

# Realidade Virtual: Estereoscopia na Educação

**Antonio Carlos O. Amorim**

**EPUSP, LSI/PSI, PAD: Grupo de Sistemas Pervasivos e de Alto Desempenho,**  
acoamorim@pad.lsi.usp.br

**Rodrigo Dias Arnaut**

**EPUSP, LTI/PCS,**  
rodrigo.arnaut@poli.usp.br

**Sérgio Takeo Kofuji**

**EPUSP, LSI/PSI, PAD: Grupo de Sistemas Pervasivos e de Alto Desempenho,**  
sergio.kofuji@poli.usp.br

**Anna Helena Reali Costa**

**EPUSP, LTI/PCS,**  
anna.reali@poli.usp.br  
Av. Prof. Luciano Gualberto, trav.3, n.158, CEP: 05508-900, São Paulo-SP-Brasil

**Resumo:** Realidade virtual (RV) na educação é um tema fortemente presente nas instituições de pesquisas de vários países. Este artigo discute a aplicação de técnicas de RV, incluindo o uso da computação gráfica e a produção de vídeos tridimensionais a partir de equipamentos específicos, porém de baixo custo para instituições de ensino. A estereoscopia atua como ponto chave para a visualização dessas aplicações. Para o desenvolvimento do projeto, são utilizados uma lente 3D, câmera doméstica, projetores de baixo custo, filtros de luz polarizados e óculos 3D passivo. O objetivo da produção do vídeo 3D foi o de avaliar desde os processos envolvidos na elaboração de roteiro, gravação e exibição, até os custos necessários para que uma instituição de ensino adote recursos de realidade virtual para o aprimoramento da aprendizagem.

**Palavras Chave:** Realidade virtual, educação, estereoscopia, vídeo 3D

## 1. Introdução

Os dois maiores empecilhos para adotar a Realidade Virtual (RV) em instituições de ensino, cujo objetivo é o de melhorar o processo de ensino e aprendizagem em salas de aula ou laboratórios, são os altos custos de equipamentos e as barreiras culturais, pois é fundamental ter conhecimentos específicos, tanto para instalar e operar os equipamentos, bem como produzir aplicações e conteúdos.

Algumas instituições de grande porte – públicas e privadas – possuem aparatos tecnológicos que possibilitam realizar experiências na área, porém a falta de aplicações disponíveis para o dia-a-dia acaba dificultando o emprego desses sistemas no ensino. Existem soluções comerciais, que oferecem um suporte e treinamento especializado para

a adoção de sistemas de RV, com custos não muito elevados, porém suficientemente alto para excluir a adoção pela grande maioria das instituições que possuem orçamentos limitados, tornando-se restritos a pequenos grupos de escolas privadas ou projetos isolados de instituições públicas.

A maior dificuldade para a popularização da RV na educação consiste em eliminar simultaneamente os altos custos e a barreira cultural.

Este artigo tem como objetivo explorar os conceitos da estereoscopia, bem como suas diferentes técnicas, pois é uma excelente ferramenta de RV a ser aplicada na educação, demonstrando, por meio de um estudo de caso, como é possível a sua adoção a baixos custos, além de ultrapassar as barreiras culturais. A estereoscopia permite que os alunos experimentem uma sensação de imersão em

ambientes reais, com a projeção de vídeos tridimensionais (3D) ou em ambientes totalmente virtuais, com o uso da computação gráfica (simulações e jogos).

## 2. Realidade Virtual: Ferramentas

O interesse pelo uso da RV na educação tem crescido nas últimas décadas, graças ao desenvolvimento e popularização das tecnologias que possibilitam a pesquisa e desenvolvimento de vários sistemas voltados ao ensino e aprendizagem [1, 3].

O termo RV pode ter muitos significados. Pode-se defini-lo como uma interface homem-máquina, que utiliza um ambiente tridimensional gerado por computador, em tempo real, dando ao usuário a sensação de imersão em um ambiente artificial, permitindo a navegação no mundo virtual e a manipulação de objeto virtual de maneira intuitiva. Pode-se também utilizar imagens de ambientes reais e, com técnicas de estereoscopia, melhorar a sensação espacial do usuário ao assistir aos vídeos com aparatos tecnológicos que garantam uma imersão total ou parcial. A RV utiliza capacetes de visualização e controle (HMD – Head Mounted Devices), luvas de dados (Data Gloves), manches eletrônicos (joysticks), projeções em tamanho real e salas montadas com telas de projeção em todas as paredes, podendo incluir o chão e o teto, chamados de cavernas digitais (Digital Cave ou IPT – Immersive Projection Theater) [1]. No Brasil, a primeira caverna digital foi construída na Universidade de São Paulo, pelo Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica. A Caverna Digital da USP possui cinco faces de projeção (quatro paredes e o chão) [4].

