

REALIDADE AUMENTADA APLICADA À ARQUITETURA E URBANISMO

Rodrigo Rosa Amim

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. Luiz Landau, D. Sc.

Prof. Gerson Gomes Cunha, D.Sc.

Prof. Aurélio Antonio Mendes Nogueira, D.Sc.

Prof. Nelson F.F. Ebecken, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JUNHO DE 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

AMIM, RODRIGO ROSA

Realidade Aumentada Aplicada à
Arquitetura e Urbanismo

[Rio de Janeiro] 2007

VIII, 120 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Engenharia Civil, 2007)

Dissertação - Universidade Federal
do Rio de Janeiro, COPPE

1. Realidade Aumentada
2. Arquitetura Digital
3. Arquitetura e Urbanismo Contemporâneos
4. Interfaces Tangíveis

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

à minha esposa e amor da minha vida, Natalia.

AGRADECIMENTOS

Aos meus gatos, Elvis e Miaki, que foram companheiros inseparáveis em todas as etapas dessa dissertação.

Aos professores Landau e Gerson por todo o apoio.

À Beth da secretaria do PEC pela paciência e cordialidade.

A todos que me ajudaram de maneira direta ou indireta, familiares e amigos. Em especial, Mariana, Rogério, João, Aline e Bianca.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

REALIDADE AUMENTADA
APLICADA À ARQUITETURA E URBANISMO

Rodrigo Rosa Amim

Junho/2007

Orientadores: Luiz Landau

Gerson Gomes Cunha

Programa: Engenharia Civil

Esse documento procura despertar estudantes e profissionais para a disponibilidade da Realidade Aumentada como ferramenta a ser utilizada desde a etapa de criação até a construção de projetos arquitetônicos e outras edificações. A dissertação aponta possibilidades, apresenta as potencialidades e verifica o quanto essa tecnologia poderá modificar os processos produtivos da construção civil. Através do Estado da Arte das aplicações de Realidade Aumentada na Arquitetura e no Urbanismo, fornecemos uma importante fonte de pesquisa e apoio aos interessados no assunto.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

AUGMENTED REALITY
APPLIED TO ARCHITECTURE AND URBANISM

Rodrigo Rosa Amim

June/2007

Advisor: Luiz Landau

Gerson Gomes Cunha

Department: Civil Engineering

This document aims to show to students and professionals, the disponibility of Augmented Reality as an useful and powerful tool that can be used from the creation till the construction of architectural projects and other edifications. The dissertation points possibilities, show the potencialities and verify how this technology can change the production processes of building. Through the State of Art of Augmented Reality applications in Architecture an Urbanism, we offer an important source for research and support for the ones interested in the subject.

Sumário

1. Introdução.....	1
1.1. Escopo da Dissertação.....	1
1.2. Motivação.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Estrutura do Documento.....	4
2. Realidade Aumentada.....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. A Realidade Aumentada.....	14
2.3. Realidade Aumentada X Realidade Virtual.....	15
2.4. Um Sistema de Realidade Aumentada.....	20
2.4.1. Sistema de RA Típico.....	20
2.4.2. Questões de Performance.....	22
2.4.3. Tecnologias de Exibição.....	23
2.4.3.1. Anexadas à Cabeça.....	23
2.4.3.2. Portáteis.....	25
2.4.3.3. Espaciais.....	26
2.4.3.4. Um Pouco mais sobre as Tecnologias de Exibição.....	28
2.4.4. Requerimento de Traçadores de Posição.....	31
2.5. Aplicações de Realidade Aumentada.....	37
3. Arquitetura na Era Digital.....	49
3.1. Arquitetura e Tecnologia.....	50
3.2. Continuum Digital.....	53
3.3. Lições Tecnológicas.....	54
3.4. Visualização Digital.....	56
3.5. Processos Digitais na Produção Arquitetônica.....	59
3.5.1. Concepção.....	59
3.5.1.1. Varredura em Três Dimensões – do físico para o digital.....	59
3.5.1.2. Morfogêneses Digitais.....	63
3.5.2. Fabricação Digital – do digital para o físico.....	68
3.5.3. Montagem ou Construção.....	74

4. Realidade Aumentada na Arquitetura e no Urbanismo.....	75
4.1. Apresentação dos Casos Estudados.....	75
4.2. Casos Estudados.....	76
4.2.1. Projeto de Interiores.....	77
4.2.2. Projeto Arquitetônico.....	83
4.2.3. Construção.....	85
4.2.4. Urbanismo.....	88
4.2.5. Paisagismo.....	96
4.2.6. Restauração.....	101
4.2.7. Ensino.....	102
4.2.8. Casos Especiais.....	106
5. Considerações Finais.....	110
5.1. Contribuições dessa Dissertação.....	113
5.2. Trabalhos Futuros.....	114
Referências Bibliográficas.....	116

CAPITULO 1 – Introdução

1.1. Escopo da Dissertação

Na Arquitetura, no Urbanismo e também na Engenharia o desenho exerce um papel primordial. A representação dos projetos para apresentação aos clientes, em sua maioria leigos, ou para própria construção no canteiro de obras, muitas vezes fica limitada por representações bidimensionais que não abrangem a espacialidade dessas disciplinas.

O profissional tem que ser muito hábil e claro para conseguir explicar seu projeto, tanto para o cliente como para os outros profissionais das diferentes áreas que trabalham com ele, e isso pode acarretar muitos problemas futuros.

ZEVI (1994), abordou justamente a lacuna entre a representação do espaço arquitetônico e o entendimento real de como o espaço se distribui em uma edificação, uma vez que as plantas, fachadas e elevações de um edifício correspondem a projeções abstratas justificadas pela necessidade de medir as distâncias entre os diversos elementos da edificação, ou seja, larguras, alturas e comprimentos, permitindo que os operários executem a obra. Segundo o autor, a arquitetura provém dos espaços encerrados, do vazio e do espaço interior em que os homens andam e vivem (ESPINHEIRA, 2004).

A representação do projeto arquitetônico sempre enfrentou as limitações do instrumental disponível. No momento da criação o autor deve transmitir as informações do projeto, suas idéias, sua imaginação, para os profissionais que o auxiliam, assim como ao cliente. O compartilhamento de idéias é essencial na concepção do projeto. Assim como na hora de construir é necessário estar com os instrumentos e desenhos que facilitem para que o projeto criado anteriormente seja realizado da maneira mais aproximada quando em escala real.

A Arquitetura, o Urbanismo e a Engenharia sofreram bruscas evoluções quando com a ocorrência da era digital. Ambos foram afetados em todas as etapas de produção, desde a criação até a construção de interiores, edificações e na elaboração das cidades. A computação gráfica, a visão computacional e as interfaces do usuário permitem novos desafios formais e conceituais nesses processos.

Embora o emprego do computador como instrumento de projeto esteja bastante difundido entre os escritórios de arquitetura, ainda não foram exploradas formas emergentes de representação e visualização como a Realidade Aumentada (RA), uma nova ferramenta que pode auxiliar e modificar o modo de produção na construção civil.

Com base nestas observações do dia-a-dia da prática profissional, procurou-se identificar, as tendências atuais de inovação no instrumental de representação de projeto, a concepção arquitetônica sob a óptica das novas tecnologias, novos parâmetros de construção, dando um panorama das últimas realizações nesta área, auxiliada pela Realidade Aumentada (RA), e discorrendo sobre as perspectivas abertas a partir do quadro atual.

1.2. Motivação

As possibilidades da computação gráfica aumentam a cada dia. Acompanhar esse desenvolvimento torna-se muitas vezes impraticável para profissionais e estudantes tanto pela falta de recursos em um país em desenvolvimento, como pela resistência de práticas anacrônicas que são empregadas nas universidades e no próprio mercado. Qual seria o caminho para atualizar essa prática? Como os participantes da construção civil poderiam estabelecer novos parâmetros para edificação de novas cidades, adaptadas ao seu tempo? Como as novas tecnologias da informação e da comunicação poderiam ser nossas aliadas nessa empreitada?

A representação arquitetônica na era digital pode estar bem mais próxima da experiência espacial exigida por essas disciplinas. As tecnologias de RV, RA e outras variantes permitem visualizações mais parecidas ao que vai ser construído. Mudanças

climáticas, densidades populacionais, muitas variáveis e muitos problemas atuais podem ser pensados por novas formas de construir, com auxílio dessas ferramentas, através de simulações, análises.

Nas faculdades de Arquitetura e Engenharia, assim como no mercado da construção civil, vê-se um lento processo de adaptação dos mesmos às novas maneiras de projetar e construir. Não que isso signifique excluir velhas formas, mas como implementar novos conceitos em novos projetos se a maneira de projetar é ultrapassada? Como plantas e desenhos bidimensionais dão conta de representar a espacialidade arquitetônica e o tempo presente?

A RV apresenta ferramentas em um mundo inteiramente sintetizado. A Realidade Aumentada, insere, aumenta nossos sentidos. A computação ubíqua torna-se algo próximo, onde o computador estará mais associado ao nosso dia-a dia, dinâmico e móvel. Estamos diante de um panorama promissor.

1.3. Objetivos

A pesquisa pretende despertar estudantes e profissionais da construção civil para a disponibilidade da RA como ferramenta a ser utilizada desde a criação até a construção de projetos arquitetônicos e outras edificações. Apresentamos possibilidades de uso e verificamos o quanto essa tecnologia poderá modificar o processo construtivo, sendo uma importante fonte de pesquisa e apoio aos interessados no assunto.

Não se tem, aqui, a intenção de propor um modelo absoluto, finito, que represente a solução às questões inerentes aos projetos Arquitetônicos e Urbanos, muito menos apresentar um tutorial de execução de comandos e componentes dos “softwares” ou “hardwares” usados. E sim, apresentar o Estado da Arte com base em experiências com a Realidade Aumentada aplicada a estas áreas. Certamente, pode-se contribuir para, junto com demais publicações, apontar um caminho, uma saída para novos projetos arquitetônicos.

Mostraremos potencias de uso da RA e suas aplicações na Arquitetura e no Urbanismo, através da compilação de algumas publicações isoladas, Incluindo centros de pesquisas, universidades, mercado e outros, levantados através de livros, *websites* e possíveis contatos mais diretos.

1.4. Estrutura do Documento

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 (cinco) capítulos discriminados a seguir:

Capítulo 1: Refere-se à introdução com escopo, motivação, objetivos e a estrutura do documento.

Capítulo 2: Introduz a Realidade Aumentada, conceitua seus principais elementos, algumas questões técnicas, traça comparações com a realidade virtual, mostra algumas aplicações.

Capítulo 3: Foca nas mudanças que a arquitetura vem sofrendo após o advento das tecnologias da informação e comunicação. Apresenta um breve histórico, novos processos criativos e produtivos. Situa o leitor no universo da arquitetura da Era Digital, trazendo à tona a utilização de novas tecnologias, incluindo a Realidade Aumentada.

Capítulo 4: Apresenta a amplitude da Realidade Aumentada na elaboração, apresentação e construção de projetos arquitetônicos e urbanísticos. Através de alguns exemplos pesquisados , ilustra os potenciais de uso e aplicação dessa ferramenta.

Capítulo 5: Considerações finais, Conclusão, Contribuições desta dissertação e possibilidades de prospecções futuras.

Capítulo 2 - Realidade Aumentada

“Qual é a metáfora para o computador do futuro? O agente inteligente? A televisão multimedia? Um mundo gráfico tridimensional? O computador ubíquo, comandado por voz, da série Jornada nas Estrelas? A interface do Desktop remodelada? A máquina que magicamente realiza os desejos? Eu penso que a resposta certa seria “nenhuma das opções acima”, porque na minha opinião todos esses conceitos compartilham uma mesma falha básica: eles tornam o computador visível. Uma boa ferramenta é aquela invisível. Por invisível, quero dizer que a ferramenta não interfere na nossa consciência: você foca na tarefa e não na ferramenta.”

Mark Weiser¹

“O espaço pode tornar-se a interface: uma arquitetura invisível.”

Marcos Novak²

2.1. Antecedentes

Algumas tecnologias desenvolvidas ao longo da história foram importantes para se chegar a dispositivos de visualização, como os de Realidade Aumentada (RA), por exemplo. Aqui, iremos pontuar algumas dessas realizações, com as quais identificamos pontos de origem e caminhos essenciais ao desenvolvimento dessas tecnologias.

O uso de instrumentos ópticos, como uma lente, usados pelos pintores para projetar no papel a imagem do modelo ou paisagem a ser pintado, é uma das primeiras práticas que caracteriza um dispositivo visual (Figura 1). Em seguida, podemos citar o Diorama³ de Daguerre (Figura 2), de 1822 e a Estereoscopia⁴, datada de 1832, quando Charles Wheatstone inventou o Visor Estereoscópico (Figura 3).

¹ Mark Weiser era chefe cientista da Xerox PARC e considerado por muitos, o pai da Computação Ubíqua e da Tecnologia Calma. (1991)

² Marcos Novak é um transarquiteto, artista e teórico. Seus trabalhos percorrem o mundo todo, tornando uma figura importante para arquitetura contemporânea. (2001)

³ Louis-Jacques-Mendé Daguerre pintava paisagens em ambos os lados de telas, de grandes dimensões, feitas de tecido bastante transparente. Ao expor essas telas perante o público, movia um grande espelho (escondido) acima da tela, redirigindo a luz vinda do exterior (por uma janela). Esse deslocamento permitia, à vista do público, mutações de panoramas que a todos assombrava.

⁴ simulação de duas imagens da cena que são projetadas nos olhos em pontos de observação ligeiramente diferentes, o cérebro funde as duas imagens, e nesse processo, obtém informações quanto à profundidade, distância, posição e tamanho dos objetos, gerando uma sensação de visão de 3D.



Figura 1. pintura "A Lanterna Mágica"
Fonte: <http://www.wga.hu/frames-e.html?/html/s/sandby/laternam.html>

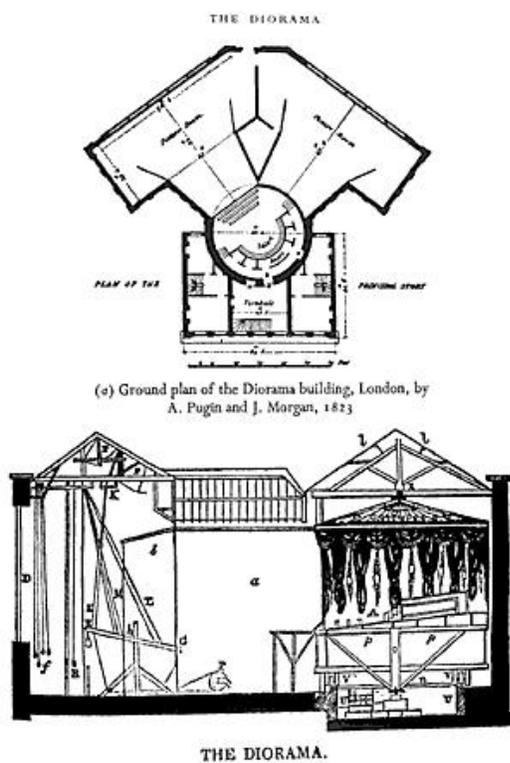


Figura 2. Planta e Corte do Diorama de Daguerre.
Fonte: Wikipedia a enciclopédia visual

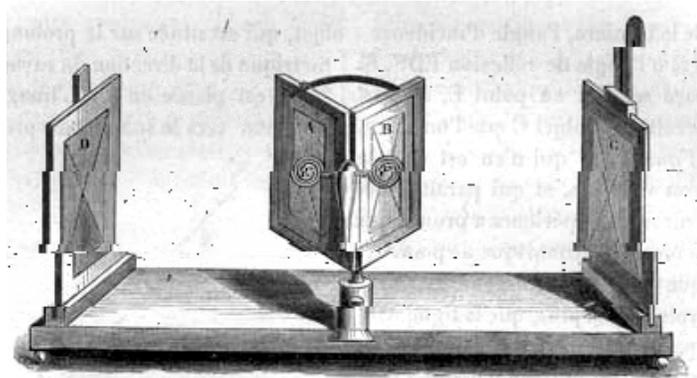


Fig. 119. — Stéréoscope à miroirs de M. Wheatstone.

