

# MAPAS AUMENTADOS COMO FERRAMENTA DE VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL

Jorge Antonio Silva Centeno(1)

Thiago Fonseca (2)

Regina Tiemy Kishi (3)

1Departamento de Geomática - UFPR - centeno@ ufpr.br

2Engenharia Cartográfica - UFPR - carioca@ ufpr.br

3Departamento de Hidráulica e Saneamento - UFPR - rtkishi.dhs@ ufpr.br

**RESUMO** - Neste artigo são apresentados os resultados da aplicação de Realidade Aumentada na visualização de dados tridimensionais em um estudo de monitoramento de alterações no ambiente urbano. A Realidade Aumentada é um ramo que explora várias aproximações para incrementar a visão do mundo real mediante a visualização de informação adicional junto com a cena real. Neste projeto, a fusão é feita em um dispositivo de visualização opaco, um conjunto de óculos similar àquele usado nos jogos de computador. A construção de uma cena "aumentada", utilizando técnicas de reconhecimento de marcas para a orientação do observador, é apresentada. O funcionamento do sistema consiste em identificar este padrão nas imagens e a partir de sua geometria estimar a posição da câmara em relação ao padrão. Após a orientação exterior do observador, modelos virtuais tridimensionais são superpostos a uma imagem de um mapa, enriquecendo com isso a informação disponível para visualização.

**ABSTRACT** -- In this paper we show the results of an experiment dealing with the application of Augmented Reality to the visualization of 3-dimensional data. Augmented Reality - AR is a branch of computer visualization that studies approaches to increase the visual perception of the real world merging additional information with the natural scene. In the described experiments, the fusion is performed in opaque visualization devices, glasses, like those used in computer games. Techniques of pattern recognition are used for the orientation of the observer. The system identifies this pattern in the images and from its geometry it estimates the relative position of the observer (camera). So, a new virtual coordinates system is defined and this system is used for the inclusion of the virtual three-dimensional virtual elements.

palavras chave: cadastro urbano, realidade aumentada, representação 3D

## 1 INTRODUÇÃO

A visualização de informações tridimensionais foi e ainda é uma necessidade básica para atividades de planejamento do espaço. O mundo real é tridimensional, mas tradicionalmente é representado em uma superfície bidimensional, a folha da carta. A produção de documentos cartográficos é executada por profissionais capacitados, atendendo especificações nacionais e internacionais que levam em conta princípios de comunicação e exigências de acurácia e precisão, para representar a variação do terreno e os objetos presentes na superfície. A leitura do mapa, o sucesso da comunicação, não depende exclusivamente da elaboração do mapa, ela também depende da habilidade e experiência do leitor. O usuário de uma carta topográfica deveria estar familiarizado as normas de representação e ser capaz de extrair a informação tridimensional da carta. Porém, isto nem sempre acontece. Muitas vezes o usuário menos treinado encontra dificuldades em imaginar a superfície do terreno a partir das curvas de nível, por exemplo. O problema é maior quando o usuário deve analisar variações temporais representadas em mapas.

Com o surgimento dos computadores, a visualização tridimensional passou a ser realizada com a ajuda de computação gráfica. A disponibilidade de ferramentas para a visualização de dados tridimensionais é, na atualidade, grande e inclui diferentes programas comerciais e até ferramentas de Realidade Virtual. Recentemente, um novo conceito foi introduzido na percepção do espaço, o conceito de Realidade Aumentada. Por trás do conceito de Realidade Aumentada (Augmented Reality) se encontra a idéia de que a percepção de um observador pode ser enriquecida utilizando recursos de computador. O conceito de Realidade Aumentada

pode ser estendido a diferentes áreas, enriquecendo a percepção dos sentidos do ser humano como, por exemplo, causando a sensação de movimento quando o usuário visualiza uma cena em movimento. Considerando a sensação percebida pela visão, o conceito de Realidade Aumentada pode ser concretizado incrementando a cena percebida pelos olhos com objetos tridimensionais produzidos artificialmente por computador. Na prática, isto pode ser obtido utilizando um sistema no qual figuras tridimensionais geradas por computação gráfica são superpostas a uma cena real.