A RV é baseada no trinômio Imersão, Interação e Envolvimento [2]. A imersão é a sensação de presença digital no ambiente virtual. A interação é garantida pela disponibilidade de dispositivos de entrada tridimensionais para permitir a manipulação de objetos virtuais pelo usuário. O envolvimento está relacionado ao grau de motivação que uma pessoa possui na realização de determinada atividade, seja ela passiva, como leitura ou assistir a um vídeo, seja ativa, na qual ocorrem interação e manipulação de objetos no ambiente virtual. Um bom exemplo do uso deste trinômio são as ferramentas para educação disponíveis para as áreas de biologia e geografia baseadas em sistemas de projeções virtuais tridimensionais interativos [5].

Os maiores obstáculos à adoção da RV não têm sido os limites tecnológicos, mas sim os altos custos de desenvolvimento e implantação dos sistemas. Habitualmente, o custo de construir sistemas de RV tem sido excessivo, limitando-os a instituições com grandes orçamentos.

Os HMD's não são tão caros, (com custos variando de US\$1.000,00 a US\$4.000,00, em cotação de 2004) [6], mas a compra de vários deles para que um grande grupo possa interagir em uma mesma aplicação pode ser inviável. As cavernas digitais ativas permitem a interação de vários usuários, mas, além das telas e dos projetores, cada usuário precisa usar óculos do tipo estéreo ativo para obter o efeito 3D. Óculos estéreo ativo consiste em dois obturadores compostos de cristal líquido (LCD), trabalhando a uma frequência entre 120 Hz e 150 Hz de forma intercalada.

A soma de todo material necessário para a realização de uma boa caverna pode exceder em muito o valor de US\$ 1.000.000,00, em preços de 2004 [6], restringindo sua aquisição a poucas instituições.

Os recentes avanços tecnológicos dos equipamentos de TI (Tecnologia da Informação) disponíveis no mercado – principalmente no que diz respeito ao desempenho de processadores, placas de vídeo e armazenamento de alta capacidade, além do avanço da tecnologia de projetores, que oferece equipamentos de tamanhos reduzidos, baixo consumo e aumento do brilho – permitem que sistemas de RV de baixo custo possam ser empregados em várias instituições, mesmos naquelas que possuem restrições orçamentárias para investimentos.

Os sistemas de baixo custo utilizam computadores PC's sobre plataforma livre (Linux), ferramentas de domínio público, aplicativos com código aberto, interligados em redes Ethernet dedicadas. Usam ainda a técnica de polarização da luz (vide descrição na seção 2.3) para obter visualização 3D, permitindo não só redução de custos e incremento nos conceitos de ensino e aprendizagem, mas também a difusão tecnológica na sociedade [3]. O custo estimado desses sistemas varia de US\$10.000,00 a US\$60.000,00, em preços de 2004 [6].

Importante fonte de informação sobre esse tipo de sistema é o projeto Geowall [7], que é utilizado para visualização científica de dados geológicos. Outro projeto interessante é o Anatoml 3D [8]: um atlas de anatomia baseado em RV que apresenta, de forma interativa, estruturas tridimensionais do corpo humano oferecendo visualização monoscópica, ou seja, a mesma imagem é exibida para os dois olhos, portanto sem estereoscopia, e em mais três modos diferentes com o efeito da estereoscopia: anaglifo, luz polarizada ou obturação de luz. Essas técnicas de estereoscopia são explicadas com mais detalhes no tópico seguinte. O Anatoml 3D é uma plataforma de uso livre baseada em ferramentas de domínio público, podendo integrar estruturas e textos descritivos para estudos de anatomia. Ele está estruturado sobre a plataforma VirtWall [9],

que é um sistema de projeção estereoscópica de ambientes simulados construído com equipamentos de informática encontrados no mercado nacional, com alto desempenho e grande capacidade de processamento gráfico. O VirtWall possui como filosofia a adoção de ferramentas e dispositivos de baixo custo, o que permite a utilização imediata de tecnologias avançadas por instituições de menor porte.