Figura 3. Estereoscópio espelhado de Charles Wheatstone.
Fonte: <http://users.telenet.be/thomasweynants/stereoscope.html>

Em 1956, quanto a fotografia e o cinema já estavam bastante desenvolvidos e comercializados, Morton Hellig, cineasta, resolveu combinar, em vídeo, filmes 3D, som estéreo, vibrações mecânicas, aromas e ar em movimento (por meio de ventiladores). Tudo isso em uma cabine, na qual o observador era instalado e depois submetido a uma combinação desses estímulos sensoriais, em um passeio de motocicleta por Nova York. Tal empreendimento não teve sucesso comercial, mas foi um precursor da imersão usuário em um ambiente virtual; era um simulador e foi nomeado Sensorama (Figura 4).



Figura 4. Sensorama, de Morton Hellig.
Fonte: <http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html>

Em 1963, Ivan Sutherlands⁵, jovem doutorando em final de pesquisa no MIT, produziu um trabalho que, mais do que qualquer outra pesquisa resultaria no grande desenvolvimento da computação gráfica. Sutherland inventou a caneta ótica – *Sketchpad* (Figura 5) – possibilitando inserir gráficos diretamente na tela do computador. Essas idéias também foram o ponto de partida para a orientação a objetos, onde estrutura e comportamento são passados de alguns objetos para outros.



Figura 5. *Sketchpad*, de Ivan Sutherland.
Fonte: http://www.mprove.de/diplom/media/fig3.1_Sketchpad.jpg

Também é dele o desenvolvimento do primeiro Videocapacete (*Head Mounted Display ou HMD*) que se mostrou funcional, no projeto *The Ultimate Display* (Figuras 6 e 7) : possibilitava a visualização, através da movimentação da cabeça, dos diferentes lados de uma estrutura de arame flutuante, em formato de um cubo. Era o início da Realidade Virtual (RV).

⁵ Contribuiu com inúmeras idéias para o estudo da Computação Gráfica e da Interação com o computador. Dentre elas, os conceitos de modelagem 3-D, simulação visual, desenho auxiliado por computador (CAD) e realidade virtual.

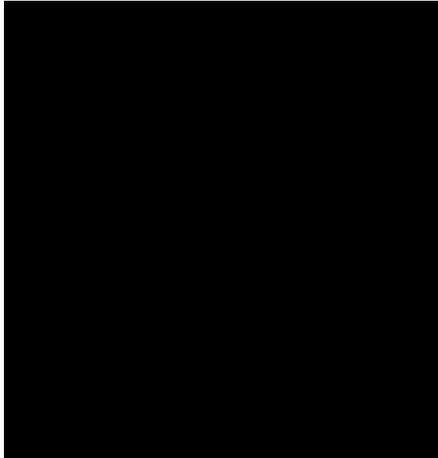


Figura 6. Detalhe do Videocapacete de Sutherland, que era preso ao teto.
Fonte: <http://accad.osu.edu/~waynec/history/lesson17.html>



Figura 7. *The Ultimate Display*, de Sutherland.
Fonte: http://resumbrae.com/ub/dms424_s03/12/01.html

O desenvolvimento da Realidade Virtual (RV), também teve entre suas causas, a enorme quantidade de pesquisas realizadas pelas Forças Armadas. As técnicas emergiram a partir de pesquisas da indústria de simulação de vôos (Figura 8) pela força aérea dos Estados Unidos, após a Segunda Guerra Mundial.



Figura 8. Exemplo de simulador de vôo.
Fonte: http://techpics.com/files/flight_07.jpg

Paralelamente aos estudos de Sutherland, corria a pesquisa de Myron Krueger⁶. Que na Universidade de Wisconsin, experimentava unir computadores e sistemas de vídeo no que ele chamou “mapeamento de vídeo”.

Krueger criou o *Videoplace* (Figuras 9 e 10) onde uma câmera de vídeo capturava a imagem dos participantes e projetava-a em 2D numa grande tela. Os participantes podiam interagir uns com os outros e com objetos projetados na tela, sendo que seus movimentos eram constantemente capturados e processados. Esta técnica tornou-se, também conhecida como Realidade Virtual de projeção (MACHADO 1995).

⁶ Myron Krueger foi o cientista que pela primeira vez usou o termo Realidade Virtual no ano de 1973 para descrever o que ele chamou “meio ambiente controlado por computadores, ou meio ambiente composto, o que levava a uma aproximação estética com a interface homem-computador” .



Figura 9. Usuário interagindo com o sistema (*Videoplace*) – Mapeamento de Vídeo.
Fonte: <http://bcchang.com/vrlab/aboutphp&h>

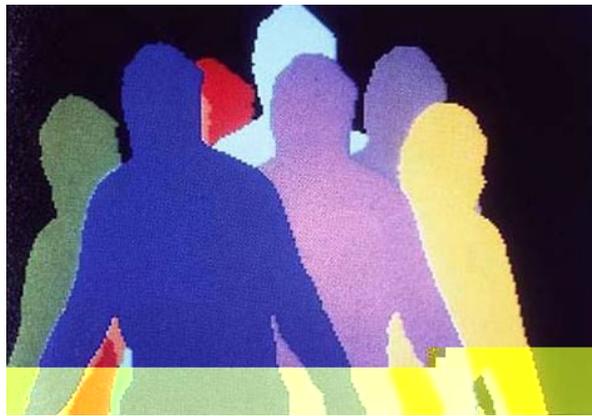


Figura 10. Projeção da silhueta do participante do *Videoplace*, somado a intervenções gráficas do sistema.
Fonte: http://www.khm.de/mk/seminar/export/re-active/re_0405/videoplace_2.jpg

Em 1987 a empresa VPL Research Inc., colocou no comércio produtos de RV, como a luva *Data Glove* (Figuras 11) e, logo seguida, o capacete intitulado *Eye Phones* (Figura 12). Este capacete é munido de duas pequenas telas de cristal líquido. Ele foi pela primeira vez utilizado pelo artista Jaron Lanier ⁷. Daí em diante o rápido crescimento das aplicações provoca uma explosão na procura de componentes e produtos de Realidade Virtual. (BRAGA, 2007).

⁷ Lanier recebeu o título de Doutor Honoris Causa do New Jersey Institute of Technology in 2006. Ele recebeu o prêmio Watson do CMU em 2001, e foi um finalista para o primeiro Edge of Computation Award em 2005. Ele recebeu muitos outros prêmios, como o primeiro Virtual Reality Industry Award para Applications como o cliente da VPL, Matsushita em 1992.

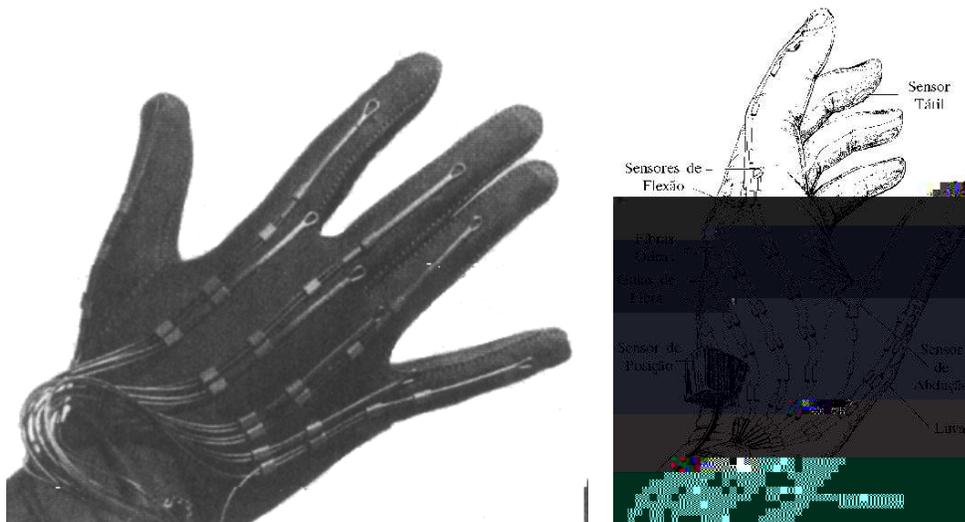


Figura 11. *DataGlove* da VPL Research.

Fonte: http://vresources.org/articles/vre_articles/rapporta/VPLDataglove.gif

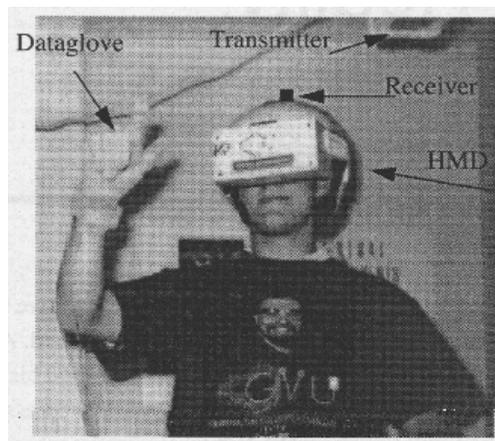


Figura 12. *Eyephones* da VPL Research.

Fonte: <http://www.grographics.com/wiki/index.php/DmVirtualReality>

Uma outra figura importante nessa linha do tempo é Mark Weiser. A RA tem conexões claras com sua pesquisa: a Computação Ubíqua (*Ubiquitous Computer*). Mark Weiser tinha a intenção de expressar com o termo Computação Ubíqua, exatamente o oposto de RV: o foco não está no desaparecimento da consciência. Sua pesquisa tentava conceber um novo pensamento sobre computadores: levar em conta o ambiente natural do homem, paredes, ruas, grama, árvores, encontros – destacar a riqueza infinita do universo e deixar o computador desaparecer no pano de fundo. A intenção era libertar o computador da mesa de trabalho e colocá-lo nos objetos e no espaço cotidiano. o nos objeno.

Esse conceito esbarra nas idéias e possibilidades da Realidade Aumentada, que pode ser usada como um método tridimensional de interface tangível⁸ com computadores.

Outra área da computação que vêm crescendo substancialmente é a Computação Móvel, pesquisa essencial para a aplicação das idéias de Weiser. Um dos seus maiores pesquisadores é Steve Mann. Com dispositivos diminuindo o tamanho e opções como rede sem fio, um usuário não está mais limitado a estar sentado em sua mesa. *Wearable Computer* (Computador-Vestimenta) é a próxima geração de computador móvel e pode ser definido como um computador inserido no espaço do usuário, controlado por quem o está vestindo com todas as funções operacionais e interativas acontecendo. Está sempre ligado e sempre acessível. Um típico Computador-Vestimenta (Figura 13) pode ser composto por um processador e uma bateria colocados num cinto ou numa mochila, um capacete ou óculos (monitor e alto-falante), hardware de comunicação sem fio e um dispositivo de entrada de voz, por exemplo.



Figura 13. Duas interfaces de Computador-Vestimenta
Fonte: <http://igargoyle.com/archives/eyetrackerwearable.jpg>

⁸ Um novo estilo de interação que vem sendo estudado por pesquisadores do mundo inteiro é a interação tangível. Para Elise van den Hoven, Joep Frens, Dima Aliakseyeu, Jean-Bernard Martens, Kees Overbeek e Peter Peters, autores do artigo *Design research and tangible interaction*, esse estilo é uma evolução da manipulação direta ao permitir o controle direto de objetos digitais através de dispositivos físicos.

As TUIs (*Tangible User Interfaces*) estão em crescente aceitação como um paradigma alternativo para a mais convencional Interface Gráfica de Usuário (GUI). As TUIs oferecem uma habilidade ao interagir com objetos físicos tangíveis e ajudam a combinar benefícios físicos e modelos digitais em uma única representação, segundo Faragó, 2007.

Com todas essas tecnologias em desenvolvimento, em breve, o usuário dos sistemas de Realidade Aumentada colocará um óculos áudio-visual, sensores de posição e orientação unido a interfaces tangíveis e sairá de sua casa, inserindo o virtual no mundo cotidiano que ele habita.

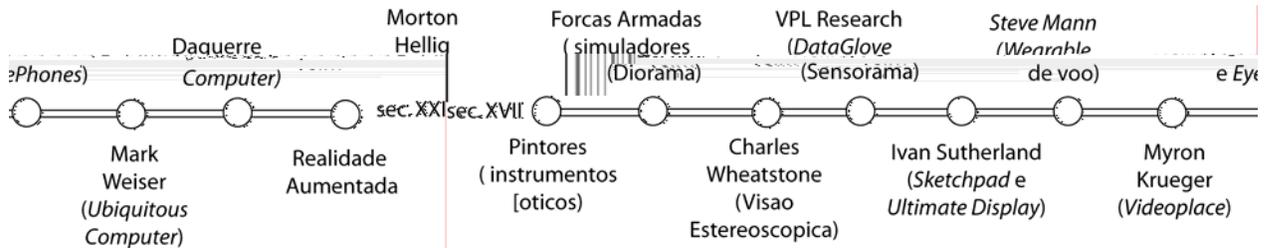


Figura 14. Ilustração da cronologia abordada nessa seção.
 Fonte: Gráfico Rodrigo Amim

2.2. A Realidade Aumentada

Foram encontradas várias definições para Realidade Aumentada (RA). Como síntese das idéias pesquisadas, aqui consideraremos como a área da Realidade Mista (RM) que lida com a adição de elementos virtuais (gerados por computador) ao ambiente real (relativo ao mundo físico, no qual os usuários do sistema vivem) em tempo real, num mesmo meio (Figura 15).

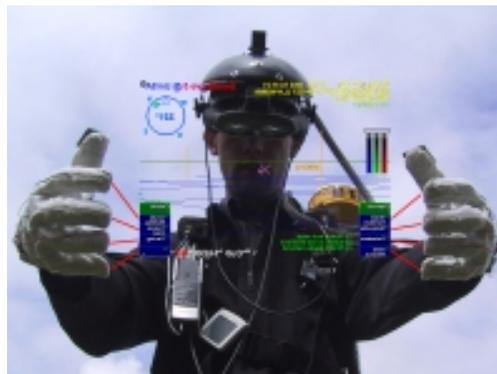


Figura 15. Montagem: imagem virtual subjetiva e usuário no ambiente real.
 Fonte: <http://www.tinmith.net/>

O objetivo da RA é aumentar a percepção do usuário sobre o mundo real e também ajudar às pessoas a obter informações invisíveis do entorno. RA traz o mundo virtual

dos computadores para o ambiente físico das atividades diárias humanas. Isso inclui aspectos da comunicação natural que servem de mediadores de entendimento mútuo: contato dos olhos, linguagem corporal e manuseio de objetos físicos. Permite aos usuários continuarem a usar objetos ordinários do cotidiano e depois realçar ou aumentar eles com funcionalidades vindas do computador.

A RA é um sistema incipiente, mas está sendo cada vez mais pesquisado e desenvolvido em universidades e em empresas de alta tecnologia. Idéias e implementações de dispositivos e técnicas de interação, ferramentas de autoria e técnicas de apresentação para aplicações de RA estão começando a surgir. Algumas delas derivam de outras áreas como RV, multimídia ou narrativas digitais. Outras são novas e mais adaptadas aos domínios da RA.

Podemos destacar três características principais dos sistemas de RA (AZUMA 1997):

- Combinação do real e do virtual: o ambiente real como cenário. Cenas ou objetos virtuais aumentando sua aparência.
- Interações em tempo real: ações e reações imediatas
- Registros tridimensionais: perfeita combinação do físico com o sintético.

Adiante iremos desenvolver mais essas características.

2.3. Realidade Aumentada X Realidade Virtual

Não existe uma definição universalmente aceita do que é RV (Figuras 16 e 17). Porém, pelo menos três pontos chaves na definição de RV dada por (AUKSTAKALUIS E BLATNER, 1992): “Um ambiente computacional, interativo, tridimensional, onde a pessoa está imersa.”

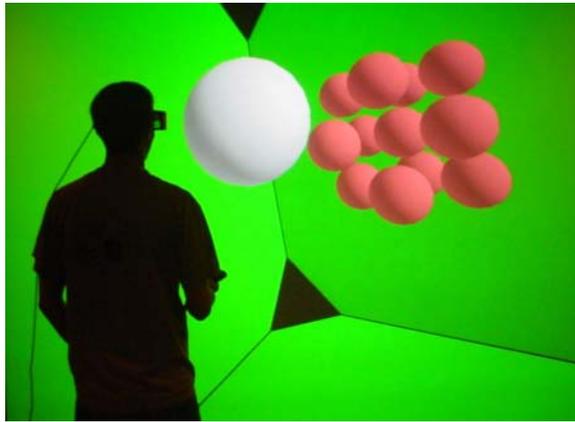


Figura 16. Usuário interagindo com ambiente sintético em uma CAVE.
Fonte: http://www.cs.siue.edu/facilities/pictures/virtual_reality_lab_2.jpg



Figura 17. Usuário imerso em um ambiente de RV. Exterior completamente ocluso.
Fonte: http://www.wam.umd.edu/~esimons1/pictures/virtual_reality.jpg

Primeiro ponto: Esse ambiente virtual é uma cena tridimensional gerada por computador, que requer alta performance dependendo do nível de realismo.

