Os movimentos de rotação (exceto no eixo Z) são identificados pelo dispositivo rastreador de posição de cabeça, descrito na seção 2.1.3.2. A rotação no eixo Z, é fornecida pela combinação da direção (azimute) da máquina, vindas do GPS, e da direção para onde o observador olha, captada pelo rastreador.

A combinação dos dados vindos de ambos os aparelhos fornecem a posição da imagem do objeto virtual, fixada no ambiente real. É importante ressaltar que a posição absoluta do objeto tridimensional virtual no espaço real não é alterada, uma vez que este tem posição pré-definida, determinada pelo software de modelagem. O que muda, são as dimensões e a orientação do mesmo em relação ao observador, à medida que este navega no espaço virtual.

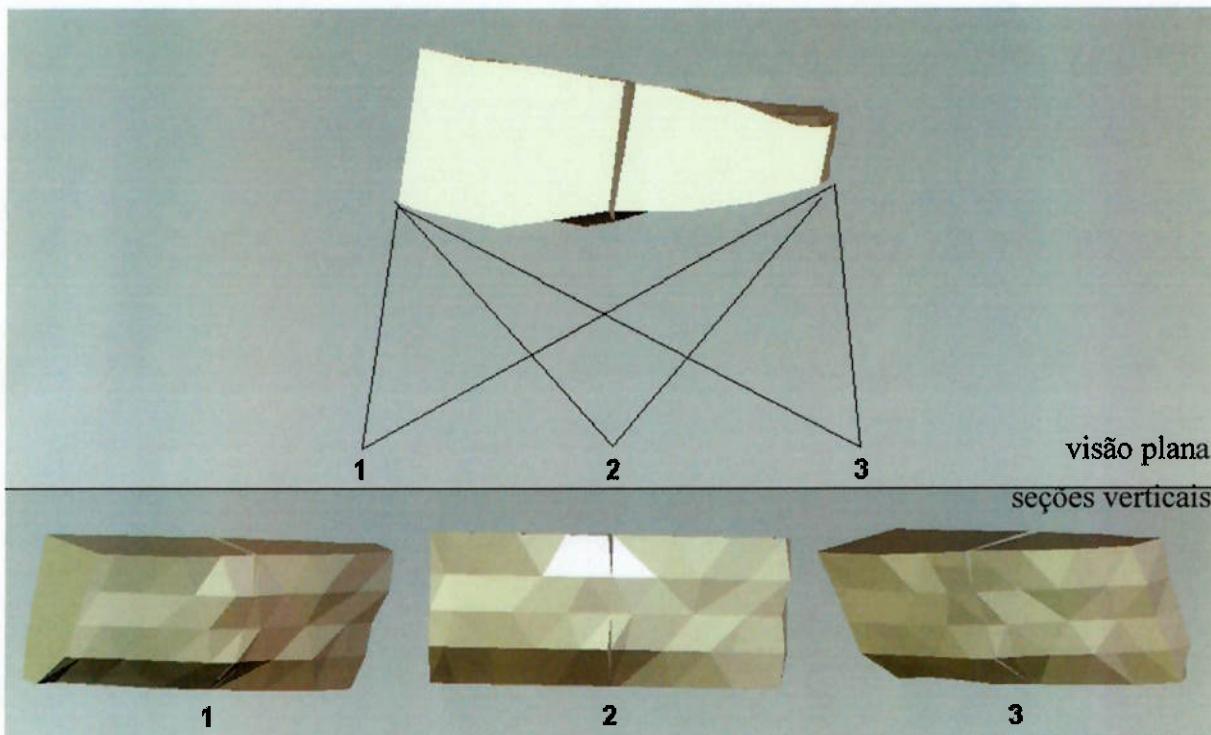


Figura 19 - Objeto fixo num local, independente da posição (1, 2, ou 3) do observador.

#### 2.4.2 Módulo Gerenciador do Ambiente Virtual

É um programa de computador que contém todos os objetos tridimensionais virtuais, formando o “espaço virtual” e recebe as informações do módulo de orientação, modificando o ambiente virtual, de acordo com as novas posições do observador. Ele é o responsável pela “navegação” no ambiente virtual e também promove a correção das coordenadas do GPS de precisão para as coordenadas reais de visualização, devido à diferença de posição entre os receptores GPS e a cabeça do operador.