Um bom conceito de desenvolvimento de aplicações de RV com o objetivo de permitir a portabilidade entre plataformas é denominado conceito de camadas de

abstração sobrepostas [10], que inclui as camadas de hardware gráfico, sistema operacional, biblioteca gráfica, pacotes e aplicações de RV. Existem várias bibliotecas e ferramentas de código aberto que podem ser utilizadas no desenvolvimento dessas aplicações, tais como OpenGL, Open Scene Graph (OSG), VR Juggler, Blender, VRML e ImageJ. A tabela 1 ilustra o conceito de camadas de abstração sobrepostas, com a classificação de alguns exemplos para cada camada.

Camada		Exemplos
Aplicações de RV		Caverna digital USP, Geowall, Anatoml 3D, VirtWall, Construct 3D
Pacotes de RV	Software de desenho 3D, animação e modelagem	ImageJ, Blender, 3DS Max, Shout 3D, Poser, Canoma, Spazz 3D, VRML
	Linguagens de desenvolvimento	C, C++, Java, VB.NET, ASP.NET, Shockwave, Flex, Delphi, ECMAScript
	Pacotes de Desenvolvimento Rápido	Alice 3D, World Up, Internet Space Builder e EON Studio
Biblioteca gráfica		OpenGL, DirectX
Sistema operacional		Linux, Windows
Hardware gráfico		Placas gráficas, Placas VGAs, GPUs

Tabela 1: Descrição das camadas de abstração sobrepostas com alguns exemplos de sistemas disponíveis no mercado (retirada de [10], modificada com a inclusão de exemplos)

### 3. Estereoscopia na RV

A visualização de imagens 3D na RV é obtida por meio de estereoscopia, que é um efeito ativo no ser humano, pois não está presente em uma imagem, ela é interpretada através da visão binocular, diretamente pelo cérebro humano [11,12]. Para recuperar esse efeito, duas imagens diferentes devem ser geradas, uma para o olho esquerdo e outra para o direito. Cada imagem deve ser obtida com pontos de captura ligeiramente diferentes, causando o efeito da paralaxe. A diferença entre esses pontos de captura deve ser semelhante ao obtido com a separação dos olhos humanos.

As técnicas de estereoscopia estudadas são: a técnica de estéreo ativo, obtida com o uso de óculos obturadores de luz, e a técnica de estéreo passivo, obtida por meio de anáglifos ou com polarização da luz. Estas técnicas encontram-se descritas nos itens a seguir.

#### Obturador de Luz para Estéreo Ativo

A técnica de estéreo ativo é normalmente utilizada em cavernas digitais. Utiliza-se de óculos que possuem lentes de cristal líquido (LCD) transparentes, que funcionam como um obturador (veja a figura 1), sincronizando a imagem vista em cada olho com a imagem projetada, para



Figura 1: Óculos com lente de cristal líquido para a técnica estéreo ativo [2]



Tabela 1: Descrição das camadas de abstração sobrepostas com alguns exemplos de sistemas disponíveis no mercado (retirada de [10], modificada com a inclusão de exemplos)

A apresentação das imagens deve ocorrer 120 vezes por segundo (120 Hz) para que o usuário não perceba um efeito de cintilação, sendo 60 vezes por segundo (60 Hz) para cada olho, intercaladamente [13]. O preço dos óculos é U\$500,00 e cada projetor com a velocidade adequada custa a partir de US\$ 10.000,00 [6]. A técnica de estéreo ativo apresenta os melhores resultados, mas é a mais cara.

### Anaglifia para Estéreo Passivo

Anáglifos são cenas obtidas por dupla imagem –

cada uma de um ponto diferente, impressa em duas cores contrastantes que produzem a ilusão de profundidade mediante o uso de óculos de plástico simples, com lentes de cor apropriada para cada olho (vermelho e azul). Utiliza apenas um projetor, pois as imagens podem ser sobrepostas por softwares como o ImajeJ [14], um software de código livre e domínio público. É a mais simples e mais em conta de todas as técnicas para estereoscopia em RV, mas os resultados são razoáveis, pois ocorre perda de cores. Observe uma imagem criada com a técnica de anaglifia, na figura 3.