Neste artigo são apresentados resultados de um projeto que tem por objetivo aplicar a Realidade Aumentada na visualização de dados tridimensionais no monitoramento de alterações no ambiente urbano. Na primeira parte do texto são apresentados os conceitos básicos desta nova ferramenta e na segunda resultados práticos de experimentos são mostrados.

## 2 REALIDADE AUMENTADA

O surgimento de novas opções para a visualização de dados espaciais tem revolucionado o conceito de mapa, deixando de associar o mapa exclusivamente a um documento gráfico impresso em papel. Para Gao (2001), dois conceitos ganham destaque neste contexto: o mapa visível e o mapa invisível. O mapa visível é aquele resultado do desenho das feições em papel ou na tela do computador. O mapa invisível, que pode ser um mapa mental (na mente do homem) ou digital (armazenado em um computador), é aquele que pode ser produzido, por exemplo, com ajuda da Realidade Virtual.

Segundo Milgram e Kishino (1998), entre os dois extremos representados pela percepção do mundo real (um mapa impresso) e a percepção de um ambiente totalmente virtual (Realidade Virtual), existe um espaço contínuo, que corresponde a situações intermediárias, onde o usuário combina ambos os espaços no processo de percepção. Dependendo da posição da solução neste espaço contínuo, Milgram e Kishino (1998) reconhecem duas grandes situações: a Realidade Aumentada e a Virtualidade Aumentada. A figura 1 mostra o esquema da relação entre o Ambiente Real, a Realidade Virtual e a Realidade Aumentada, segundo Milgram e Kishino (1998).



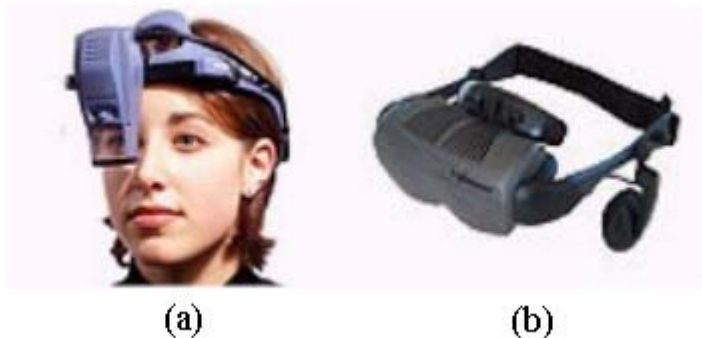
Figura 1 -Virtual continuum, segundo Milgram e Kishino, 1998.

O termo Realidade Aumentada designa um ramo da visualização computacional que tem por objetivo incrementar a percepção visual de uma cena real utilizando a superposição de imagens virtuais a uma cena real. A fusão requer a utilização de dispositivos auxiliares para gerar uma imagem híbrida, contendo a cena real e os dados virtuais. Existem diferentes maneiras de programar esta fusão, dependendo do equipamento que é utilizado. A fusão de novos dados à cena percebida pelo olho requer a utilização de dispositivos auxiliares capazes de gerar uma nova imagem, híbrida, contendo a cena real e os dados virtuais. A Realidade Aumentada pode ser classificada em 4 grupos principais segundo o tipo de unidade de visualização utilizada (GRVa, 2004).

- \* Baseados em sistemas ópticos transparentes (Optical See-Through): A unidade de visualização é composta por óculos transparentes, sobre os quais as imagens são projetadas (Figura 2.a). A vantagem de seu uso reside na viabilidade de projetar o

ambiente virtual diretamente sobre a cena do mundo real percebida pelo olho. O sistema descrito em Leebmann et al. (2005) é um bom exemplo;