Figura 20 - Diferença de posição entre os receptores GPS e a cabeça do operador.  
[\(http://www.topconeurope.com/\)](http://www.topconeurope.com/)

### 2.4.3 Módulo de Visualização

É composto pelo vídeo-capacete de visão direta, que promove a imersão virtual, ao qual se conecta o rastreador de posição de cabeça. A imagem gerada vem do computador que mostra a janela do aplicativo do módulo gerenciador do ambiente virtual, e pode mostrar também outras janelas produzidas por outros programas.

Esse sistema de visualização tridimensional funciona concomitantemente com a aparelhagem do sistema de GPS e com os sensores e demais aplicações, sendo possível visualizar no vídeo-capacete, os demais aplicativos que provêm as informações necessárias para o andamento do trabalho, como citadas na seção 2.4. Deste modo, é possível navegar no espaço virtual, observando ao mesmo tempo as janelas com informações vindas de outros componentes, como rpm, temperatura do motor, alarmes etc.



Figura 21 - Visão do operador de trator de esteiras com monitores.  
([www.3dx.co.au](http://www.3dx.co.au))



Figura 22 - Visão do operador de retroescavadora com monitores.  
Sistema atualmente no mercado ([www.3dx.co.au](http://www.3dx.co.au)).



Figura 23 – Montagem da visão do vídeo-capacete de visão direta utilizado pelo operador da escavadora, proposta neste trabalho. Nos detalhes, as informações vindas de fontes externas, como sensores de posição do braço da escavadora e painel virtual do motor. Em amarelo e laranja, os blocos de curto-prazo a serem lavrados, com anotações pertinentes ao operador.

(Cortesia de imagem original: [www.5DT.com](http://www.5DT.com))