Figura 3: Imagem com a técnica de anaglifia e óculos para visualização 3D (retirado de [12])

### Polarização da Luz para Estéreo Passivo

Na técnica estéreo passivo com polarização da luz, utilizam-se dois projetores comuns para projetar imagens diferentes para o olho esquerdo e o direito. Filtros de luz com polarização oposta são colocados sobre a lente de cada projetor. Cada usuário deve usar óculos com as lentes polarizadas de forma correspondente, de modo que cada olho enxergue somente a imagem correta.

Uma tela de projeção de metal polido (aluminizada) é necessária para preservar a polarização da luz, pois as telas normais são foscas e espalham a luz em diferentes direções, destruindo a polarização da luz.

A parte mais difícil da configuração do sistema é o alinhamento dos projetores. É importante que os cantos das imagens de cada projetor coincidam. Porém, para sobrepor

as duas imagens em uma mesma tela, é normalmente necessário empilhar os projetores (veja a figura 4) e, então, incliná-los até que as projeções fiquem alinhadas. Isso resulta na imagem com efeito de pedra angular (keystone), projetando uma imagem de formato trapezoidal em vez de retangular. Alguns projetores permitem ajustar a imagem e corrigir esse efeito. Sem a correção, a imagem é ainda aceitável, mas tem perda de qualidade e pode estressar os olhos de pessoas mais sensíveis após alguns minutos. Também é importante igualar a intensidade e as cores dos dois projetores, que, de preferência, devem ser do mesmo modelo. Se houver diferença na intensidade e nas cores, o efeito sobre os olhos é perturbador. Se o ajuste não estiver alinhado, o usuário poderá sofrer efeitos colaterais, tais como dor de cabeça e enjôo, provocando até desmaios.

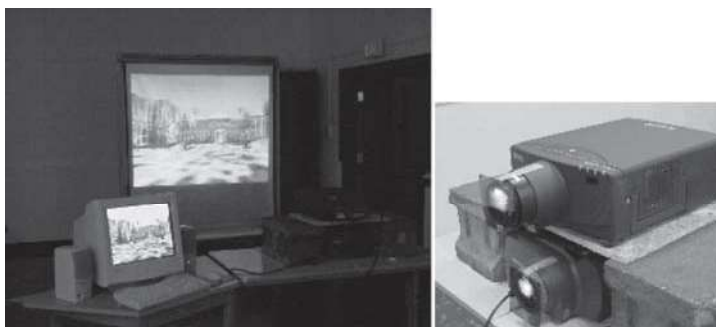


Figura 4: Aparato de projeção 3D com polarização da luz [6]

A técnica estéreo passivo com polarização da luz não é a mais barata, mas apresenta a melhor relação entre custo e benefício se comparada à técnica de anaglifa e à de estéreo ativo. Cada projetor custa cerca de US\$500,00; a tela aluminizada, US\$50,00; os filtros polarizadores para os projetores, US\$25,00, e os óculos, US\$3,00. Supondo um sistema mínimo para 50 usuários, são necessários dois projetores, uma tela, dois filtros e 50 óculos, totalizando um investimento, somente na parte de projeção, de aproximadamente US\$1.250,00 [6], a preços de 2004, não considerando a gravação ou elaboração de conteúdo gráfico e edição do conteúdo.

#### 4. RV na Educação

O uso da RV na educação tem atraído muita atenção. Em 1998, Cristine Youngblut produziu para o IDA (Institute for Defense Analyzes) um relatório com mais de 70 projetos de aplicação de RV na educação [1]. Surgiram jornais eletrônicos, como "VR in Schools", e edições especiais em periódicos, como Presence, de junho de 1999. Os protótipos e aplicações desenvolvidos são direcionados a públicos específicos (crianças, estudantes universitários, adultos, alunos com deficiência física ou cognitiva), abrangendo uma ampla variedade de conteúdo didático (ciência, artes e outros) e objetivos pedagógicos (impulso ao aprendizado, instrução, treinamento, reabilitação, desenvolvimento de habilidades).