Segundo ponto: O mundo virtual é interativo. O usuário requer respostas em tempo real do sistema para poder interagir de uma maneira efetiva.

Terceiro ponto: O usuário está imerso. Uma das maiores marcas dos sistemas de RV é o Videocapacete. Esses *displays* (dispositivos de exibição) bloqueiam todo o mundo externo e apresentam, para quem o veste, uma visão completamente controlada pelo computador. Ele está totalmente imerso num mundo artificial e fica separado do ambiente real. Para que essa imersão pareça realística o sistema de RV deve rastrear o

movimento do usuário e determinar qual efeito esse movimento terá na cena que está sendo processada e exibida no videocapacete.

Para isso, estímulos gerados pela tecnologia são enviados ao corpo que está imerso. Isso não quer dizer necessariamente que todo o corpo está imerso, ou que todos os sentidos são estimulados.(RAPOSO, SZENBERG, GATTASS E CELES 2004)

Imersão envolve a sensação de estar em um outro ambiente ou estar vendo o mundo sob outro ponto de vista. Não está necessariamente vinculada à RV, pois podemos falar em “imersão mental”, quando nos sentimos dentro de uma história narrada por um livro ou por um filme no cinema. A RV envolve a “imersão física”, que é o sentimento de estar com o corpo dentro desse outro ambiente.

Essa discussão acima aponta as similaridades e as diferenças entre RV e RA. Uma diferença bastante visível desses sistemas é a imersividade. Em contraste com RV tradicional, em RA, o ambiente real não é completamente suprimido; ao contrário. Ao invés de imergir a pessoa num ambiente completamente sintético, a RA adiciona suplementos sintéticos no ambiente real ou no vídeo ao vivo do ambiente real. Enquanto a Realidade Virtual busca levar o usuário a se sentir completamente inserido em um outro ambiente, a Realidade Aumentada procura levar a agilidade digital a realçar aspectos do mundo real.

Em RA, para que o aumento no ambiente real seja eficiente, os objetos virtuais gerados no computador devem ser precisamente posicionados junto com todas as dimensões do mundo real – denominamos isso de Registro. Erros nesses registros podem atrapalhar na visão combinada depois. O registro correto deve ser mantido enquanto o usuário se movimenta no mundo real. Discrepâncias ou mudanças nessa aparência irão distrair o usuário, o que torna a RA mais complexa e pode tornar o sistema inútil.

Um sistema de Realidade Virtual deve manter o registro de tal modo que as mudanças na cena processada casem com as percepções do usuário. Quaisquer erros aqui são conflitos entre o sistema visual e o sistema cinético. Por outro lado, erros na falta de registro no sistema de RA estão entre dois estímulos visuais que estão tentando fundir-

se para tornar a cena única. Estamos mais sensíveis a esses erros (AZUMA1993; AZUMA 1995).

Ao contrário, do ambiente sintético trabalhado na RV, o mundo da RA, real, deve ser confinado às leis físicas. Ao invés de olhar os dois conceitos simplesmente como antíteses, é mais conveniente vê-los como limites opostos de um continuum. Milgram (MILGRAM E KISHINO, 1994) descreve uma taxonomia que identifica como RA e RV estão relacionadas. Ele define *Reality -Virtuality Continuum* como na figura abaixo:

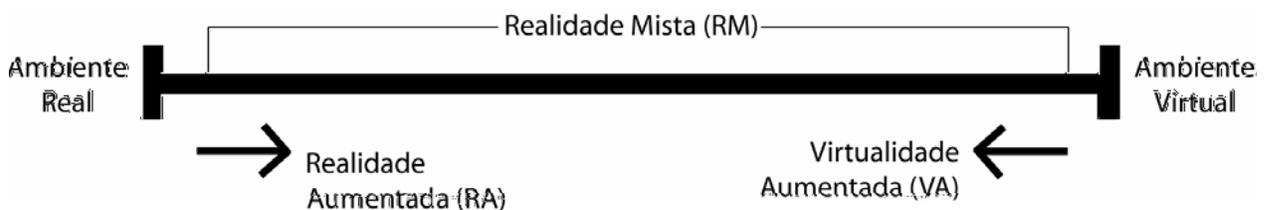


Figura 18 – Continuum Realidade-Virtualidade de Milgram

Fonte: MILGRAM *et al.* "Augmented Reality: A class of displays on the reality –virtuality continuum." in SPIE Vol. 2351, *Telem manipulator and Telepresence Technologies*, 1994.
(c) Copyright, p. 1, 1994.

O Mundo real e um ambiente totalmente virtual (RV) estão nas extremidades desse continuum, junto com a região central chamada Realidade Misturada (*Mixed Reality*). RA encontra-se perto do Mundo Real da linha, com a percepção dominante sendo o mundo real aumentado por dados gerados pelo computador. Virtualidade Aumentada é um termo criado por Milgram para identificar sistemas que são mais sintéticos com algumas imagens reais adicionadas, como por exemplo, vídeo texturas (mapeamento) sobre objetos virtuais (isso é uma distinção que tende a desaparecer com a melhora da tecnologia e quando os elementos virtuais na cena se tornarem difíceis de serem distinguidos dos reais).

Além disso, Milgram define uma taxonomia para dispositivos de exibição de Realidade Misturada. Os três eixos que ele sugere para categorizar esses sistemas são: Fidelidade de Reprodução, Extensão da Metáfora de Presença e Extensão de Conhecimento do Mundo.

1) Fidelidade de Reprodução: está relacionada à qualidade das imagens geradas pelo computador, variando desde um simples *wireframe* (imagem 3D composta apenas por linhas) aproximado até *renderings* (processamento de imagens) completos, foto-realísticos. A limitação de tempo real nos sistemas de RA os força a estar na faixa baixa da Fidelidade de Reprodução. Os hardwares gráficos atuais estão se desenvolvendo muito rápido para suprir essa necessidade de produzir processamentos foto realísticos da cena virtual , enquanto isso o que mais influencia é que os modelos sejam otimizados para processar em tempo real. Os modelos devem ser capazes de calcular o nível de detalhe que eles devem carregar de acordo com a visão do usuário. Por exemplo, se estivermos fazendo um modelo de um navio que tenha até os parafusos, vão chegar certos momentos que não precisaremos ver tal detalhe e o modelo não pode perder tempo em calculá-lo. Outro exemplo, um vídeo cassete que está na minha sala, num jogo ou cenário em tempo real, deve ser um paralelepípedo com a textura aplicada. Caso esse vídeo cassete seja uma peça de um projeto de engenharia, aí sim, deve ter os detalhes todos modelados: parafusos, botões em 3d, etc. Um último exemplo que podemos citar: um *palm top* não consegue processar gráficos complexos, mas eu posso ligá-lo a um computador de alto desempenho (*cluster*) e ele funciona como *webcam*, capturando a imagem do ambiente real, que vai pro *cluster* e depois, também usado como *browser* (navegador) da imagem pós processada, com o real e virtual combinados. Assim, apesar do desenvolvimento dos hardwares gráficos não ter chegado a performances ideais, em termos de processamento de imagens foto-realísticas em tempo real, a otimização dos modelos torna possível sua realização.

Milgram também coloca os sistemas de RA na faixa baixa da:

2) Extensão da Metáfora de Presença: que mede o nível de imersão do usuário na cena exibida. Essa categoria está intimamente ligada à tecnologia de exibição (monitores) usada no sistema. Existem várias classes desses dispositivos usados em sistemas de Realidade Aumentada, que discutiremos mais a frente. Elas oferecem diferentes níveis de imersão.

A terceira e última dimensão:

3) Extensão do Conhecimento do Mundo: RA não significa apenas a sobreposição de um objeto gráfico a uma cena real. Tecnicamente isso é uma tarefa fácil. Uma dificuldade em RA é a necessidade de manter o registro preciso dos objetos reais com a imagem do mundo real, como mencionado anteriormente. Normalmente isso requer um conhecimento detalhado da relação entre os quadros de referência do mundo real, a visão da câmera e a do usuário.

2.4. Um Sistema de Realidade Aumentada

Nessa seção serão apresentados os componentes que fazem parte de um típico sistema de RA. Apesar dos diversos usos, os sistemas têm subcomponentes em comum. Essa discussão irá destacar como a RA é uma área onde várias tecnologias se misturam para formar um sistema único. Junta os campos de Visão Computacional, Computação Gráfica e Interfaces de Usuários.

2.4.1. Sistema de Realidade Aumentada Típico

Voltaremos a falar de algumas informações para facilitar a apreensão do assunto, um sistema padrão de Realidade Virtual procura imergir completamente o usuário num ambiente gerado por computador. Esse ambiente é mantido pelo sistema num quadro de referência registrado com o sistema gráfico do computador que cria a imagem do mundo virtual. Para essa imersão ser eficiente, o quadro de referência mantido, centrado pelo corpo e pelo cérebro do usuário tem que estar registrado com a referência do mundo virtual. Isso significa que movimentos e mudanças feitas pelo usuário irão detonar mudanças apropriadas na percepção do mundo virtual. Em RV, como o usuário está olhando para um mundo inteiramente sintético, não há quaisquer conexões naturais entre esses dois quadros de referência (AZUMA, 1993). Em RA, a questão é registrar o quadro virtual de referencia com o quadro que o usuário está vendo - o mundo real. Esse registro é mais crítico porque somos mais sensíveis a desalinhamentos do que a erros ótico – cinéticos (que costumam resultar de um

sistema de RV padrão). A figura abaixo mostra os vários quadros de referencia que devem ser relacionados com um sistema de RA:

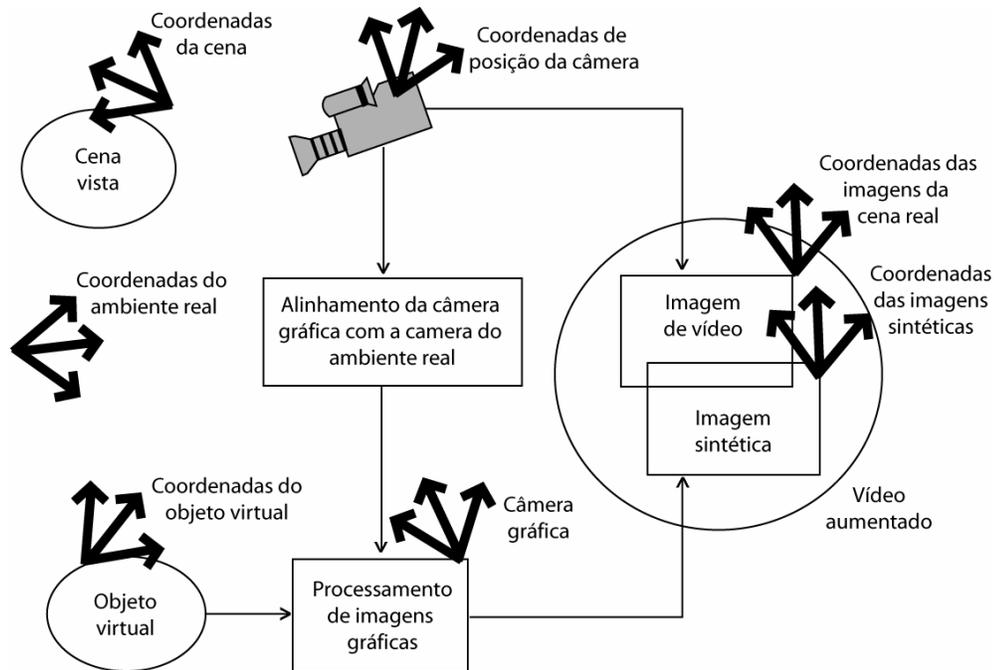


Figura 37 – Componentes de um Sistema de Realidade Aumentada.
 Fonte: <http://www.se.rit.edu/%7Ejrv/research/ar/introduction.html#Section1.3.1>

A cena é vista por um aparato visual, que nesse caso, é uma câmera de vídeo. A câmera executa uma projeção perspectivada do mundo tridimensional para uma imagem bidimensional plana. Os parâmetros intrínsecos (distância focal e distorção da lente) e os extrínsecos (posição e enquadramento) do aparelho, determinam exatamente o que é projetado nessa imagem plana. A geração da imagem virtual é feita com um sistema padrão de computação gráfica. Os objetos virtuais são modelados num quadro de referencia do objeto. O sistema gráfico requer informações sobre a imagem da cena real para que possa processar corretamente esses objetos. Esses dados irão controlar a câmera sintética que é usada para gerar a imagem dos objetos virtuais. Depois essa imagem é mesclada com a imagem da cena real, formando a imagem de Realidade Aumentada.

As atividades de pesquisa em RA se concentram em dois aspectos para solucionar os problemas dos sistemas:

- Desenvolvimento de métodos para registrar esses dois diferentes tipos de imagem e mantê-los sincronizados em tempo real;
- nas tecnologias de exibição, para mixar as duas imagens (real e virtual).

2.4.2. Questões de performance em um Sistema de Realidade Aumentada

A expectativa para os sistemas de RA é que rodem em tempo real para que o usuário seja capaz de se mover livremente com a cena e ver as imagens aumentadas, processadas corretamente. Isso exige dois critérios de performance do sistema:

- taxa de atualização para gerar a imagem aumentada;
- precisão do registro do mundo real e do mundo virtual

Visualmente, a manifestação do tempo real é o usuário vendo uma imagem cujas partes virtuais são processadas sem pulos visíveis. Para aparecer sem nenhum pulo, uma regra prática padrão é que o sistema gráfico tem que ser capaz de processar a cena virtual, no mínimo, dez vezes por segundo. Isso é fácil considerando as performances dos sistemas gráficos pra cenas com imagens simples ou moderadas. Para os objetos virtuais parecerem realmente parte da cena, são necessários gráficos mais foto - realísticos. As tecnologias gráficas ainda não suportam isso totalmente: complexas cenas com sombras, textura e iluminação, processadas em tempo real. Mas existem muitas aplicações de RA, onde o foto - realismo não é necessário e como já foi dito, modelos otimizados podem ajudar bastante também.

Falhas no segundo critério de performance – o registro - têm duas possíveis causas. Uma delas é a falta de registros da cena real e da virtual por conta de ruídos no sistema. A posição e o enquadramento da câmera com relação à cena real, tem que ser precisos. Quaisquer ruídos nessa medida têm o potencial de serem exibidos como erros no registro da imagem virtual com a imagem real da cena. Flutuações de valores enquanto o sistema está rodando causarão tremidas na imagem vista. Nosso sistema

ótico é muito sensível a erros visuais e nesse caso teríamos a sensação que o objeto virtual não está posicionado estaticamente na cena real ou incorretamente posicionado. Erros de registro de até mesmo de um *pixel* (é o menor ponto que forma uma imagem digital) podem ser detectados dentro das condições corretas. A segunda causa dos problemas de registro são os atrasos de tempo (*delays*) do sistema. Como sabemos, um ciclo mínimo de 0.1 segundos é necessário para uma performance aceitável em tempo real. Se houverem atrasos nos cálculos da posição da câmera ou do correto alinhamento das câmeras gráficas, os objetos aumentados tenderão a ficar para trás dos movimentos da cena real. A arquitetura do sistema deverá minimizar os atrasos para manter as discrepâncias relacionadas com os requerimentos da performance em tempo real.

2.4.3. Tecnologias de Exibição

A combinação de imagens reais e virtuais numa única imagem apresenta novos desafios técnicos para os projetistas de sistemas de RA. Como fazer a combinação dessas duas imagens?