- \* Baseados em sistemas ópticos opacos (Video See-Trough): Neste caso, uma imagem do mundo real é obtida com ajuda de uma câmara de vídeo. Esta imagem é projetada na tela de um dispositivo que tem forma de óculos, mas não é transparente, é fechado, junto com as imagens virtuais (Figura 2.b). Um exemplo é descrito em Bobrich e Otto (2002),
- \* Baseados em monitores convencionais (Monitor Based): Estes sistemas se caracterizam por utilizar monitores convencionais de computador, geralmente computadores portáteis. São mais baratos e fáceis de montar, mas pouco portáteis e oferecem menor grau de interatividade com os movimentos do observador, como o sistema proposto por Coelho (2004).
- \* Baseados em projetores (Projector Based): Neste tipo de sistemas, imagens ou texturas virtuais são projetadas na superfície de objetos reais. Reitmayr et al. (2005) descrevem um exemplo desta opção.



a) ópticos transparente (<http://www.mvis.com/>) b) óptico opaco ([www.i-glasses.com/](http://www.i-glasses.com/))  
Figura 2 - Exemplos de dispositivos de visualização

Dois exemplos típicos da aplicação de Realidade Aumentada para a visualização de informações contidas em mapas são os trabalhos de Bobrich e Otto (2002) e Reitmayr et al (2005). Por ser novo, este campo ainda tem poucas aplicações no Brasil. Um exemplo de aplicação foi recentemente descrito em Kishi e Centeno (2005). Neste caso, o objetivo é utilizar ferramentas de Realidade Aumentada para a representação de informações em visitas de campo, superpondo objetos virtuais simples a imagens reais.

A visualização de maquetes virtuais, ainda é pouco explorada. A vantagem de sistemas de Realidade Aumentada para a visualização de maquetes, ou modelos reduzidos, é a independência de sistemas de apoio para a determinação precisa da posição e atitude do observador. Este tipo de sistemas pode ser viabilizado utilizando métodos de reconhecimento de padrões para reconhecer marcas (alvos) na imagem real, que permitem estimar a posição e atitude do observador pelo reconhecimento de pontos com coordenadas conhecidas no alvo padrão enquadrado na imagem.

### 3 METODOLOGIA

Para a representação tridimensional de um objeto dentro de um ambiente de Realidade Aumentada é necessário determinar (ou pelo menos estimar) a posição e atitude do observador e depois modelar e representar a superfície de forma eficiente junto com a cena real. A seguir são descritas as soluções utilizadas para cada uma destas etapas.

#### 3.1 Determinação da posição e atitude do observador

A estimativa da atitude do observador foi baseada no princípio da identificação de marcas, utilizando a biblioteca do ARToolkit (Kato et al. 2002), com grande número de aplicações na literatura. Seu funcionamento é baseado no uso de uma câmara digital para a obtenção da imagem e a identificação de padrões previamente definidos. Uma vez detectado o padrão, a

biblioteca ARToolKit calcula a posição e orientação da câmara em relação a este padrão, dispensando o uso de equipamentos auxiliares para determinar a posição tridimensional do observador e os ângulos de inclinação de sua cabeça nas três direções.

O cálculo da posição e atitude da câmara é feito usando as equações de colinearidade, que projetam o espaço tridimensional (objeto) no plano bidimensional da imagem (linhas, colunas). A orientação exterior deve ser calculada toda vez que a posição do observador muda. Para a orientação exterior da imagem é suposto que o feixe de luz que parte da superfície do objeto percorre uma trajetória retilínea até atingir o sensor fotossensível, passando pelo sistema óptico de lentes. Desta forma, o ponto na superfície, o ponto principal do sistema de lentes e o ponto no plano da imagem se encontram numa mesma reta, ou seja, são colineares. Esta afirmação é uma simplificação, pois na realidade a trajetória do feixe pode sofrer a influência da atmosfera e do sistema de lentes. As equações de colinearidade são (Krauss, 1997):

$$e = e_0 - c \cdot \{ r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0) \} / A \quad (1)$$

$$n = n_0 - c \cdot \{ r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0) \} / A$$

$$A = r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)$$

Onde: As coordenadas (e, n) representam as coordenadas de imagem; (X,Y,Z) correspondem às coordenadas do ponto no sistema do espaço objeto; (X<sub>0</sub>,Y<sub>0</sub>,Z<sub>0</sub>) representam as coordenadas da origem no espaço objeto; r<sub>11</sub>, r<sub>12</sub>, ... r<sub>33</sub> representam os elementos da matriz de rotação e c é a distância focal da câmara.