Uma experiência foi conduzida por Cliburn [6] com um sistema de RV baseada na polarização da luz. Dois grupos de oito alunos tiveram uma aula sobre o sistema solar. Um grupo assistiu à aula utilizando o sistema de RV; o outro ouviu uma leitura tradicional abordando o mesmo conteúdo. Em seguida, um questionário foi aplicado aos grupos. Aquele que assistiu à aula utilizando o sistema de RV obteve média 9,8, enquanto o outro, 8,9. O grupo que teve apenas leitura alcançou média dez após assistir ao conteúdo no sistema de RV. Cliburn não considerou o

resultado conclusivo devido à pequena quantidade de alunos, mas indicativo dos resultados que podem ser obtidos com estudos mais intensivos.

As aplicações da RV na educação podem ser utilizadas em diversas áreas [15], como em medicina, em treinamentos de estruturas anatômicas e realização de cirurgias a distância. Outra área de grande interesse é a industrial, onde nas aplicações de exploração de petróleo e gás, vários profissionais estudam os reservatórios a partir de modelos 3D projetados em RV, tais como geólogos, geofísicos e engenheiros de reservatórios. A Petrobrás possui cerca de treze centros de RV espalhados por suas unidades. A Embraer utiliza uma grande sala de RV para realizar treinamentos em algumas aeronaves. Um outro exemplo é na área de ciências e matemática, onde os alunos têm acesso a modelos 3D para o aprendizado de experimentos em física (Newton World), química (Maxwell World) e geometria (Construct3D [16]) [15].

#### 5. Estudo de Caso

No estudo de caso, serão avaliados as etapas e os processos de uma produção de vídeo 3D, desde a gravação das imagens em campo, edição e projeção em sala de aula. Para isso, foram utilizados equipamentos de baixo custo. Vale ressaltar que parte deles foram fornecidos LSI da USP.

Mesmo com tantas fontes de pesquisas, é difícil encontrar um material detalhado sobre a produção de vídeos 3D. Os aspectos comumente abordados referem-se à fotografia tridimensional. Os sites [www.3dstereo.com](http://www.3dstereo.com), [www.stereoscopy.com](http://www.stereoscopy.com) e [www.pokescope.com](http://www.pokescope.com) demonstram esse tipo de domínio da área de fotografia. Porém, em [www.stereomaker.net](http://www.stereomaker.net), encontramos um exemplo de softwares e vídeos de produção tridimensionais.

Entre as possíveis formas de produção de vídeo 3D, destaca-se aquela que utiliza uma lente especial estereoscópica, eliminando a necessidade de utilizar duas câmeras para gerar as imagens estereoscópicas, ou seja, uma

imagem para o olho direito e outra para o esquerdo [17].

Nesta forma de produção, acopla-se à lente da câmera uma segunda lente especial composta de espelhos e dois obturadores de cristal líquido, sincronizados por um cabo com a câmera, na mesma frequência do equipamento conforme ilustrado na figura 5.

Com isso, quando o campo par da imagem entrelaçada estiver sendo gerado, o obturador impede a entrada da luz proveniente do espelho e, quando o campo

ímpar estiver sendo gerado, somente a luz do espelho é gravada na câmera.

O equipamento também possui um ajuste de convergência da distância entre a câmera e os objetos, através de seus obturadores, formando o conjunto estereoscópico do sistema. Os obturadores estão posicionados a 2.2" (56 mm) um do outro, um pouco menos que a média da distância interpupilar humana, que é de 2.6" (66 mm) [17].

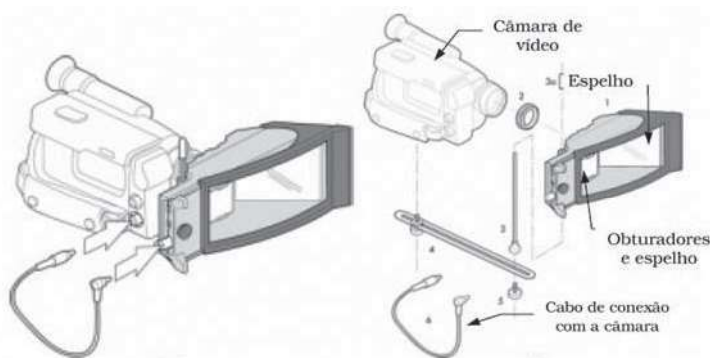


Figura 5: Sistema elaborado para a produção de vídeos 3D de baixo custo [19]

Com esse sistema, foi possível realizar a captação de imagens estereoscópicas, permitindo um simples processo de edição de vídeo, uma vez que as imagens ficaram gravadas em uma fita. Foi utilizada uma câmera de vídeo caseira, porém com gravação de vídeo digital (mini-DV), assim como a saída de vídeo digital (firewire). Para a edição dos vídeos captados, foi utilizado um notebook com interface firewire, possibilitando a captura das imagens da fita diretamente para o disco rígido do notebook, sem perda de qualidade. Após a seleção das cenas, copiou-se de volta para a fita o material editado, utilizando a própria câmera como o dispositivo de exibição das imagens.