Dispositivos de exibição (*displays*) são sistemas de formação de imagem que usam um jogo de componentes óticos, eletrônicos e mecânicos para gerar imagens em algum lugar no espectro ótico entre o olho do observador e o objeto físico que será aumentado. A seguir, tipos de dispositivos de RA, segundo BIMBER E RASKAR, 2006:

2.4.3.1. ANEXADOS À CABEÇA, existem 3 principais tipos :

Monitores retinianos, que usam laser de baixa - frequência para projetar imagens diretamente na retina do olho;



Figura 38. Monitor Retiniano fabricado pela MICROVISION
Fonte: http://www.cv.tu-berlin.de/forschung/AR/medizin_AR.phtml

HMDs (Video-capacetes e Óculos translúcidos), que usam monitores minúsculos em frente ao olho;

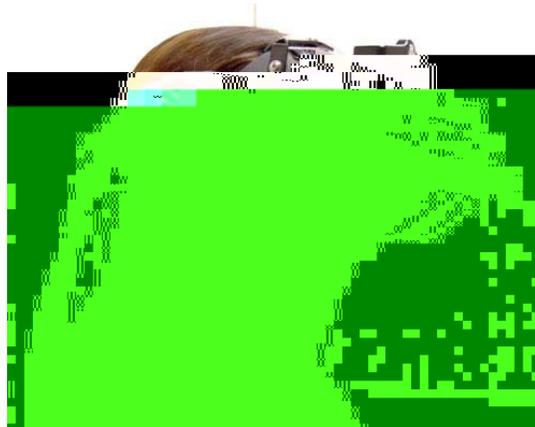


Figura 39. Videocapacete
Fonte: <http://www.jvrb.org/articles/34>

HMPs (*Head Mounted Projectors*), que usam projetores minúsculos ou mini painéis de LCD (*Liquid Crystal Display*) com *backlight* e projetam imagens nas superfícies do ambiente real.



Figura 40. Projeção anexada à cabeça

Fonte: <http://static.howstuffworks.com/gif/invisibility-cloak-hmp.jpg>

VANTAGENS: suportam RA móvel e multiusuário;

DESVANTAGENS: baixa resolução nos monitores; campo de visão limitado, foco fixo, dispositivos pesados e desconfortáveis; problemas na profundidade de campo;

2.4.3.2. PORTÁTEIS:

Exemplos convencionais seriam *Tablets PCs* (Figura 41), *Palm Tops* (Figura 42) e telefones celulares (Figura 43). Todos esses exemplos combinam processador, memória, monitor e tecnologia de interação num único aparelho. Além disso, suportam uma tecnologia móvel sem fio e confortável. A tecnologia de vídeo é a mais usada nesse caso, câmeras de vídeo integradas ao aparelho, capturam cenas ao vivo do ambiente e são aumentadas por gráficos sintetizados e depois exibidas no monitor.



Figura 41. Tablet PC

Fonte: <http://www.tabletpreview.com/assets/1823.jpg>

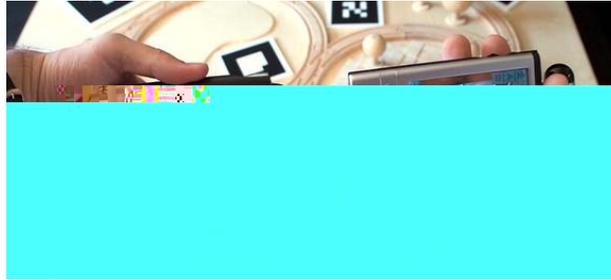


Figura 42. *Invisible_train_teaser* 2004
Fonte Studierstube <http://www.studierstube.org>

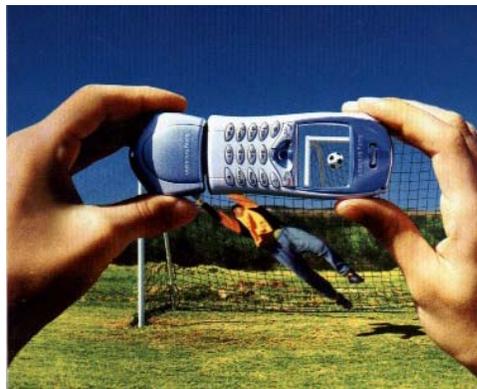


Figura 43. Telefone celular com camera, da SONY
Fonte: <http://www.noticianainternet.blogger.com.br/celularfotografo.jpg>

VANTAGENS: suportam RA móvel, atualmente possui grande potencial para o consumo de massa;

DESVANTAGENS: atrasos de tempo e taxas de velocidade deficientes (a análise da imagem e o render são dependentes de processador e memória); campo de visão limitado pela área do monitor; imagens de baixa resolução de vídeo;

2.4.3.3. ESPACIAIS:

Monitor Based See Trough (Vista através de vídeo e baseada em monitor), também denominada “janela no mundo”. Esses sistemas fazem uso de mixagem de vídeo e exibem a imagem combinada num monitor regular.

Figura 44. *Invisible_train_teaser* 2004
Fonte Studierstube <http://www.studierstube.org>

Optical See Through (Vista através óticamente), gera imagens alinhadas ao ambiente físico. Combinadores espaciais óticos como espelhos emissores, telas transparentes ou hologramas óticos são componentes essenciais desses dispositivos.



Figura 45. Interface invisível de Ogi
Fonte: Bimber, Oliver e Raskar, Ramesh, 2005. **Spatial Augmented Reality – Merging Real and Virtual Worlds**. A K Peters Ltd.

Baseados em projeção, usam projeção frontal para sobrepor imagens diretamente nas superfícies objetos físicos. Para melhorar a área de projeção e a qualidade da imagem, podem ser utilizados mais de um projetor ou projetores móveis.

Figura 46. Baseado em projeção
Fonte: <http://virtual01.lncc.br/~rodrigo/links/AR/node11.html>

VANTAGENS: não suportam RA móvel; atualmente proporcionam imagens de mais qualidade e com maior grau de realismo do que as outras categorias (mais fácil de registrar locais fixos e como não são para vestir, não esbarram em problemas ergonômicos); campo de visão grande; melhora na questão do foco;

DESVANTAGENS: oclusão da imagem, restrições na área de projeção;

Capacetes de visualização (HMD) são as tecnologias dominantes em RA hoje. A razão dessa dominância deve-se ao longo tempo em que eles foram a única possibilidade para suportar aplicações de RA. O desenvolvimento das capacidades tecnológicas de telefones celulares e palm tops, entretanto limpam o caminho para plataformas de exibição mais promissoras, num futuro próximo. Além disso, algumas aplicações de RA não necessitam mobilidade. Nesses casos, Configurações de exibição espaciais são mais eficientes.

2.4.3.4. Um pouco mais sobre as Tecnologias de Exibição:

Em uma extremidade do espectro está a visão baseada em monitor, da cena aumentada. Referida antes como “janela no mundo” (FAINER MAEINTYRE, 1993) ou “Realidade Virtual Aquário” (WARE, ARYTHUR, 1993). O usuário tem pouca sensação de estar imerso no ambiente criado por essa interface. Essa tecnologia, diagramada na figura 47, é a mais simples disponível.

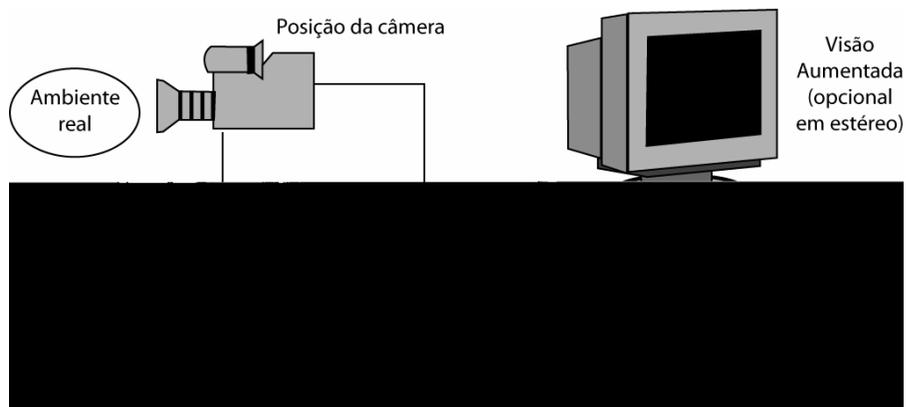


Figura 47 – Realidade Aumentada Baseada em Monitor
 Fonte: <http://www.se.rit.edu/%7Ejrv/research/ar/introduction.html#Section1.3.1>

Para melhorar a sensação de presença, outras interfaces são utilizadas. Capacetes de Visualização têm origem no seu vasto uso em sistemas de RV. Pesquisadores de RA têm trabalhado com dois tipos:

- Videocapacete (*Video See-Through*)
- Óculos Translúcidos (*Optical See-Trough*)

O termo “*See-Trough*” vem da necessidade do usuário ver o mundo real que está imediatamente à sua frente, mesmo quando está vestindo capacete ou óculos. O videocapacete padrão usado em RV isola o usuário completamente do ambiente externo à sua volta. Como ele isola, é preciso usar câmeras de vídeo, alinhadas ao visor para obter a visão do mundo real em RA. Na figura 48, mostramos um diagrama de um sistema de Videocapacete. A arquitetura é a mesma do sistema baseado em monitor, só que agora a sensação de imersão é maior.

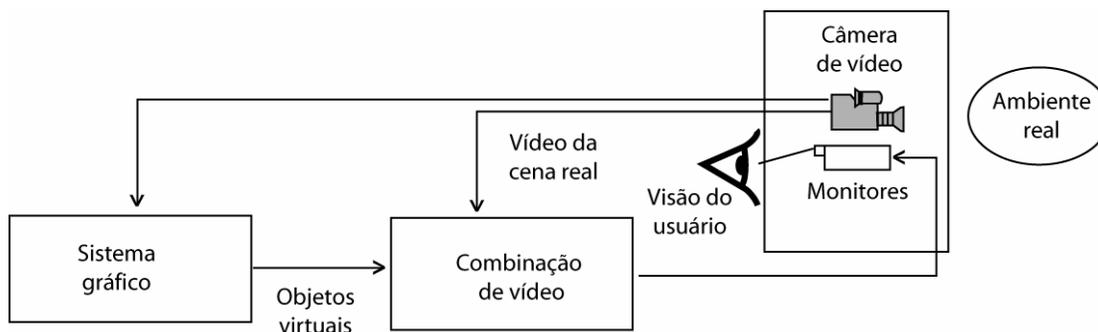


Figura 48 - Realidade Aumentada Video See-through
 Fonte: <http://www.se.rit.edu/%7Ejrv/research/ar/introduction.html#Section1.3.1>

Os óculos translúcidos (MANHART, MALCOLM, 1993) eliminam o canal de vídeo que está olhando a cena real. Ao invés disso, a mixagem do mundo real com o aumento virtual é feita opticamente, em frente ao usuário. Nesse caso, a mistura das duas imagens é feita no visor do capacete (Figura 49).

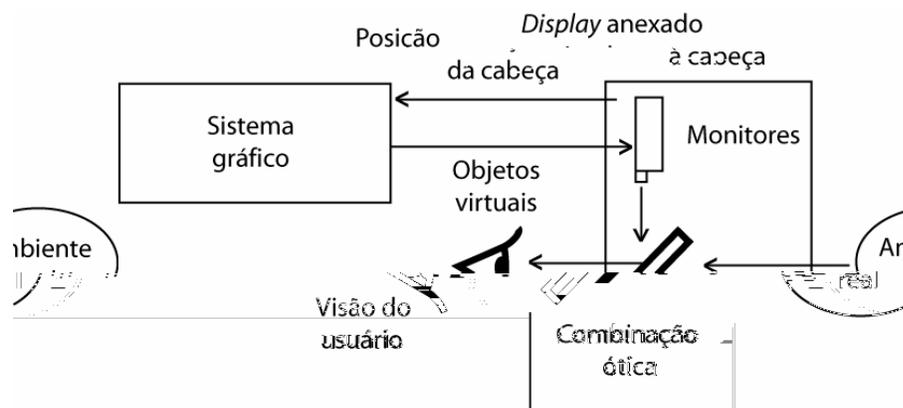


Figura 49. Realidade Aumentada *Optical See-through*.

Fonte: <http://www.se.rit.edu/%7Ejrv/research/ar/introduction.html#Section1.3.1>

Como observado, existem vantagens e desvantagens em cada um desses tipos de dispositivos de exibição, que são discutidas com mais profundidade por Azuma (AZUMA, 1995). Algumas questões de performance foram destacadas aqui antes. Uma outra questão: com ambos os dispositivos que usam a câmera de vídeo para transmitir o mundo real há um atraso forçado de mais de um quadro por segundo para fazer a mixagem do vídeo. Como tudo que o usuário vê está sob o controle do sistema, a compensação para esse atraso poderia ser feita ajustando o tempo correto dos outros caminhos (*paths*) no sistema. Outra alternativa seria se os caminhos fossem mais lentos que o vídeo da cena real. Nos dispositivos com câmera, ela que “enxerga” a cena real, sendo a vantagem disso que a imagem gerada pela câmera está disponível para que o sistema forneça informação de rastreamento (*tracking*). Com óculos translúcido a visão do mundo real é instantânea, então não é possível compensar atrasos de vídeos em outras áreas. Não há informação adicional. A única informação disponível para esse display é o que pode ser fornecido por sensores de posição no próprio capacete.

Por exemplo, num capacete, com uma câmera e um visor (videocapacete), vira-se a cabeça para um lado e para o outro e o registro é feito com duas imagens virtuais (a de vídeo e a gerada pelo computador). É possível que os ângulos da cabeça e aquele que o vídeo mostra não coincidam. Já com os óculos translúcido, não há como isso acontecer. Vê-se a cena real e girando a cabeça, o gráfico virtual deve acompanhar, se estiver precisamente registrado, esse movimento e o ambiente real, sendo essa operação mais complexa para o sistema, já que a referência é direta.

2.4.4. Requerimento de Traçadores de Posição

A tarefa que consiste em posicionar os objetos virtuais corretamente em relação ao ambiente real é chamada de Registro. Para que a mesma possa ser realizada, torna-se necessário o uso de sensores que percebem as características do mundo e com base nesses dados determinem quando e como a cena deve ser apresentada. São utilizados para tais fins sensores de temperatura, ultra-som, magnéticos, de movimento, sensores de vídeo, entre outros. A figura 50 mostra um sistema *outdoor* (para ambientes externos) que utiliza um *Global Positioning System* (GPS) como sensor. Enquanto o usuário anda pela rua vestindo um Videocapacete, sobrepostas a sua visão estão os cenários e personagens de um jogo (Quake).



Figura 50. Usuário o AR Quake

Fonte: http://ludologia.blogs.ca.ua.pt/files/2006/08/ar_quake.jpg

Os problemas de rastreamento e registro são os desafios fundamentais nas pesquisas de RA hoje. Atualmente existem diversas maneiras de um computador mapear o espaço a sua volta, podendo variar desde um sofisticado sistema de captura até um simples desenho geométrico no chão (CUNHA & FERNANDES 2006).

Traçar posição no espaço é uma ponte importante entre os ambientes físico e virtual. Muitas tecnologias para traçar posição foram desenvolvidas, incluindo magnética, mecânica, acústica, ótica. Apesar disso, traçadores óticos são os mais usados e os mais precisos ainda hoje. A maior desvantagem deles é a oclusão, que só pode ser contornada com o uso de várias câmeras, levando para outra desvantagem: o alto custo do hardware. Outro problema é que para rastrear bem, o campo de visão das câmeras deve estar livre de reflexos e brilhos, limitando assim, o tipo de ambiente onde esse traçador pode ser usado.

Marcadores Fiduciais, são marcadores óticos que têm por função identificar a imagem rastreada pela câmera. Os marcadores fiduciais são elementos - chave na identificação do espaço para o processo de integração do real com o virtual.

Esses marcadores podem ser impressos muito facilmente, e seu reconhecimento é imediato. Basta que uma câmera capture uma imagem dos marcadores fiduciais, que possuem uma forma geométrica fixa (Figuras 51 e 52) e um identificador único.



Figura 51. Marcadores fiduciais
Fonte: http://www.hmcinteractive.co.uk/images/p23_02.jpg

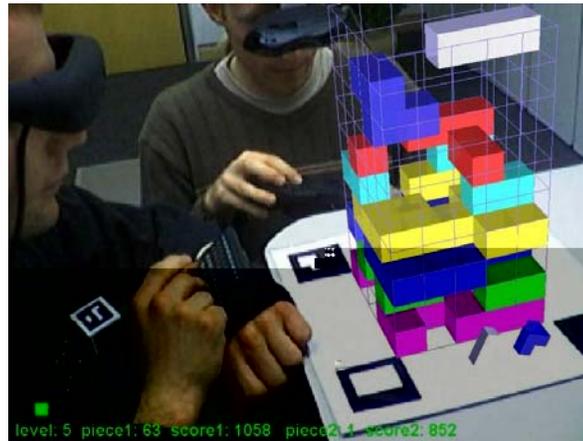


Figura 52. Marcadores fiduciais
Fonte: http://www.hmcinteractive.co.uk/images/p23_02.jpg

Os marcadores fiduciais são marcações passivas (não necessitam de fonte de energia) e são amplamente utilizados por possuírem baixo custo e mínima manutenção (SILVA, 2006). Na verdade são códigos de barras visuais identificados por uma máquina, ainda segundo SILVA. Caixas de lojas e supermercados utilizam este tipo de código de barras.