Após a identificação das marcas e a orientação da câmara, um sistema de eixos relativo é criado no centro do padrão, como ilustra a figura 3.

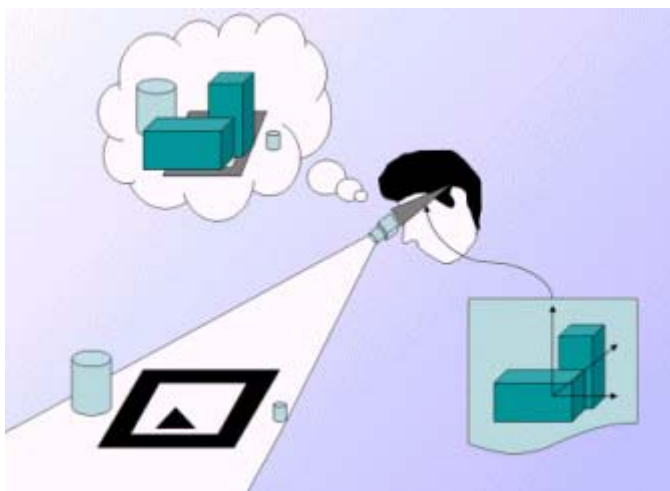


Figura 3- Fusão de objetos virtuais e a cena real.

### 3.2 Modelação e representação 3D

O seguinte passo é a criação do objeto virtual e sua inserção na imagem. Os objetos virtuais são modelados em um sistema de referência análogo ao sistema do espaço objeto e projetados para visualização. Na figura 2, uma imagem real, que inclui os cilindros e o padrão quadrado, é registrada pela câmara digital localizada na frente dos olhos do usuário. Esta imagem é projetada no display (óculos) junto com outros objetos virtuais, representados pelos paralelepípedos. Para garantir a correspondência espacial, o sistema de coordenadas virtual deve ser compatível com o sistema do espaço objeto, por isso, a aplicação de transformações entre sistemas é necessária. Para isto, transformações como translação, mudança de escala e rotação são aplicadas.

A variação do relevo do local, quando ela é representada por uma grade regular, pode ser modelada utilizando primitivas gráficas como o retângulo e o triângulo. Objetos presentes na sua superfície, como prédios ou árvores podem ser modelados formando elementos tridimensionais combinando primitivas gráficas ou malhas triangulares. A maneira mais detalhada de representar um objeto é reproduzir, na medida do possível, fielmente a geometria do objeto e incrementando informação mediante a adição de texturas extraídas de fotografias reais. A quantidade de informação é aumentada significativamente pela inclusão de texturas. Porém, o uso de texturas aumenta significativamente a quantidade de dados a serem manipulados. Segundo Landes (1999), como mostra a tabela 1, o aumento de realismo é inversamente proporcional ao desempenho da visualização.

Tabela 1 - Propriedades dos tipos de representação, segundo Landes, 1999.

Representação	Grau de realismo	Desempenho da visualização
Bidimensional	--	++
Blocos tridimensionais	-	+
Blocos tridimensionais com textura	++	--

#### 4 EXPERIMENTO

Neste projeto, um sistema baseado em sistemas ópticos opacos foi implementado, devido, principalmente, ao baixo custo. A desvantagem desta opção é a necessidade de superposição exata do mundo virtual com o mundo real e a dependência da resolução espacial e temporal do dispositivo de captura de imagens.