Para a projeção do vídeo 3D, foram utilizados dois projetores comuns, uma tela aluminizada e dois filtros de luz polarizados; além disso, um decodificador de campos pares e ímpares e a câmera para exibir as imagens.

Foram realizadas duas produções de vídeo 3D voltadas para a educação no trânsito. Na primeira, foi produzido um vídeo de três minutos com o objetivo de demonstrar a motoristas recém-habilitados uma seqüência de atividades e ferramentas necessárias para a troca de um pneu de carro. Na segunda produção, utilizou-se um veículo em movimento, cujo objetivo foi demonstrar aos futuros motoristas (crianças) como enfrentar o trânsito da cidade (desviar de outros veículos, contornar praças, passar por obstáculos e rotatórias). O primeiro vídeo produzido não pode ser utilizado para avaliar a exibição, pois o ajuste de convergência da distância entre a câmera e os objetos ficou muito maior do que o necessário,

aumentando excessivamente o efeito da paralaxe, resultando em imagens separadas demais para obtenção do efeito estereoscópico, dificultando a visualização das imagens tridimensionais e causando perturbações visuais aos espectadores ao tentarem assistir as imagens sobrepostas pelos projetores.

O Segundo vídeo foi exibido para duas turmas de 15 alunos. Na primeira turma, 12 dos 15 alunos relataram ter tido alguma sensação de imersão. Na segunda turma, 14 deles visualizaram cenas tridimensionais, bem como objetos projetando-se para fora da tela. O fato de alguns alunos não conseguirem visualizar as cenas 3D está relacionado a fatores fisiológicos e psicológicos de cada um, que não será abordado neste estudo.

Conclui-se que o resultado obtido foi bastante satisfatório e promissor.

### Valores de Investimento para a Produção de Vídeos 3D

Na tabela 2, descrevemos a lista utilizada no estudo de caso, com valores de investimento, detalhando a relação de equipamentos e materiais necessários para a produção de um vídeo com estereoscopia de baixo custo, para ser implementada em instituições de ensino. Não está sendo considerado neste orçamento a mão-de-obra especializada e o local onde serão realizadas as apresentações (sala de aula ou auditório).

Equipamentos/Materiais	Fabricante	Modelo	Valor (R\$)*
<b>Gravação</b>			
Lente 3D	NuView	SX2000	1000,00
Câmera 8mm	Sony	miniDV Hi8	900,00
Extensão de AC (tomadas)	-	-	20,00
2 fitas	Sony	miniDV 8mm	15,00
Cabos de conexão BNC/RCA	-	-	20,00
2 baterias para a câmera	Sony	-	120,00
<b>Subtotal</b>			2075,00
<b>Edição</b>			
Notebook com interface firewire	Dell	Latitude	5000,00
Software de edição de imagens	Adobe	Premiere 6.0	700,00
<b>Subtotal</b>			5700,00
<b>Exibição</b>			
Câmera 8mm (Modo Player)	Sony	miniDV Hi8	900,00
Decodificador de vídeo 3D	NuView	-	1150,00
Cabos de conexão BNC/RCA	-	-	25,00
Tela de projeção aluminizada	-	-	600,00
Dois projetores portáteis	InFocus	LP120	5000,00
<b>Subtotal</b>			7375,00
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>			<b>15450,00</b>

Tabela 2: Lista de equipamentos utilizados na produção dos vídeos 3D

\*Valores estimados

### Valores de Despesas para a Produção de Vídeos 3D

Para apresentar um possível orçamento de produção com despesa por serviços de locação, utilizamos a experiência empregada nos vídeos educacionais produzidos neste Estudo de caso e os valores praticados no mercado. A produção de 15 minutos de vídeo tridimensional consome

de 4 a 6 horas/homem, 2 horas/homem para elaborar o roteiro, 3 horas/homem de edição e 1 hora/homem de exibição em uma aula de 50 min.