Soluções infravermelhas podem proporcionar uma precisão alta e uma velocidade de rastreamento rápida, traçadores de posição baseados em marcadores fiduciais, usando câmeras convencionais, representam uma opção de baixo custo.

Esta forma de marcadores possui a vantagem de ser invisível ao olho humano e conseqüentemente não “sujar visualmente” a superfície da parede onde está o quadro. (Figura 53). (BRAGA, 2007)

Figura 53. Visualização de objetos em museu de Tóquio
Fonte: <http://www.um.u-tokio.ac.jp/dm2k>

O marcador é formado por uma lâmina de papel iluminada com luz infravermelha e camuflado na superfície do objeto rastreado. As imagens são captadas por uma *webcam*, processadas para que pareçam com o marcador tradicional e utilizadas em uma aplicação (com uma biblioteca : ARToolKit ou JARToolKit, as quais destacaremos logo em seguida). Atualmente a maior parte dos artefatos móveis como telefones celulares e tablets já são fornecidos com leitor infravermelho.

Outros método comum para traçar posição e orientação utiliza um sensor magnético como o Polhemus Liberty (Figura 54). No entanto, traçadores magnéticos introduzem erros causados por quaisquer objetos de metal que circundem o ambiente. Isso acarreta erros na posição e na orientação que não são fáceis de compensar.

Há o rastreamento que não necessita de marcadores artificiais, chamado rastreamento sem marcadores (*markless tracking*) (Figura 55). É uma grande promessa para as futuras aplicações de RA.



Figura 51. Polhemus Liberty
Fonte: <http://www.ausim3d.com/products/trackers.html>



Figura 53. Intersense InertiaCube2
Fonte: <http://www.ausim3d.com/products/trackers.html>

ARTOOLKIT e outras bibliotecas

O ARToolKit é uma biblioteca de código aberto destinada á construção de aplicações de RA. A biblioteca faz uso de marcadores físicos que consistem em cartões de papel, com um quadrado de bordas pretas e um padrão desenhado no interior dos mesmos. Tais marcadores são denominados marcadores baseados em padrão. O ARToolKit usa uma técnica que calcula em tempo real a posição e orientação da câmera em relação aos marcadores posicionados no ambiente real. A partir dessas informações, o

desenvolvedor pode sobrepor objetos virtuais a esses marcadores, como pode ser visto na figura 56.

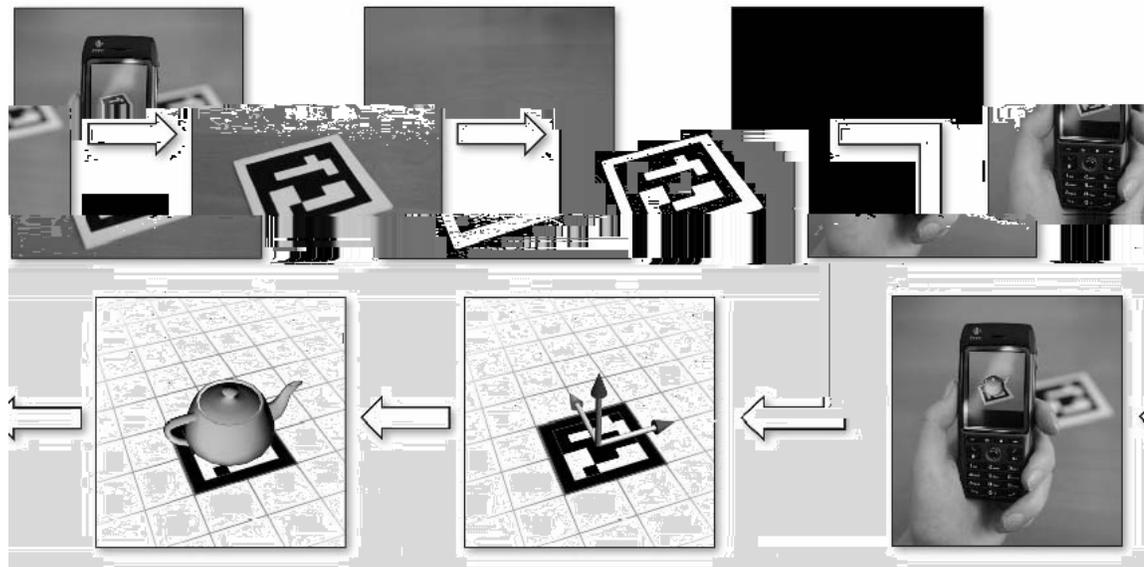


Figura 56 - Fluxograma do sistema de reconhecimento pelo sistema ARToolKit Plus.
Fonte: WAGNER&SCHALSTIEG. *ARToolKitPlus for pose tracking on mobile devices*

A utilização de câmeras baratas e marcadores simples são as principais vantagens do ARToolKit. Além do rastreamento de marcadores, o ARToolKit também provê funções para acesso à câmera e renderização gráfica. Outra característica importante da biblioteca é o suporte a uma gama de sistemas operacionais, como Windows, Linux, Mac OS e SGI IRIX. Como desvantagem, pode-se salientar que a utilização de marcadores baseados em padrão acarreta muitas vezes confusão entre marcadores semelhantes. Outra limitação está relacionada à dificuldade em se detectar marcadores que aparecem com tamanho reduzido na imagem, pois a biblioteca não consegue distinguir o padrão presente no interior do marcador. O ARToolKit é muito sensível a iluminação do ambiente onde a imagem é capturada, com muita ou pouca luz, os marcadores não são detectados pela biblioteca.

Outras bibliotecas também são usadas em RA. O jARToolkit (como alternativa para desenvolver aplicações de RA na linguagem Java), ARToolKitplus (se preocupa exclusivamente com a questão de detecção de marcadores, não oferecendo funções para captura de vídeo ou renderização de objetos), MXR Toolkit (marcadores onde há

menos problemas com a oclusão, já que se a borda interna ou externa for visível, basta para ser detectado).

Como opção para designers e outros interessados que não dominem linguagem de programação, foi desenvolvido uma implementação mais fácil, o DART (*Designers Augmented Reality Toolkit*), pelo *GVU Center (Georgia Institute of Technology)*, derivado do ARToolkit, funciona como um *Xtra* do programa Director⁹. A principal proposta do DART é avançar o Estado da Arte em RA, capacitando designers a trabalhar diretamente com RA como um novo meio para experiências.

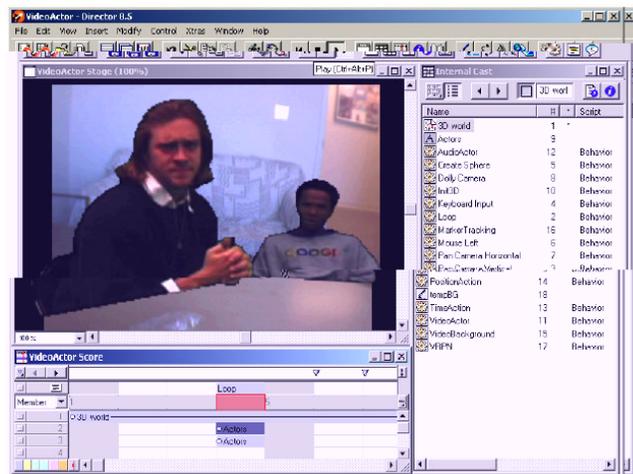


Figura 57. Foto da tela do DART sendo usado para uma aplicação de RA que utiliza “atores” baseados em vídeo.

Fonte: <http://csdl.computer.org/comp/proceedings/ismar/2003/2006/00/20060329.pdf>

2.5. Aplicações de Realidade Aumentada

Só recentemente foi possível, através da evolução do processamento de imagens de vídeo em tempo real, dos sistemas de computação gráfica e das novas tecnologias de

⁹ Plataforma voltada para o desenvolvimento de aplicativos multimídia em geral. Originalmente lançado pela Macromedia.

exibição, a projeção de imagens virtuais gráficas corretamente registradas com uma visão do ambiente tridimensional ao redor do usuário, ou seja, a ocorrência da Realidade Aumentada. Pesquisadores trabalhando com RA propuseram essa tecnologia como opção em muitos campos, variando do entretenimento ao treinamento militar. Vamos destacar algumas dessas aplicações:

Medicina

Como as tecnologias de imagem são tão presentes no campo da medicina, não é surpresa que esse seja visto como um dos mais importantes campos para a RA. A maioria das aplicações médicas servem como guias para a cirurgia. Estudos pré-operatórios do paciente ajudam o cirurgião com a visão necessária da anatomia interna, para que ele possa planejar a cirurgia (Figuras 19 e 20).

Outra aplicação para RA no domínio médico é a imagem ultrasônica. Usando um óculos translúcido, o técnico pode ver uma imagem 3D volumétrica do feto (Figura 21), sobreposta ao abdômen da mulher grávida. A imagem aparece como se estivesse dentro do abdômen e é processada corretamente com o movimento do usuário (BROOKS, 1995).



Figura 19 e 20 – RA auxiliando a medicina: cirurgias no cérebro (tumor) e de fígado
Fonte: [www. cv-tu berlin](http://www.cv-tu-berlin)

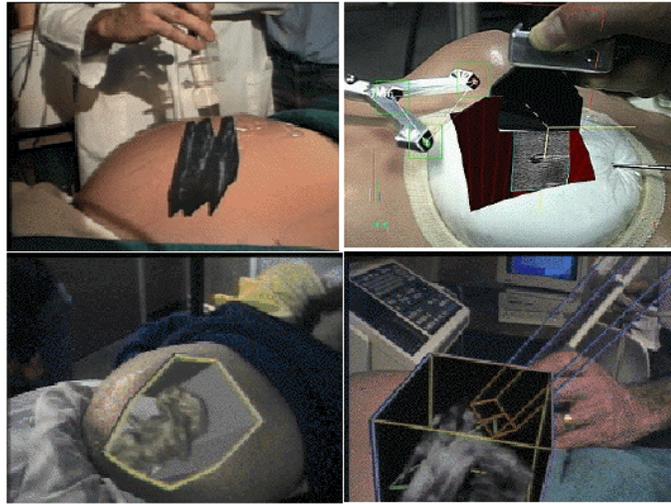


Figura 21. visualização tridimensional de um feto.
Fonte: AZUMA [http:// www.ce.unc.edu/~azuma/azuma_publications.html](http://www.ce.unc.edu/~azuma/azuma_publications.html)

Entretenimento

Uma forma simples de RA vem sendo usada no entretenimento há algum tempo. Quando você está assistindo a previsão do tempo nos noticiários a noite, o repórter está em frente a um mapa com nuvens em movimento e imagens mutantes. No estúdio ele está em frente a uma tela azul ou verde (Figura 22). Essa imagem real é aumentada com mapas gerados por computador através de uma técnica chamada “*croma-keying*” em tempo real (para os que estão presentes na gravação). Também é possível criar um cenário virtual no estúdio onde estão os apresentadores de um programa.



Figura 22 . O “homem do tempo” em frente à tela verde – *Croma-Keying*.
Fonte: site do filme “*The Weather Man*”, com Nicolas Cage - 2005

Os efeitos especiais fazem uso de composições para criar ilusões (Figuras 23 e 24). A tecnologia mais usada **não** pode ser considerada Realidade Aumentada, porque não é gerada em tempo real. A maioria dos efeitos são criados *offline*, quadro a quadro com interação do usuário e sistemas de render de computação gráfica. Mas alguns trabalhos estão progredindo na análise computacional da ação ao vivo para determinar os parâmetros da câmera e usar isso para gerar os objetos gráficos virtuais para serem mixados (ZORPETTE, 1994).



Figura 23. Quadro do filme “Uma Cilada para Roger Rabbit” – 1988. Gráficos 2D misturados à cena real.
Fonte: http://www.epilog.de/Film/F_Fk/_Bilder/Falsches_Spiel_mit_Roger_Rabbit_USA_1988__B01.jpg



Figura 24. Quadro do Filme Hulk, de Ang Lee – 2005. Gráficos 3D misturados à cena real
Fonte: <http://ffmedia.ign.com/filmforce/image/thehulk-hulk-choppers.jpg>

A Princeton Electronic Billboard desenvolveu um sistema de RA que permite às emissoras inserirem propagandas em áreas específicas da imagem transmitida. Por exemplo, enquanto se transmite um jogo de futebol, o sistema é capaz de colocar um anúncio no campo (Figura 25). É necessário calibrar o outdoor virtual ao estádio

pegando imagens dos ângulos mais usados pelas câmeras e configurações de zoom para que possa ser construído um mapa do estádio incluindo os lugares onde serão inseridos os anúncios. Usando pontos de referência pré-estabelecidos, o outdoor pode ser colocado no lugar certo e ficar estabilizado na cena, respondendo aos movimentos e ângulos das câmeras.

Figura 25. Propaganda na transmissão de um jogo de futebol.
Fonte: <http://virtual01.incc.br/~rodrigo/links/AR/figs/entertainment02.jpg>

Treinamento Militar

Têm sido usado em cabines de vôo, apresentando informações para o piloto no visor do capacete.

Uma réplica perfeita da cabine de pilotos de um avião (Figura 26) é construída: todos os instrumentos, aferidores, medidores, interruptores e manetes, para dar ao piloto em treinamento a sensação e a visão de estar comandando um avião. Imagens computadorizadas mostram o que o piloto veria se olhasse através das janelas do avião, como pistas de aterrissagem e rotas de vôo.



Figura 26. Ilustração do F/A – 18, simulador de vôo construído pela Link Simulation & Training.
Fonte: <http://www.airforce-technology.com/contractors/training/link/link3.html>

Outra aplicação: SIMNET (Figura 27) é um jogo de simulação de guerra, que também utiliza tecnologia de RA. Munidos de videocapacetes ou através de monitores, os militares podem ver atividades de outras unidades no exercício. Enquanto olha para o horizonte, por exemplo, o soldado equipado pode ver um helicóptero surgindo acima da linha de árvores. Esse helicóptero pode estar sendo “pilotado” por outro participante da simulação. Numa guerra, a cena real do campo de batalha pode ser aumentada para enfatizar unidades inimigas escondidas.



Figura 27. Dentro de um Simulador SIMNET.
Fonte: <http://www.michaelharris.net/Entertainment%20Driven%20Collaboration/EDC%2031.htm>

Engenharia

Imagine um grupo de projetistas trabalhando num complexo modelo de um aparelho eletrônico para os clientes. Os projetistas e os clientes querem fazer uma reunião para ajustar e revisar partes do projeto e eles estão separados fisicamente (Figura 28). Se ambos tem uma sala de conferência equipada com os dispositivos de RA, isso é possível. O protótipo real será exibido num modelo 3D para os clientes, que podem observá-lo de todos os lados, destacar mudanças, apontar erros interagindo com o modelo.



Figura 28. Projeto de engenharia eletrônica
Fonte: <http://www.circad.com/5510.jpg>

Robótica e Telerobótica

Nesse domínio, a RA pode ajudar o usuário do sistema. O operador de telerobótica usa uma imagem do local remoto de trabalho para guiar o robô (Figura 29 e 30). Além disso, há um benefício adicionado ao fato de teentrvá-teso.