Como experimento foi construído um modelo digital utilizando uma base cartográfica digital. A base cartográfica usada inclui quadras, lotes e construções. Algumas quadras desta cidade foram extraídas para o experimento. Dentro das informações contidas na base, apenas as construções e as árvores foram selecionadas para a visualização tridimensional. Para a manipulação dos mapas digitais e a exportação dos resultados, o programa Geomedia foi empregado. O objetivo do estudo é analisar as alterações ocorridas no local e a necessidade de atualizar a base cadastral. Para identificar os objetos que deveriam ser atualizados, foi utilizada uma série de fotografias aéreas que compõem uma faixa, obtida em 2005. A comparação foi visual, por não ser o objetivo deste trabalho a detecção automática, se não a visualização.

A posição e a orientação de cada objeto (construção /árvore) foram obtidas da base cadastral e foram armazenadas sob forma de uma lista. Um identificador foi adicionado a esta descrição. O indicador caracteriza o tipo de objeto, "construção existente", "construção nova", "árvore existente", "árvore nova" na base.

Um modelo tridimensional para cada tipo de objeto foi construído usando primitivas gráficas em OpenGL. A aparência das superfícies foi representada apenas por cores, sem o uso de texturas realistas. Os modelos foram armazenados em listas pré-compiladas dentro do OpenGL, de maneira a tornar sua visualização mais eficiente. Para garantir realismo no modelo tridimensional virtual, especial cuidado foi dedicado à iluminação. A aparência de cada superfície é afetada pelas condições de reflexão ambiente, reflexão difusa e reflexão especular às que o mesmo está exposto (Azevedo e Conci, 2003). A reflexão ambiente atinge a superfície com mesma intensidade, independentemente de sua orientação, evitando a ocorrência de superfícies completamente escuras. Na reflexão difusa, a superfície reflete por igual em todas as direções. Já na especular é considerado que uma grande parte da luz incidente será refletida numa direção predominante, como ocorre num espelho. A combinação

destas três reflexões possibilita dar maior realismo ao objeto representado, evidenciando também seu volume.

## 5 RESULTADOS

A figura 4 mostra um exemplo de representação de um modelo tridimensional de uma cena. O mapa em papel (real) pode ser visualizado ao fundo, junto com outros elementos localizados sobre uma mesa. As construções e árvores foram adicionadas com elementos virtuais. O modelo foi representado superposto à imagem real captada por uma câmara digital. Para isto, o modelo deve ser escalado para ocupar um espaço compatível com o campo de visão do observador. A localização do modelo no espaço real depende da posição da posição do padrão utilizado para o cálculo da orientação do observador, visto que o sistema virtual foi atrelado à geometria do padrão.