A Tabela 3 demonstra os custos estimados para executar um projeto de RV por meio de locação de equipamentos e contratação de profissionais especializados.

Serviço/Locação (diária)	Valor (R\$)
<b>Custos de gravação</b>	
Lente 3D NuView SX2000	150,00
Câmera 8mm c/ acessórios e cabos	100,00
Diária cinegrafista/equipe	300,00
Material para cenários e diversos	150,00
Subtotal	700,00
<b>Custos de edição</b>	
Aluguel da ilha de edição portátil	200,00
Diária do editor/produtor	200,00
Subtotal	400,00
<b>Custos de exibição</b>	
Sistema de Projeção (Projetores, tela, decodificador 3D)	300,00
Diária do técnico de montagem	200,00
Subtotal	500,00
<b>TOTAL DE DESPESAS</b>	<b>1600,00</b>

Tabela 3: Lista dos serviços executados no estudo de caso

\*Valores estimados

## 6. Conclusão

A viabilização do uso de RV na educação está, em um primeiro momento, ligada à queda de custos dos equipamentos, que vem ocorrendo ano a ano. Vencida a barreira dos custos, resta a cultural, alimentada pela falta de conhecimento especialista em RV e pela pouca oferta de aplicações práticas que possam ser utilizadas em instituições de ensino de todo o país.

A redução dos preços dos equipamentos e as soluções alternativas como a projeção 3D pela técnica de polarização da luz devem ajudar a disseminação da RV em instituições educacionais com orçamentos limitados. Neste trabalho, utilizou-se a técnica de estereoscopia passiva com polarização da luz, uma vez que esta apresenta a melhor relação entre custo e benefício na produção de vídeos 3D.

Nas produções de vídeos 3D, observou-se certa dificuldade para ajustar a distância que causa o efeito da paralaxe com a lente 3D durante o processo de gravação das imagens, que pode ocasionar ao espectador perturbações visuais, como a ocorrida na primeira produção. Já no segundo caso, obtivemos um ajuste mais preciso, aumentando a sensação de imersão do espectador em um ambiente tridimensional em total movimento.

A produção de conteúdos educacionais 3D requer técnica, equipamentos e cuidados especiais. No estudo de caso da primeira exibição, 12 dos 15 alunos que assistiram ao vídeo obtiveram uma sensação de imersão. Na segunda exibição, 14 alunos. As produções realizadas neste trabalho permitiram avaliar a técnica, as dificuldades e os custos de produção. Como os resultados são promissores, constata-se a possibilidade do uso de sistemas de RV de baixo custo em instituições de ensino.