Figura 29. O ponteiro virtual mostra o caminho que o robô deve seguir.
Fonte: <http://vered.rose.utoronto.ca/people/spike/CHI93/CHI93.full.html>

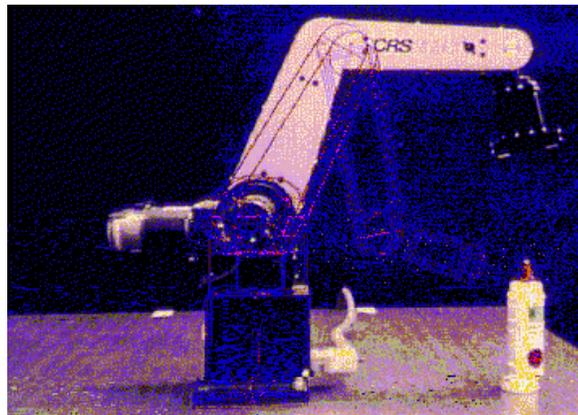


Figura 30. O operador move o robô real mexendo na “mão” virtual.
Fonte: <http://vered.rose.utoronto.ca/people/spike/CHI93/CHI93.full.html>

Fabricação, Manutenção e Reparo

Um técnico de manutenção que se depare com uma nova e desconhecida parte do equipamento, ao invés de buscar em manuais a solução necessária, pode utilizar uma interface de RA (Figura 31 e 32). A imagem do equipamento é aumentada com as anotações e as informações pertinentes ao conserto.



Figura 31. Traçadores triangulares anexados à várias partes da impressora.
Fonte: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm

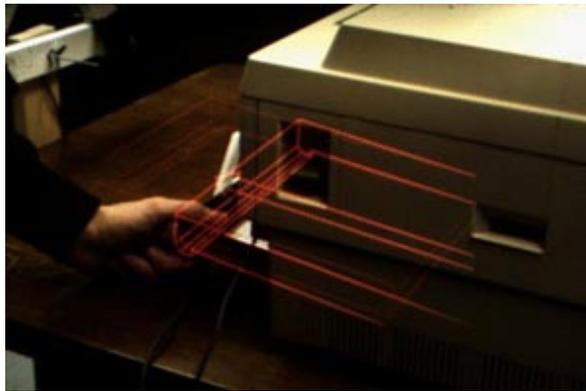


Figura 32. Mostrando como remover a gaveta de papel.
Fonte: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm

Design de Produto

É possível que num futuro breve você vá à uma loja de reforma de cozinhas e leve uma gravação de vários ângulos da sua cozinha. Em tempo real, você poderá escolher e assistir através de interfaces de RA, como ficará sua cozinha após a reforma.

Outras aplicações podem ser, por exemplo, numa loja de roupa, onde você experimenta a roupa virtual e vai ajusta esta ao seu corpo, vendo-a de todos os lados até que esteja satisfatório e pronto para ser encomendado e feito (Figura 33).



Figura 33. Depois de escanear sua aparência e suas medidas o sistema mostra as opções de roupa.
Fonte: <http://www.coollest-gadgets.com>

Música

Há vários projetos nessa área como o *Music Table*, *PUSH*, *Reactable* (Figura 34) e outros. O projeto *Reactable*, desenvolvido na Universidade Pompeu Frada (Barcelona), é um instrumento musical com interface tangível. Os marcadores podem ser geradores de som, filtros, *samplers*, metrônimos, seqüenciadores, etc. Interagindo gestualmente com eles, as configurações desses sons são modificadas. Por exemplo, se for rotacionado, o marcador quadrado, muda a frequência do som, e assim por diante. Na sua nova tournê da cantora islandesa Björk utiliza esse instrumento. Demonstrações encontram-se disponíveis nos seguintes *links*:

- <http://www.youtube.com/watch?v=MPG-LYoW27E>;
- <http://www.youtube.com/watch?v=0h-RhyopUmc>;
- http://www.youtube.com/watch?v=vm_FzLya8y4.

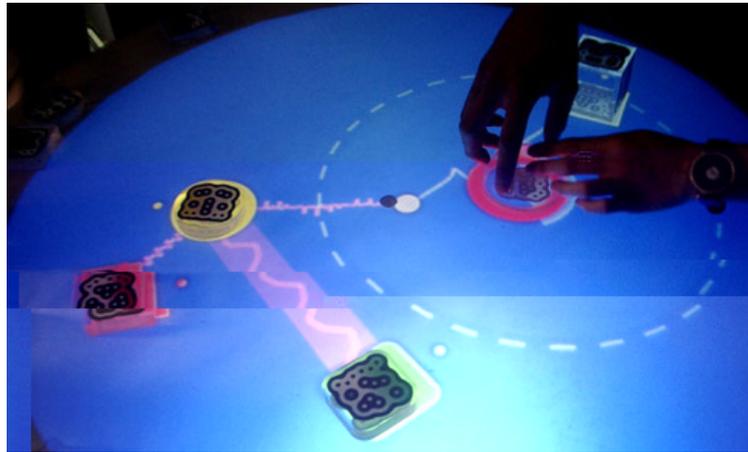


Figura 34. Reactable, projeto musical usando RA.
Fonte: <http://grrr.nl/blog/category/music/>

Arte

Há diversos exemplos de aplicações artísticas em RA. Mascarar o usuário com objetos engraçados, revelar objetos sintéticos em um livro real ou revelar pessoas na sua própria sombra. Esse último é o projeto de Lozano Hemmer, artista mexicano e chama-se *Under Scan* (Figura 35). Uma intervenção urbana onde os pedestres são rastreados por um sistema de câmeras penduradas em uma grande estrutura com luzes e projetores robóticos controlados por computador. Após rastrear o passante, o sistema projeta imagens de outros personagens no seu caminho, que são reveladas pelas suas próprias sombras. Um vídeo demonstrativo pode ser visto em: <http://www.lozano-hemmer.com/video/uscanlincoln.mov>



Figura 35. *Under Scan*, RA em Arte Urbana
Fonte: http://www.threecitiescreate.org.uk/_EMDA_Cultural_Quarters/
120

Arquitetura e Urbanismo

Como assunto principal dessa dissertação, a aplicação em tais campos é vasta e abrangente como veremos no Capítulo 4. É importante ressaltar que a Realidade Aumentada se insere como ferramenta fundamental em diversas etapas da produção nessas áreas. Pode ajudar na concepção das formas arquitetônicas, na simulação e análise de questões energética das edificações, na fabricação de componentes estruturais ou na própria construção, no canteiro de obras, por exemplo.



Figura 36. Sistema para Planejamento Urbano (ARTHUR)
Fonte: <http://www.we-make-money-not-art.com/archives/005289.php>

CAPÍTULO 3 - Arquitetura na Era Digital

“O que define o aspecto mais profundo da arquitetura contemporânea (vanguarda digital) é a habilidade de gerar a informação digital para a construção diretamente da informação do projeto, e não somente o desenho as formas complexas.”

Branco Kolarevic¹⁰

Neste capítulo abordaremos algumas mudanças sofridas pela Arquitetura após a difusão das Novas Tecnologias da Informação e da Comunicação (TIC), período o qual aqui denominamos Era Digital.

Inicialmente, traçaremos paralelos históricos da arquitetura e suas relações com a tecnologia e outras disciplinas. A seguir, apresentaremos a contribuição das TIC, no chamado *Continuum Digital* (Kolarevic, 2001), do qual falaremos mais adiante. Também mostraremos como alguns arquitetos da vanguarda digital vêm utilizando as ferramentas digitais em novos processos de criação, desenvolvimento, representação e fabricação de “Novas Arquiteturas”.

Vale ressaltar a importância deste capítulo na dissertação. A Realidade Aumentada, como ferramenta de visualização, contribui para o fluxo do *Continuum Digital*. Sendo assim, além de ela estar inserida em processos tradicionais da arquitetura, aqui, ela faz parte de um novo processo fluido que engloba todas as fases de produção desde a concepção à construção de edificações.

¹⁰ Professor e teórico de arquitetura. Escreveu diversos artigos e livros importantes para a arquitetura de vanguarda digital, como: “ *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*”. (2003)

3.1. Arquitetura e Tecnologia

“Abandonado o discurso do estilo, a arquitetura dos tempos modernos é caracterizada pela capacidade de tirar vantagem das realizações específicas da mesma modernidade: as inovações oferecidas pela ciência e pela tecnologia. A relação nova tecnologia e nova arquitetura inclui um dado fundamental no que se refere à arquitetura de vanguarda.”

Ignasi de Sola Morales¹¹

Esta seção apresenta, através de edificações de referência, a evolução da contribuição dos avanços tecnológicos no exercício da concepção do projeto arquitetônico, no desenvolvimento e execução.

O Palácio de Cristal (Londres, 1851 – Exposição Universal¹²) de Joseph Panton (Figura 37), foi um edifício marcante para a época, incorporava o espírito tecnológico da Era Industrial e era o precursor dos futuros edifícios de aço e vidro.

A Torre Eiffel (Paris, 1887), manifestou a altura que os novos prédios poderiam chegar (Figura 38). Depois de cem anos, essas edificações se tornaram corriqueiras em todo o mundo, fazendo parte do *skyline* de todas as metrópoles.

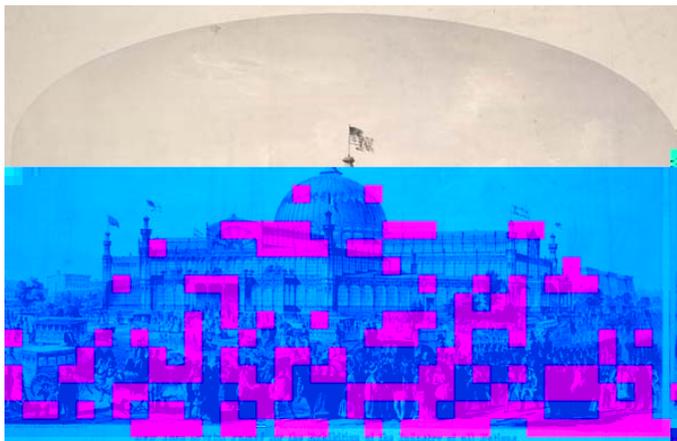


Figura 37. Palácio de Cristal, 1851.

Fonte: <http://www.loc.gov/exhibits/british/images/vc145a.jpg>

¹¹ Arquiteto e teórico espanhol.

¹² As exposições universais condensaram o que o século XIX entendeu como modernidade: o progresso construído sobre a ciência e a indústria. Montadas nos epicentros - Londres, Paris, Chicago, entre outras - da modernidade, elas queriam ser um retrato em miniatura desse mundo moderno avançado, composto de espetáculos nos campos da ciência, das artes, da arquitetura, dos costumes e da tecnologia. A idéia era mostrar e ensinar as virtudes do tempo presente e confirmar a previsão de um futuro excepcional. A torre Eiffel, o Palácio de Cristal e a roda gigante eram os símbolos visíveis do avanço tecnológico exibido nas feiras mundiais.



Figura 38. Torre Eiffel, 1887.

Fonte: <http://html.rincondelvago.com/files/8/5/8/000648586.jpg>

A primeira edificação de referência da Era da Informação foi construída há uma década: o Museu Guggenheim de Bilbao, do arquiteto Frank Gehry (Figura 39). Porque utilizou métodos digitais desde sua concepção até sua execução, é, provavelmente, o mais conhecido exemplo que captura o *zeitgeist* (espírito do tempo) da revolução digital, cujas conseqüências para a indústria da construção civil são comparáveis àquelas dos edifícios da revolução industrial. A Era da Informação, assim como foi na Era Industrial, está mudando não só o modo de projetar edificações, mas também como fabricá-las e construí-las.



Figura 39. Guggenheim de Bilbao, 1997.

Fonte: <http://de.encarta.msn.com>

Os potenciais criativos das mídias digitais, unido aos avanços da fabricação já aplicados nas indústrias automotivas, aeroespaciais e náuticas, estão abrindo novas dimensões para os projetos arquitetônicos.

O avanço das tecnologias CAD (*Computer Aided Design* – desenho auxiliado por computador) e CAM (*Computer Aided Manufacturing* – fabricação digital), há poucos anos, começam a ter um forte impacto nos projetos de edificações e nas práticas construtivas. Surgiram oportunidades, permitindo a produção e construção de formas complexas, que antes eram difíceis e caras de serem construídas usando métodos tradicionais. Um novo *Continuum Digital*, uma ligação direta entre desenho e construção é estabelecida através das tecnologias digitais. As conseqüências serão profundas, novos processos de concepção, fabricação e construção digital estão mudando historicamente a relação entre arquitetura e seus meios de produção.

Segundo Kolarevic, o que une arquitetos, projetistas, construtores e pensadores da Era Digital não é o desejo de deformar¹³ tudo e todos, mas sim o uso da tecnologia digital como um sistema que permite a integração direta da concepção com a realização, em caminhos que só encontram precedentes nos tempos dos *Master Buildings*¹⁴.

Historicamente, a indústria da Construção é uma das últimas a mudar e adotar novas tecnologias; CATIA (*Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application*¹⁵) já estava em uso 20 anos antes (pelas industrias automotiva e aeroespacial) de ser descoberta pelo escritório de Frank Gehry. E ainda é pouquíssimo usada.

¹³ do Lat. *Deformare* / v. tr., alterar a forma de; desfigurar; tornar deforme.

¹⁴ Por séculos ser arquiteto significava ser construtor. Da Grécia Antiga até a idade Média os Construtores Mestres (Master Builders) estavam envolvidos da concepção à produção das edificações. A dissociação entre arquitetos e o resto da indústria da construção teve início no Renascimento, quando foi inventada a perspectiva e os desenhos ortogonais (como plantas, vistas, cortes, etc.), que liberavam os arquitetos de irem até o canteiro de obras supervisionar a construção que haviam desenhado.

¹⁵ Multiplataforma PLM/CAD/CAM/CAE comercial, programa desenvolvido pela Dassault Systemes e comercializado mundialmente pela IBM.

3.2. Continuum Digital

O uso de programas de modelagem digital (3D) e animação (4D) abriu novos territórios de exploração formal na arquitetura, onde formas geradas digitalmente não são projetadas de maneira convencional. São criadas novas formas em processos generativos baseados em conceitos como: espaço topológico, superfícies isomórficas, sistemas dinâmicos, desenho paramétrico e outros que exploraremos mais à frente.

As mudanças não são puramente formais. Agora é possível gerar formas complexas (ou simples) e construí-las com orçamentos razoáveis. Em outras palavras, ficou mais fácil desenhar e construir porque a informação pode ser extraída, trocada e utilizada do início ao fim do processo. Desde a informação do projeto até a informação da construção.

A convergência da representação e da produção baseadas em dados, representa a mais importante oportunidade para a profunda transformação da profissão e conseqüentemente, da construção civil.

Muito do mundo material hoje, desde um simples produto de consumo até o mais sofisticado avião, é criado e produzido usando um processo no qual projeto, análise, representação, fabricação e montagem têm se transformado em processos colaborativos, que dependem de tecnologias digitais – um *Continuum Digital* do projeto à construção.

O *Continuum Digital* recoloca o arquiteto no centro de todo o processo (como na época dos *Master Buildings*), deixando-o inserido em todo o desenvolvimento do projeto, através de um modelo de informação que facilita todas as fases de produção e que pode sintetizar informações produzidas e trocadas por várias partes.

3.3. Lições Tecnológicas

Os processos desenvolvidos pela indústria náutica nas últimas duas décadas para coordenar e conectar projeto e construção, são exemplos dos caminhos em que os vários interessados da indústria da construção – arquitetos, engenheiros, construtores – podem integrar seus serviços em torno de tecnologias digitais de projeto, análise, fabricação e montagem.

Assim como edifícios, navios são objetos de considerável complexidade técnica. Só em termos de escala e uso, tem suficientes similaridades que merecem a comparação. São precisamente essas similaridades que oferecem oportunidades de transferência tecnológica. Ambos são grandes objetos, com complexo sistema de serviços e interconectividade espacial, habitados por pessoas, servindo à funções específicas. Os dois tem que responder a influências ambientais parecidas e requerimentos funcionais também. Requerem financiamentos substanciais e recursos materiais. Contam com princípios similares, métodos e processos de desenho, análise e produção. Levando em conta que projetar e construir navios é mais complexo, estruturalmente (porque eles têm que resistir não só à gravidade, como aos ventos e às pressões hidrodinâmicas) e os serviços são mais numerosos.

Arquitetos, historicamente, já contaram com a sabedoria dos construtores náuticos. Palladio projetou o telhado da Basílica (*Piazza del Signori*) – Veneza, 1617 – como um casco de navio invertido e teve que trazer os construtores de Veneza para fazê-lo (Figura 40). Buckminster Fuller na sua *Dymaxion House*, em 1946, usou métodos de produção das indústrias de navio e avião (Figura 41). O Guggenheim de Bilbao, de Frank Gehry (1997), não seria possível sem o aço local e a indústria náutica. E outros, mais contemporâneos, como o *Natwest Media Center* (2000) do Future Systems (Figura 42).