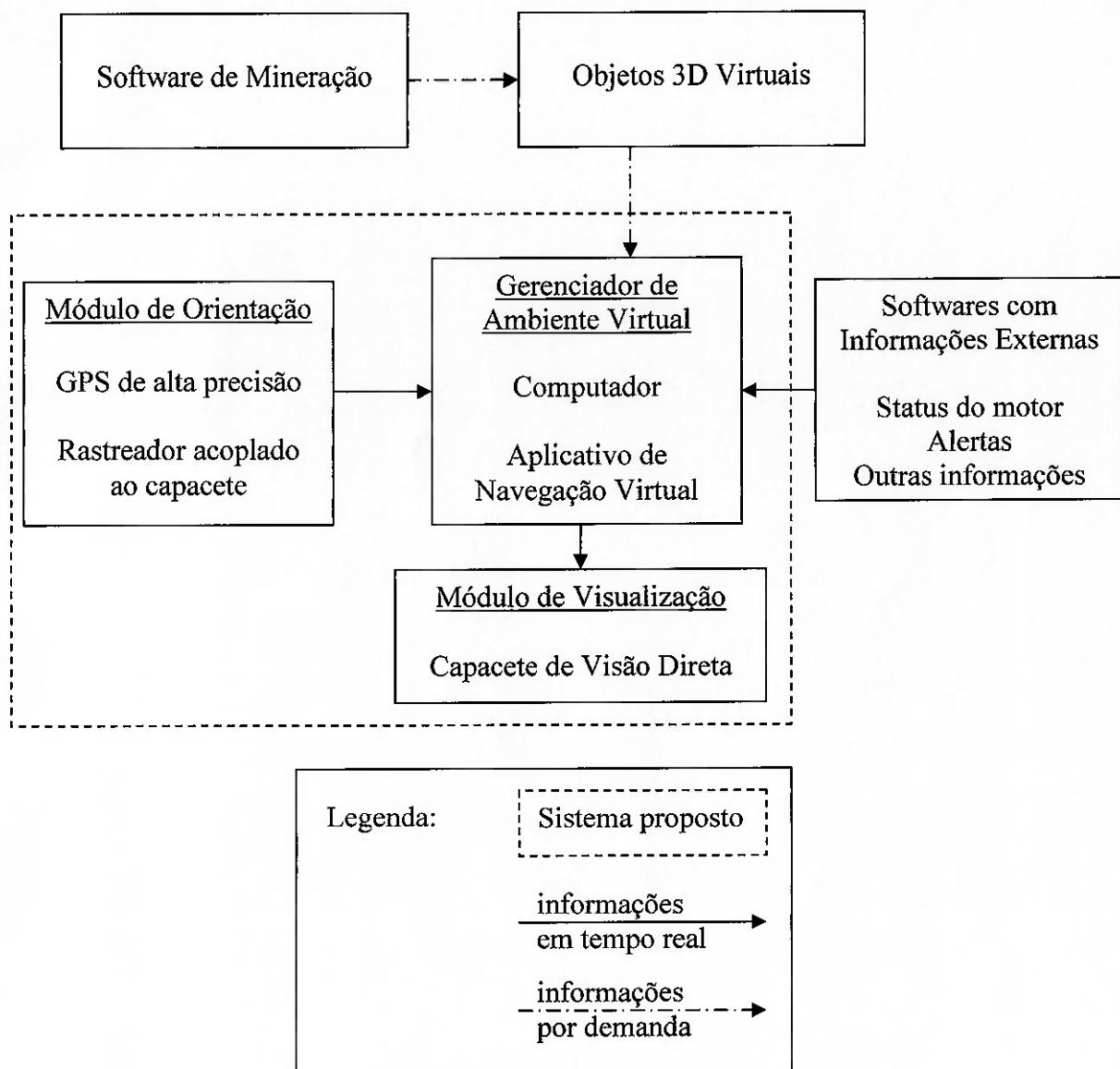
## 2.5 Funcionamento do Sistema

O funcionamento do sistema pode ser resumido nos passos a seguir:

1. Produção dos blocos virtuais de curto-prazo a serem lavrados no dia ou na semana (item 5 da Tabela 1, seção 2.2);
2. Entrada do arquivo de blocos 3D no software gerenciador de ambiente virtual;
3. Conexão com GPS de alta precisão e com aplicações externas;
4. Visualização pelo operador dos objetos virtuais a serem escavados através do vídeo-capacete de imersão virtual;
5. Escavação da frente de lavra real, sobreposta ao bloco virtual.

O estado do equipamento, alertas e outras informações listadas na seção 2.4 são exibidas no próprio capacete.

O fluxograma do funcionamento sistema é apresentado abaixo, mostrando o fluxo de informações entre os módulos e os componentes que os compõem, além das informações vindas de fontes externas.



Fluxograma 1 – Fluxograma de funcionamento do sistema proposto.

Os objetos tridimensionais virtuais podem ser atualizados antes de cada turno ou a cada semana, por exemplo, sem a necessidade de serem atualizados em tempo real. Já as imagens geradas pelo Gerenciador de Ambiente Virtual devem ser atualizados em intervalos de, no máximo 100ms, para proporcionar o efeito de imersão virtual, como descrito na seção 2.1.3.2.

### 3 Conclusões

O sistema apresentado é totalmente teórico e nenhum resultado prático foi alcançado com este trabalho. Embora utilize tecnologias existentes, a aplicação sugerida é nova, portanto passível de uma investigação mais profunda. Talvez se devesse pesquisar alternativas tecnológicas para o desenvolvimento dos módulos apresentados nas seções 2.4.1, 2.4.2 e 2.4.3.

Sua grande vantagem é a dispensa do uso de monitores, concentrando o operador na função para o qual está alocado: escavar e produzir para atingir as metas estipuladas pelo pessoal do planejamento. Com a capacidade de mostrar outros aplicativos, torna eficaz a visualização de todas as informações de que necessita o operador, independentemente da posição para a qual olha, estando ele sempre a par do funcionamento da máquina que controla, não deixando de assimilar nenhuma informação importante.

Outra vantagem é a possibilidade de produzir alertas (por exemplo, de aproximação de veículos ou de falhas no motor) mais eficientes, uma vez que não importa para onde esteja olhando, o operador será notificado sem demora.

Baseado nas anotações provenientes dos atributos (vide seção 2.2.1), não seria difícil escolher os blocos mais adequados para minerar, uma vez que estes podem ser coloridos por faixas de teores, assim sendo possível dar respostas rápidas para mudanças na estratégia de lavra, para alcançar metas de teores requeridos pela planta.

Outro aspecto deste sistema que pode ser discutido e testado, se for o caso, é a ergonomia dos dispositivos utilizados pelo operador. Por serem acessórios ao corpo humano, pode haver problemas relacionados à postura ou mesmo desconforto, quando usados por longos períodos de tempo.

Como o vídeo-capacete sugerido não foi testado em nenhum momento, também é preciso verificar sua adaptação ao olho humano, exposto às imagens geradas no período de uma jornada de trabalho. Também é necessário indicar se as imagens, dos blocos a serem minerados ou dos outros aplicativos virtuais, não se sobreponem a elementos importantes do mundo real, atrapalhando a ótima operação da máquina.