## 7. Referências

- [1] YOUNGBLUT, C. Educational Uses of Virtual Reality Technology. Alexandria – VA – EUA: Institute for Defense Analyses, 1998. 114p. IDA Document D-2128. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/sciww/youngblut-edvr/D2128.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- [2] NETTO, A. V.; MACHADO, L. S.; OLIVEIRA, M. C. F. Realidade Virtual - Definições, dispositivos e aplicações. REIC – Revista Eletrônica de Iniciação Científica, v. 2, n. 1, 2002. Disponível em: <[www.sbc.org.br/reic/edicoes/2002e1](http://www.sbc.org.br/reic/edicoes/2002e1)>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- [3] TORI, R. O Virtual que marca Presença. Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância, São Paulo – SP – Brasil, 2003. Disponível em <[www.abed.org.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm](http://www.abed.org.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm)>. Acesso em: 14 nov. 2006
- [4] SANTOS, E. T.; ZUFFO, M. K.; NETTO, M. L.; LOPES, R. D. Computação Gráfica: Estado da arte e a pesquisa na USP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 15., 2001, São Paulo – SP – Brasil. Anais... São Paulo – SP – Brasil: EDUSP. 2001, p. 3.
- [5] Prodigy3D. São Paulo. Software de Realidade Virtual para educação com imagens tridimensionais projetadas por computador. Disponível em: <<http://www.prodigy3d.com.br>>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- [6] CLIBURN, D. C. Virtual Reality For Small Colleges. The Journal of Computing Sciences in Colleges, Hanover – IN – EUA, v. 19, n. 4, 2004, p. 28-38.
- [7] BELLEMAN, R.; STOLK, B.; VRIES, R. Immersive Virtual Reality on commodity hardware. In: LAGENDIJK, R. L.; HEIJNSDIJK, J. W. J.; PIMENTEL, A. D.; WILKINSON, M. H. F. (eds.). PROCEEDINGS OF THE 7TH ANNUAL CONFERENCE OF THE ADVANCED SCHOOL FOR COMPUTING AND IMAGING, 7., 2001. Proceedings... Heijen – Netherlands: ASCI, 2001, p. 297-304, ISBN 90-803086-6-8. Disponível em: <<http://geowall.geo.lsa.umich.edu>> Acesso em: 14 nov. 2006.
- [8] MONTEIRO, B. S.; VALDEK, M. C. O.; CUNHA, I. L. L.; MORAES, R. M.; MACHADO, L. S. Anatoml 3D: Um Atlas Digital Baseado em Realidade Virtual para Ensino de Medicina. In: SVR - SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, 8., 2006, Belém – PA – Brasil. Anais... Belém – PA – Brasil. 2006.
- [9] MORAES, R. M.; MACHADO, L. S. e SOUZA, A. C. M.; VirtWall: A Concept of Low-Cost Virtual Wall for Immersion in Virtual Reality. In: SVR - SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, 6., 2003, Ribeirão Preto – SP – Brasil. Anais... Ribeirão Preto – SP – Brasil. 2003. p. 383-385.
- [10] CALONEGO Jr. N.; GARCIA M. B.; MEIGUINS B. S.; NETTO, A. V.; CATERIANO P. S. H. Modelagem e programação de ambientes virtuais interativos. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. (eds.). Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. Livro do Pré-Simpósio VIII Symposium on Virtual Reality. Belém – PA – Brasil: SBC, 2006, v. 1, p. 98-108, ISBN 85-7669-068-3.

[11] RAPOSO, A. B.; SZENBERG, F.; GATTASS, M.; CELES, W. Visão Estereoscópica, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Colaboração. In: ANDRADE, A. M. S.; MARTINS, A. T.; MACÊDO, R. J. A.; (eds.). CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 14., 2004, Brasil. Anais... Brazil: SBC, 2004, v. 2, XXIII JAI - Livro Texto, cap. 7, p. 289 – 331, ISBN 85-88442-95-7.

[12] SISCOUTTO, R. A.; SZENBERG, F.; TORI R.; RAPOSO R.; CELES, W.; GATTASS, M. Estereoscopia. In: KIRNER, C.; TORI, R. (eds.). Realidade Virtual: Conceitos e Tendências. Livro do Pré-Simpósio SVR 2004. Brasil: SVR, 2004, cap. 11, p.179 – 201, ISBN 85-904873-1-8.

[13] ZUFFO, M. K. A convergência da realidade virtual e Internet Avançada em novos paradigmas de TV Digital Interativa. 2001. 91p. Tese de Livre Docência, USP, São Paulo, 2001.

[14] ImageJ - Image Processing and Analysis in Java. EUA. Software desenvolvido pelo NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH do governo dos EUA. Disponível em: <<http://rsb.info.nih.gov/ij/>>. Acesso em: 22 nov. 2006.

[15] CARDOSO, A.; LAMOUNIER, Jr. E. A Realidade Virtual na Educação e Treinamento. In: Tori, R.; Kirner, C.; Siscoutto, R. (eds.). Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. Livro do Pré-Simpósio VIII Symposium on Virtual Reality. Belém – PA – Brasil: SBC, 2006, v. 1, p. 304-312, ISBN 85-7669-068-3.

[16] KAUFMANN, H.; SCHMALSTIEG, D.; WAGNER, M. Construct3D: a Virtual Reality Application for Mathematics and Geometry Education. Education and Information Technologies, Londres, v. 5, n. 4, p. 263-276, 2000.

[17] ALVES, A. O.; TOMMASELLI, A. M. G.; GALO, M. Avaliação do sistema câmara de vídeo + nu-view para reconstrução de superfícies à curta distância. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba – PR – Brasil. v. 8, n. 2, p. 3-19, 2002, ISSN: 1413-4853.

#### Responsabilidade de autoria

As informações contidas neste artigo são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões nele emitidas não representam, necessariamente, pontos de vista da Instituição e/ou do Conselho Editorial.