Figura 40. Basílica da *Piazza del Signori*, 1617.
Fonte: <http://www.italica.rai.it/rinascimento/iconografia/pallad01.htm>



Figura 41. *Dymaxion House*, 1946.
Fonte: http://www.ohiokids.org/siteGraphics/tz/dymaxion_house_img1.jpg



Figura 42. *Natwest Media Center*, 2000.
Fonte: http://www.mpz.bayern.de/information/06_2006/aktuell.htm

Arquitetos e construtores têm muito que aprender com essa indústria. Os construtores de navios já quase eliminaram desenhos para projetar e construir, ao invés disso, estão

trabalhando com modelos digitais, compreensivos do projeto à construção. Processos parecidos ocorrem nas indústrias automobilística e aeroespacial.

Vendo esses exemplos, constatamos o quanto é emergente a oportunidade acerca da indústria da construção civil.

Outros casos de aprendizado com outras disciplinas estão sendo usados por arquitetos. Sistemas CAD/CAM, inicialmente usados na indústria de produtos de consumo. Programas de animação como *3D Studio MAX*, *Soft Image*, *Alias* e *Maya*, que foram originalmente concebidos para os efeitos especiais da indústria cinematográfica.

Esse interesse em reutilizar tecnologias e métodos de outras indústrias não é novo. Arquitetos sempre olharam para o entorno da sua disciplina, se apropriando de materiais, métodos e processos de outras indústria conforme iam necessitando.



Figura 43. Modelo digital do Boeing 777. Primeira aeronave projetada 100% digitalmente.
Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*
Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

3.4. Visualização Digital

O uso da modelagem e da simulação computacional permite interagir com ambientes artificiais e modelos digitais no espaço de trabalho, em uma sala de exibição especial

ou caminhando pela rua. Interfaces tangíveis ou mesmo o simples *Desktop* compõem o instrumental necessário para trabalhar com essas Novas Arquiteturas, informatizadas.

A visualização engloba a representação e manipulação dos modelos de projetos arquitetônicos e facilita a fluidez do *Continuum Digital*, pois está inserida em diversas etapas da produção arquitetônica: na concepção das formas, nas simulações (Figura 44), análises e também na construção.

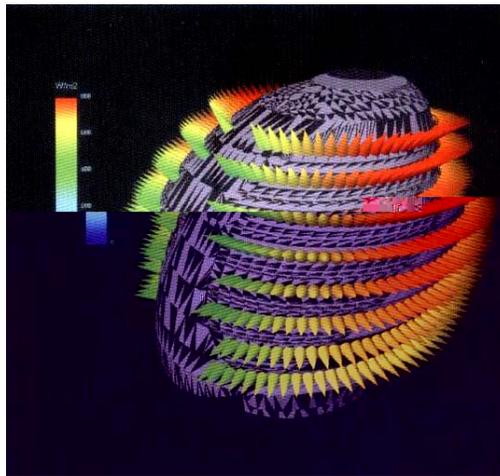


Figura 44. *Greater London Authority (GLA) Headquarters*, de *Foster & Partners*, 2002. Na figura, uma das simulações feitas no modelo digital: estudo solar.

Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*
Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

As ferramentas computacionais disponíveis para visualização 3D, permitem uma maior compreensão espacial, mais imediata, além da interação em tempo real, facilitando a relação dos profissionais (ou estudantes) envolvidos nas questões projetuais.

Os sistemas de Realidade Aumentada, Realidade Virtual e outras variações são o centro desse processo. Para serem inseridos numa prática mais cotidiana e no espaço de trabalho devem ser, preferivelmente, visualizados com dispositivos semi ou totalmente imersivos. A imersão em ambientes virtuais é a sensação de envolvimento onde o usuário passa a se sentir dentro da simulação e não apenas um espectador de uma animação interativa (segundo CUNHA, 2004).

Vimos no capítulo anterior (seção 2.4.3), dispositivos de visualização para sistemas de RA: anexados à cabeça, portáteis e espaciais. Existem ainda outros dispositivos, que podem estar ligados, por exemplo, a sistemas de RV. Podemos citar, por exemplo, o *Desktop* (Figura 45), com baixo grau de imersão ou uma *CAVE* ou Caverna Digital (Figura 46) que possibilita ao usuário interagir em um mundo tridimensional completamente simulado por computadores, altamente imersivo.



Figura 45. Usuário interagindo com modelo em um *Desktop*.

Fonte: www2.joinville.udesc.br/~larva/upload/RevisaoDosDispositivosDeVisualizacaoParaRV.ppt

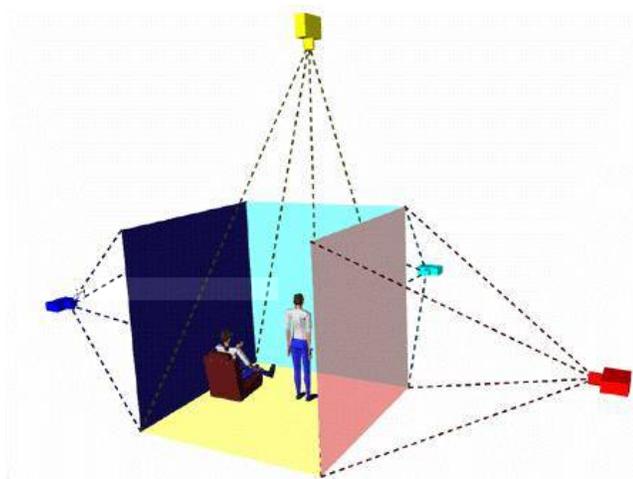


Figura 46. Esquema de uma CAVE com 4 projeções. Nesta sala, paredes, teto e chão são telas semi-transparentes aonde as imagens são projetadas.

Fonte: www2.joinville.udesc.br/~larva/upload/RevisaoDosDispositivosDeVisualizacaoParaRV.ppt

3.5. Processos Digitais na Produção Arquitetônica

3.5.1. Concepção

A concepção representa a primeira etapa, dentro do *Contunuum Digital*. A partir daqui caminharemos numa direção cronológica dos processos envolvidos na realização de uma edificação. Desde a concepção formal, propriamente dita; à fabricação de modelos em diversas escalas e peças constituintes da edificação; e por fim, a construção (ou montagem).

3.5.1.1. Varredura em Três Dimensões - do físico para o digital

Alguns arquitetos usam plantas, cortes, vistas ou a tela do computador para projetar – representações bidimensionais. Outros preferem utilizar modelos físicos (maquetes) como base geométrica, formal, do seu projeto. Os arquitetos da vanguarda digital utilizam ambientes de visualização (Figura 47). Modelos digitais, indiscutivelmente possuem capacidades e flexibilidades muito maiores que os físicos.



Figura 47. Caverna Digital da Universidade de São Paulo, Brasil.
Fonte: <http://www.lsi.usp.br>

No escritório de Frank Gehry, por exemplo, as maquetes são escaneadas. Pontos desta são transferidos para o computador, para em seguida formarem planos, geralmente, NURBS16 (Figura 48).

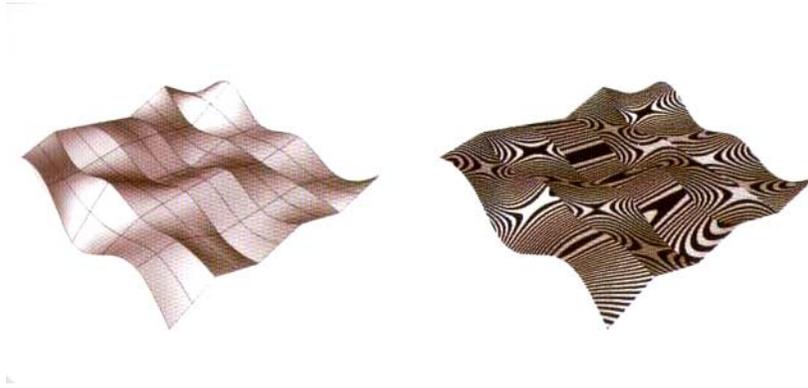


Figura 48. NURBS

Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*
Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

Um método comum de escaneamento 3D envolve o uso de uma sonda digitalizadora de posição para traçar a superfície do modelo físico. Esse processo pode ser feito manualmente, usando braços digitais 3D (Figura 49) ou automaticamente usando CMM (*Coordinate Measuring Machine*), que tem um sensor de posicionamento digital que é colocado mecanicamente em contato com a superfície do objeto escaneado.

¹⁶ Non-Uniform Rational B-Splines. Método computacional para construir modelos de superfícies contínuas e altamente curvilíneas. O que torna as curvas NURBS e as superfícies particularmente interessantes é a facilidade e controle formal pela manipulação de pontos, pesos e nós.



Figura 49. Digitalizador tridimensional – *Microscribe*.
Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*
Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

Um uso alternativo são os métodos de escaneamento sem-contato (Figura 50), que requer dispositivos mais caros, porém mais rápidos, precisos, menos trabalhosos para operação e geralmente mais eficientes quando escaneando pequenos objetos. Geralmente usam laser para iluminar a superfície do objeto escaneado, passo a passo, produzindo padrões de pontos luminosos ou linhas, que são capturadas por câmeras digitais (geralmente duas). A imagem gravada é processada usando técnicas de



Figura 50. Scanner a laser 3D

Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*
Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

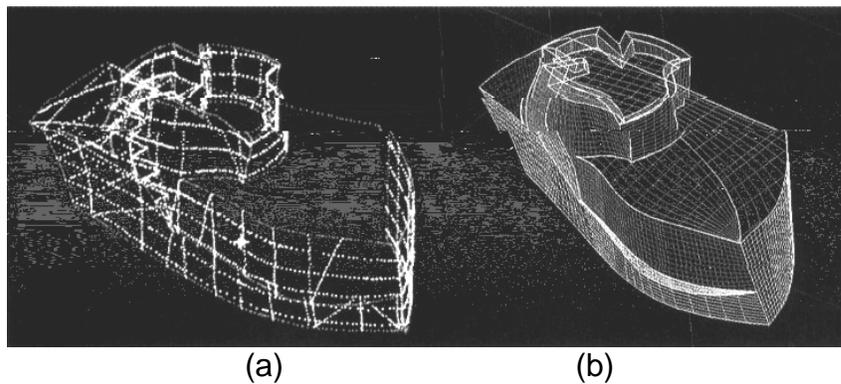


Figura 51. Esquema de transferência de dados: pontos digitalizados (a) reconstrução digital da superfície (b).

Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*
Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003



Figura 52. Scanner laser 3D, para levantamento de lugares de grande dimensão.

Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*
Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

3.5.1.2. Morfogêneses Digitais

As formas geradas por computador, diferentemente das regras seculares de projetar arquitetura, são criadas com outros princípios: são calculadas pelo processo computacional escolhido.

Ao invés de ser modelada uma forma exterior, os arquitetos articulam uma lógica generativa interna que possibilitará, automaticamente, produzir uma gama de variedades, das quais o projetista escolherá a forma mais apropriada.

Vamos citar abaixo alguns processos informáticos de criação e transformação da forma, no intuito de colocar o leitor mais consciente dos novos métodos criativos que vêm sendo cada vez mais aplicados na arquitetura. A classificação é feita segundo Kolarevic:

Arquiteturas Topológicas

Marcadas pela interdependência entre o programa proposto para o projeto e o lugar onde será construído. No computador são formadas por *NURBS*, que tornam possíveis as formas heterogenias do espaço topológico.

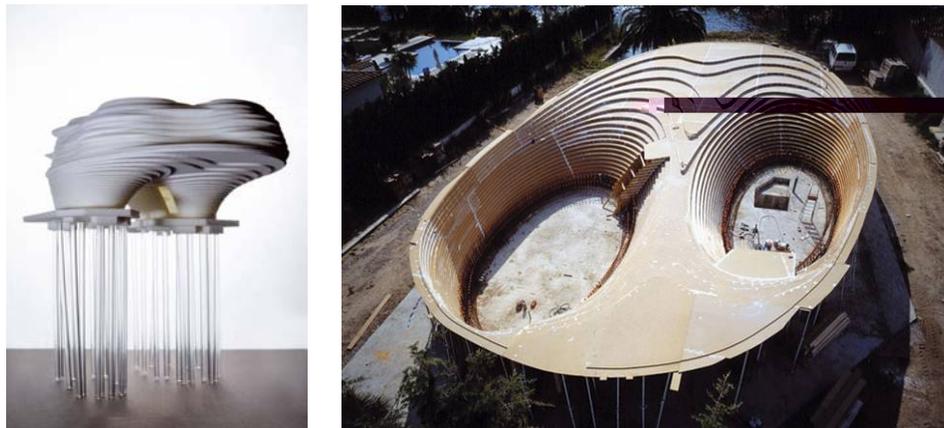


Figura 53. Villa Nurbs. Hotel em Barcelona. Enric Ruiz Geli
Fonte: <http://www.ruiz-geli.com/>

Arquiteturas Isomórficas

Blobs ou **metaballs** (ou superfícies isomórficas), são objetos amorfos construídos com forças internas de massa e atração. Exercem campos ou regiões de influência, que podem ser aditivas ou subtrativas.

Os objetos interagem entre si ao invés de somente ocuparem um espaço; tornam-se conectados através de uma lógica na qual o conjunto está sempre aberto à variações na medida em que novos *blobs* (campos de influência) são adicionados ou quando são feitas novas relações entre eles.

A superfície-limite do todo (a superfície isomórfica) desloca-se ou movimenta-se de acordo com variações em posição e intensidade dos campos de influência. Deste modo, objetos atuam em geografias dinâmicas ao invés de estáticas.

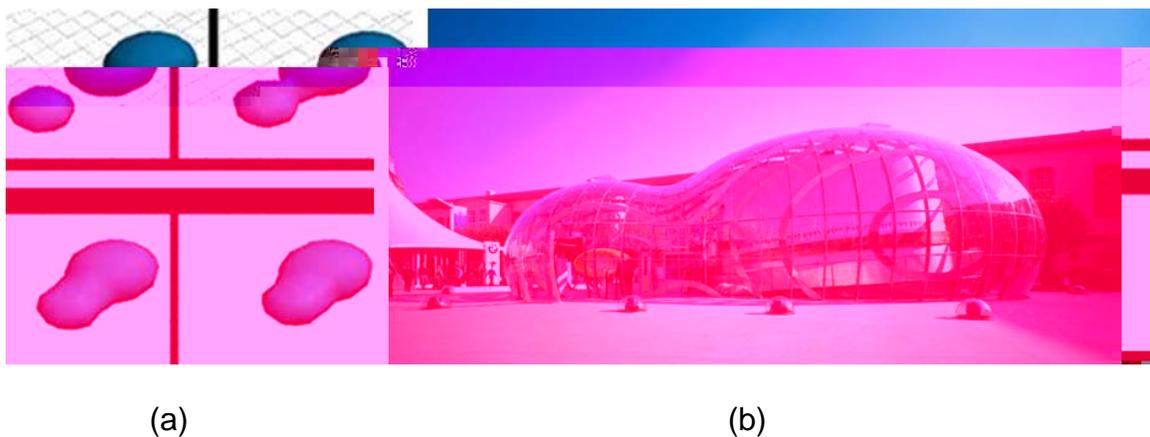


Figura 54. quadros do processo criativo do pavilhão (a) BMW Pavilion - Bernhard Franken (b)
Fonte: <http://www.franken-architekt.de>

Arquiteturas Metamórficas ou Animadas

A forma arquitetônica tem que responder à dinâmica, variáveis relacionadas ao meio ambiente e ao contexto sócio-econômico. Ao invés de ser concebida estaticamente, inerte, a forma arquitetônica é conceitualmente plástica, mutante, gerada através de programas de animação (KOLAREVIC, 2000).

Greg Lynn foi um dos primeiros arquitetos a usar programas de animação para gerar e não apenas representar a arquitetura. Segundo ele:

“...o contexto do projeto torna-se (...) uma corrente de forças que podem ser armazenadas como informação no aspecto da forma”

“Projetos animados são definidos pela co-presença de movimento e força no momento da concepção formal.”

Lynn usa diversas técnicas de modelagem baseadas em movimento: animação por *keyframe* (quadro-chave), *forward and inverse kinematics* (cinética avançada e invertida), dinâmicas (campos de força) e emissão de partículas.