As aplicações que podem ser sugeridas com a integração do GPS de alta precisão com um sistema de Realidade Aumentada em mineração, não estão limitadas àquelas apresentadas neste trabalho. Poderíamos imaginar muitas outras, com notáveis benefícios para a indústria mineral, como por exemplo:

- ✓ Verificação da disposição espacial, da localização e do tamanho em escala real de elementos que constituem um empreendimento de mineração, antes mesmo do início de qualquer obra, como a cava, a usina de tratamento de minérios, construções civis, ruas, estradas, rampas, bacias de rejeitos ou de reaproveitamento de água, tubulações, almoxarifado, paióis de explosivos, oficinas, garagens, viveiros de plantas e até mesmo a área da mina, como ficaria após sua recuperação ambiental;
- ✓ Para o geólogo, seria possível conferir se cada frente de lavra representada no ambiente virtual representa verdadeiramente o mundo real, isto é, se os teores, tipos litológicos, famílias de fraturas, índices de quebrabilidade, parâmetros geotécnicos e

hidrogeológicos, contatos geológicos, etc, modelados virtualmente realmente são verdadeiros. Nesse caso, seria possível utilizar ainda equipamentos portáteis para medição de teores do pó dos furos de detonação (antes da quebra do material), como o difratômetro de Raios-X portátil (tipo pistola). Essa medida teria um alto impacto no controle de teores enviados à usina, com sua validação antes mesmo da detonação da face para produção;

- ✓ Para o topógrafo, esse sistema permitiria validar o modelo virtual (muitas vezes utilizado para calcular volumes de materiais a serem produzidos), simplesmente olhando para a sobreposição dos mundos real com o virtual. Além disso, poderia conferir o grau de inclinação e largura de rampas, entre outras coisas;
- ✓ No âmbito da segurança operacional, seria possível treinar rotas de fuga, fixando visualmente caminhos a seguir; em treinamentos de segurança no trabalho, seria possível simular e visualizar todos os perigos inerentes a cada parte da mina, para que se não cometesse erros aprendidos na simulação (imagine um caminhão fora-de-estrada “virtual” passando por cima de seu veículo de passeio).

Essa tecnologia ainda não pode ser considerada portátil, devido à robustez dos receptores GPS de alta precisão, aliada aos tamanhos ainda grandes do vídeo-capacete e do rastreador (vide seções 2.1.3.1 e 2.1.3.2). Futuramente, se estes aparelhos se tornarem menores, outras aplicações poderão ser indicadas.

Deste modo, podemos concluir que as aplicações possíveis para um sistema como este justificam possíveis pesquisas sobre o tema, o que certamente trará muitos benefícios para o dia-a-dia da mineração no mundo.

#### 4 Referências Bibliográficas

- 1) Tori, R.; Kirner, C.; Siscoutto, R. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada.** Porto Alegre: Editora SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2006. 412p.
- 2) Azevedo, R. C. **Aplicação de Realidade Virtual no Planejamento de Lavra.** Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia. São Paulo, 2002. 65p.
- 3) Mining Magazine. **Pole Precision.** London: Mining Communications Ltd, Volume 196, No. 3, Março 2007. 60p.
- 4) Sites na internet (diversos acessos de agosto a novembro/2007):
  - a. [www.smartmine.com.br](http://www.smartmine.com.br)
  - b. [www.vrealities.com](http://www.vrealities.com)
  - c. [www.datamine.co.uk](http://www.datamine.co.uk)
  - d. [www.mine24d.com](http://www.mine24d.com)
  - e. [www.gemcomsoftware.com](http://www.gemcomsoftware.com)
  - f. [www.mintec.com](http://www.mintec.com)
  - g. [www.vulcan3d.com](http://www.vulcan3d.com)
  - h. [www.wencomine.com](http://www.wencomine.com)
  - i. [www.mmsi.com](http://www.mmsi.com)
  - j. [www.mining.5dt.net](http://www.mining.5dt.net)
  - k. [www.3dx.com.au](http://www.3dx.com.au)
  - l. [www.cat.com/cda/](http://www.cat.com/cda/)
  - m. [www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com)
  - n. [www.maptek.com](http://www.maptek.com)
  - o. [www.micromine.com](http://www.micromine.com)
  - p. [www.topconeurope.com](http://www.topconeurope.com)