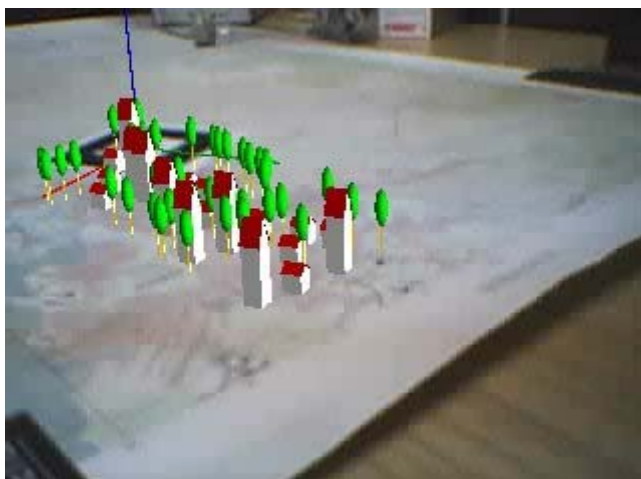


Figura 4- Superposição de objetos virtuais sobre uma imagem real

A interação, neste caso, dispensa o uso de teclas ou comando especiais para movimentar a posição do observador ou mudar o ângulo com o qual o modelo é observado. Na realidade, o usuário pode examinar o modelo desde diferentes ângulos, dispensando o uso de teclas ou controles manuais, pois a posição e atitude do usuário são estimadas através da orientação exterior da câmara em tempo real. Para isto, é requisito fundamental que o padrão seja completamente visível. Quando o observador se encontra muito longe do padrão, ou quando o ângulo de observação é muito baixo, o padrão, mesmo que completamente contido na imagem, não pode ser positivamente reconhecido, logo a orientação é impossível. Algo similar ocorre quando o observador se encontra muito perto do padrão, pois neste caso o padrão pode não estar completo na imagem. Na figura 4, a vista de um modelo virtual, observado desde um ponto de vista próximo, permite apreciar a variação da cor dos elementos virtuais em função de sua orientação em relação à fonte de iluminação. Para evidenciar as novas construções dentro do conjunto modelado, a variável visual "tamanho" foi utilizada. As construções novas são assim representadas como objetos de maior altura. Com isto, o observador pode localizar tais construções facilmente. Outras variáveis visuais, como "cor" ou "textura", podem também ser empregadas isoladamente ou combinadas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de realidade aumentada como ferramenta de visualização de dados tridimensionais é viável e com grande potencial na visualização de informações espaciais, facilitando a interação e a compreensão dos fenômenos representados em um mapa. O sucesso da metodologia empregada, baseada na identificação de padrões nas imagens, depende da correta identificação do padrão, o que requer que o mesmo seja totalmente enquadrado na imagem. Para cobrir áreas maiores, vários padrões devem ser empregados. Os testes da implementação de uma unidade de visualização para realidade aumentada apontaram a

necessidade de equipamentos de alta eficiência, principalmente no que tange ao processamento gráfico. A biblioteca OpenGL é uma grande contribuição, de fácil implementação. Um dos principais problemas deste tipo de sistemas é a ocorrência de demoras na representação dos dados em função do alto volume de dados. Nos experimentos realizados, a representação de alterações dentro de um ambiente urbano foi implementada e os resultados apontam que as ferramentas de Realidade Aumentada podem ajudar na melhor compreensão de dados contidos em uma base digital.

## 7 REFERÊNCIAS

- Azevedo, E. ; Conci, L. Computação Gráfica - Teoria e Prática. Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, 2003.
- Bobrich, J. ; Otto, S. Augmented Maps. In: Geospatial Theory, Processing and Applications, Vol. 34, Ottawa, Canada. IAPRS. 2002.
- Kishi R.T., Centeno J.A.S. Aplicação de Realidade Aumentada para a Visualização de Dados em Estudos de Qualidade de Água: Resultados Preliminares. Congresso da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.
- Gao, J.2001. Virtual Terrain Environment - a new Annotation for Maps and the Cartography. Anais do ICC 2001. Beijing.
- GRVa- Grupo de Realidade Virtual Aplicada - UFRJ. Augmented Reality: Realidade Aumentada e Visão Computacional. [http://www.lamce.ufrj.br/grva/realidade\\_aumentada/](http://www.lamce.ufrj.br/grva/realidade_aumentada/)
- Kato, H.; Billinghurst, M.; Poupyrev, I. ARToolKit: A software for Augmented Reality Applications. Copyright (c) 2002. Krauss, K. Photogrammetrie. Ed. Ferd. Dümmler Verlag. Bonn. 1997. 394 p.
- Landes, S. Funktionalität des internetbasierten 3D-Campus-Informationssystem der Universität Karlsruhe (CISKA). Dissertação de doutorado, Faculdade de Engenharia Civil e Geodésia, Universidade de Karlsruhe. 1999.
- Leebmann, J., Bähr, H.-P.; Coelho A. H.; Staub, G.; Wiesel, J. 2004. Augmented Reality in Katastrophenmanagement. In: 3D-Geoinformationssysteme, Grundlagen und Anwendungen, Coors, V. e Zipf, A. Ed. H. Wichmann, Heidelberg.
- Milgram, P. E Kishino, F. A Taxonomy of mixed reality visual displays IEICE Transactions on Information Systems, Vol E77-D, No.12 December 1994.

## 8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq que, através de seu edital Universal 2003 e bolsa de iniciação científica, financiou esta pesquisa.