A cinemática é usada para definir os movimentos de um sistema de objetos. Usando um braço como exemplo, na *Forward Kinematics*, os dedos, mão e cotovelo se moveriam junto com o movimento do ombro. Na *Inverse Kinematics*, o braço seguiria o movimento dos dedos. Ou seja, quando um movimento é aplicado, as transformações são propagadas para baixo numa hierarquia na *Forward Kinematics* e para cima numa hierarquia de *Inverse Kinematics*. Simulações dinâmicas levam em consideração os efeitos de forças (principalmente externas) no movimento de um objeto ou em um sistema de objetos. Definem-se as propriedades físicas (densidade, elasticidade, etc) dos objetos; especificam-se e aplicam-se forças (gravidade, vento, redemoinhos, colisões) gerando uma simulação dinâmica, por exemplo.

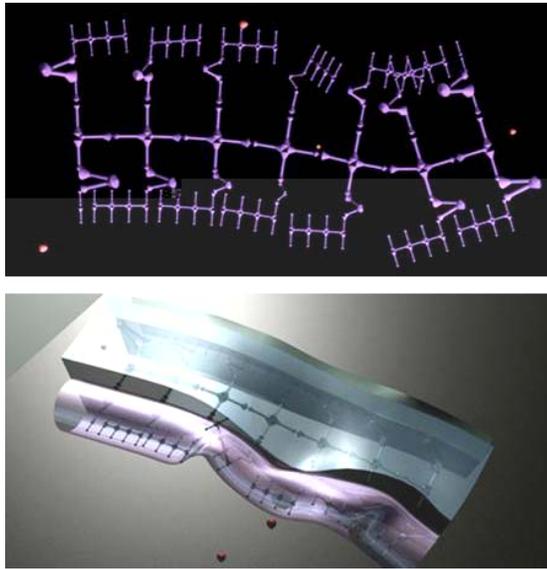


Figura 55. Citron House - Greg Lynn. Amagansett, NY, 1994. *Inverse Kinematics*.
Fonte: <http://www.gform.com/>

Arquiteturas Paramétricas

O importante neste tipo de projeto são os parâmetros e não a forma. Atribuindo diferentes valores às variáveis das equações, diferentes objetos e configurações são obtidos. As equações podem ser usadas para descrever as relações entre objetos, definindo uma “geometria associativa”. É estabelecida então uma interdependência entre objetos e seus comportamentos também podem ser transformados (KOLAREVIC).

O desenho paramétrico freqüentemente envolve uma descrição processual e algorítmica da geometria. Arquitetos podem construir os modelos matemáticos e os procedimentos geradores que dependem das numerosas variáveis inicialmente ligadas a todos os interesses pragmáticos. Cada variável ou processo é uma entrada na qual uma influência externa pode ser traçada, estaticamente ou dinamicamente.

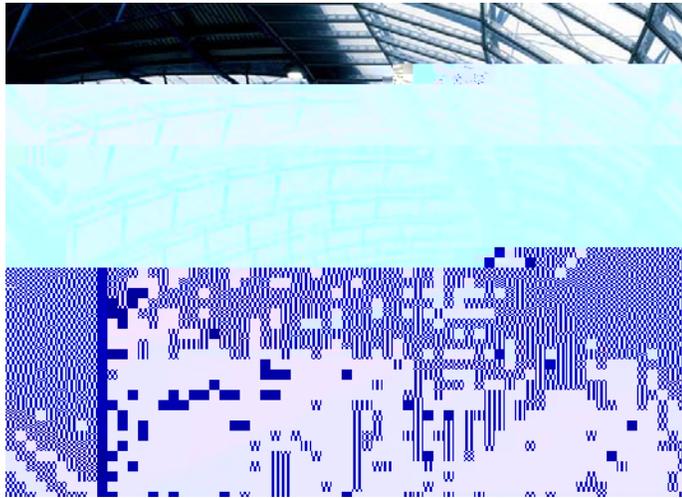


Figura 56. Terminal Internacional, Estação *Waterloo*, 1993. A estrutura foi gerada através de desenhos paramétricos.

Fonte: <http://www.lookingatbuildings.org.uk/default.asp?Document=1.A.2.5,4>

Arquiteturas Evolutivas

Inspiram-se em modelos naturais de evolução para determinar os processos geradores da forma arquitetônica. Conceitos arquitetônicos são expressos como regras generativas que podem ser aceleradas e testadas em modelos digitais. Tais conceitos arquitetônicos são descritos como uma linguagem “genética” - algoritmo genético - produzindo um código de instruções gerador da forma. Os modelos digitais têm sua performance avaliada em simulações. Muitas vezes, a forma gerada é uma surpresa.

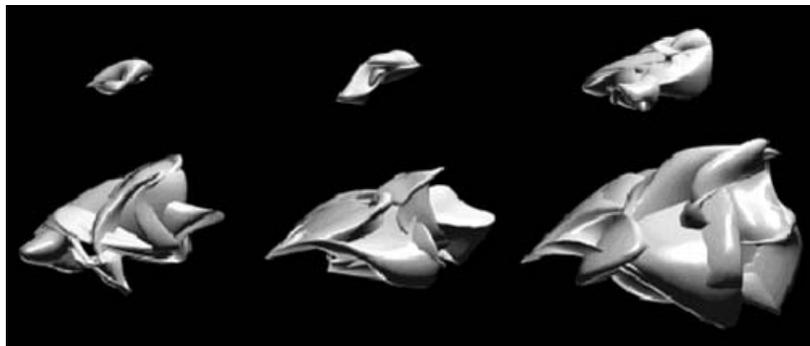


Figura 57. *Pseudo – organisms*, J.Frazer

Fonte: <http://www.arc1.uniroma1.it/saggio/Conferenze/Lo/PolitecnicoMi04.htm>

3.5.2. Fabricação Digital - do digital para o físico

A fabricação arquitetônica digital se refere aos processos computacionais de produção formal e fabricação baseados num modelo digital. Muitos processos de fabricação digital são identificados a partir de seus conceitos computacionais subjacentes, como:

Fabricação 2D

É também chamada de Corte por ferramentas CNC (controle numérico computadorizado). O movimento é feito em 2 eixos. Existem várias tecnologias de corte: arco de plasma, laser ou jato d água.

- No corte por arco de plasma um arco elétrico passa através de um jato de gás comprimido na cabeça (bocal) de corte, esquentando o gás até ele virar plasma à uma alta temperatura que se converte novamente à gás ao passar o calor para a zona de corte.

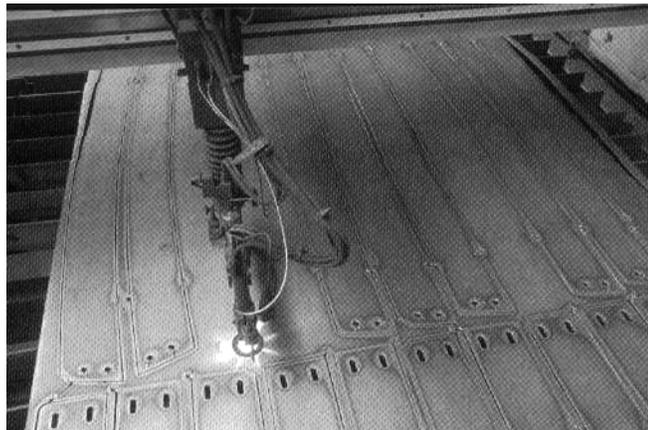


Figura 58. Corte CNC – arco de plasma (aço).

Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*
Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

- A Estrutura de alumínio do pavilhão BMW foi cortada diretamente a partir de um arquivo digital usando uma ferramenta de cortes por jatos d água. Na tecnologia de jatos d água (*water-jets*) um jato altamente pressurizado é misturado com partículas sólidas abrasivas e lançado através de um bocal em um jato

focalizado, causando a erosão rápida do material em seu trajeto e produzindo um corte limpo e preciso.

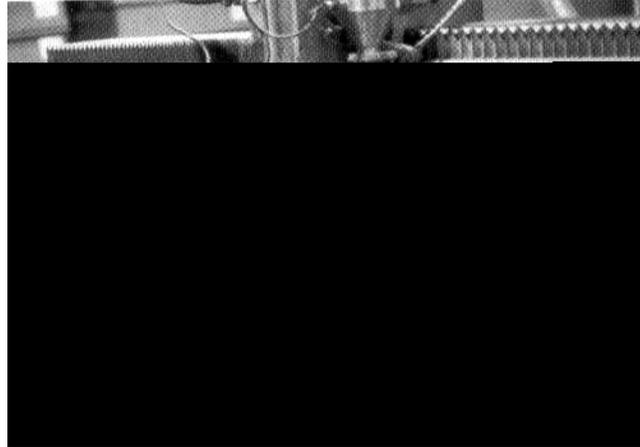


Figura 59. BMW *Pavilion* – o quadro de alumínio cortado por uma tecnologia (jatos d'água) CNC.
Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*
Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

- Cortadoras a laser: usam feixe de luz infravermelha combinada a um jato de gás (dióxido de carbono) altamente pressurizado para derreter ou queimar o material que está sendo cortado.

Existem diferenças em relação ao tipo de material ou espessura máxima que cada máquina pode cortar. Cortadoras à laser somente podem cortar materiais que absorvem luz; jatos d'água podem cortar quase qualquer material. Cortadoras à laser podem cortar materiais de até 1,59 cm (quanto maior a espessura de corte, mais cara,) enquanto as cortadoras de jato d'água podem cortar materiais mais grossos, como por exemplo, titânio de até 38 cm de espessura.

No Museu Guggenheim de Bilbao foi usado um programa alemão chamado *Bocad* que gerou automaticamente um modelo digital detalhado de toda a malha estrutural de aço. Este mesmo programa foi usado para produzir os desenhos da fabricação e de dados a serem lidos pelas máquinas de CNC, para cortar e pré-montar com alta precisão os diversos componentes.

Fabricação subtrativa

Envolve a remoção de volumes específicos dos sólidos, utilizando máquinas de corte e lixamento, que variam de 3 a 5 eixos. Na fabricação por CNC um computador controla os movimentos da máquina de corte.

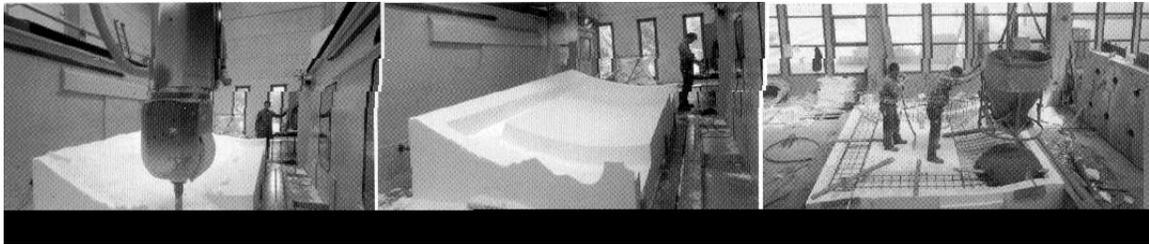


Figura 60. Torres Zollhof – moldes para os painéis de concreto feitas em poliuretano.
Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*
Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

Produzem, por exemplo, moldes para a fabricação de elementos de concreto com dupla curvatura (como os das torres Zollhof em Düsseldorf – Figura 61). Ou moldes para a fabricação de painéis de vidro laminado em superfícies de curvas complexas, como no projeto Conde Nast Cafeteria de Frank Gehry (Figura 62) e no Pavilhão BMW de Bernard Franken.

Figura 61. Torres Zollhof, 1999.
Fonte: <http://www.lummel.de/en/zollhof.htm>



Figura 62. Conde Nast Cafeteria, 2000.

Fonte: http://www.cultureby.com/photos/uncategorized/conde_nast_003.jpg

Fabricação formativa

Na fabricação formativa, forças mecânicas, fôrmas, calor ou vapor são aplicados a um material para dar-lhe a forma ou deformação desejada. Por exemplo, o material pode ser deformado permanentemente por processos como submetê-lo à tensão ou pressão até após seu limite elástico, aquecê-lo e então entortá-lo enquanto ele está maleável, podendo assim formar superfícies curvas.

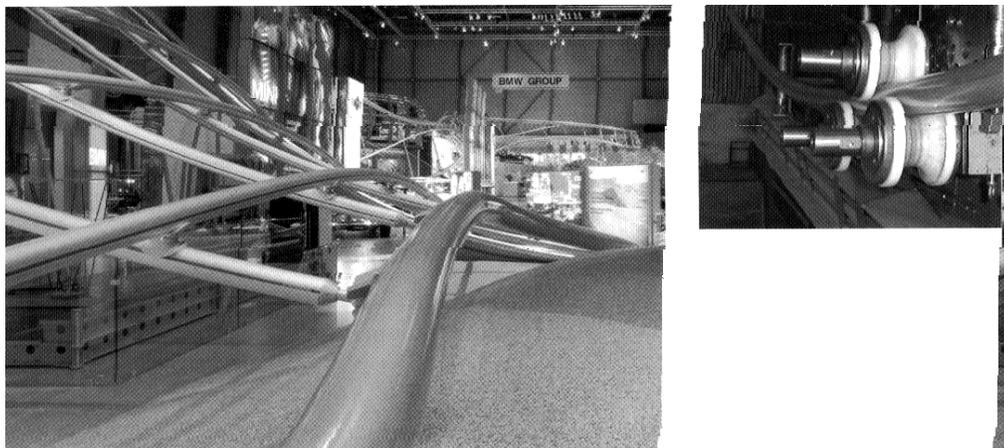


Figura 63. Torção CNC de perfis de alumínio.

Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

Fabricação aditiva

Adição de material camada-a-camada, num processo inverso ao de lixar. É freqüentemente chamado de *layered manufacturing* (fabricação em camadas). O modelo digital é fatiado em camadas bidimensionais. A informação de cada camada é então transferida ao processador da máquina e o produto físico é gerado pela adição camada a camada.

Existem algumas tecnologias competindo no mercado, utilizando uma variedade de materiais e um leque processos de corte baseados na luz, calor ou química:

- Litografia Estéreo (SLA): baseada em polímeros líquidos que se solidificam quando expostos ao laser.
- *Selective Laser Sintering* (SLS): um feixe de laser derrete uma camada de metal em pó para criar objetos contínuos.
- *3D Printing*: camadas de pó de cerâmica ou de milho são colados para formar objetos.
- Fabricação Laminada (LOM), folhas de material (papel, plástico) pré-cortados ou em rolo, são colados (laminados) juntos e depois cortados.
- *Fused Deposition Modeling* (FDM): cada seção transversal é produzida pelo derretimento de um filamento plástico que se solidifica ao ser esfriado.
- *Multi-jet manufacture* (MJM): usa uma cabeça de impressão modificada para depositar material termoplástico derretido em camadas finíssimas, uma por vez, para criar sólidos tridimensionais.
- *Sprayed concrete*: foi introduzido para fabricar peças pré-fabricadas de edifícios, em grande escala, diretamente da informação digital.



(a)



(b)



(c)

Figura 64. SLA 250 sistema de estereolitografia da 3D Systems (a) Impressora 3D da ZCorp – Z406 (b) Impressora *multijet* da 3D System.

Fonte: Branko Kolarevic, ed. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* Spon Press – Taylor & Francis Group, 2003

Impressoras de objetos 3D são vistas há pelo menos uma década em lojas de produtos de desenho industrial. São usadas para testar o design de partes e peças para carros, aviões e outros produtos, por exemplo. Atualmente esta impressora pode ser comprada por US\$15mil. E, nos próximos dois anos, a expectativa é de que os preços caiam mais, tornando as impressoras 3D acessíveis a pequenos escritórios e lojas de fotocópias.

A fronteira seguinte será o lar. Uma empresa que deseja ser a primeira a vender impressoras 3D domésticas é a Desktop Factory, iniciada pela incubadora IdeaLab, da Califórnia. A Desktop Factory começará a vender uma impressora 3D para o lar, ainda este ano, ao preço de US\$4.995 (SAUL HANSELL, 2007)

Abre-se uma perspectiva, confirmada pela velocidade da popularização de tais tecnologias: as mudanças na produção arquitetônica não estão em um futuro longínquo.

3.5.3. Montagem ou Construção

A montagem também é facilitada com tecnologia digital. Modelos digitais tridimensionais podem ser usados para determinar a localização de cada componente, para movê-los e fixá-los no local determinado.

O Laser e a monitorização eletrônica podem ser usados para determinar com precisão a posição dos componentes do edifício. No Museu Guggenheim de Bilbao, durante a fabricação, cada componente estrutural ganhava um código de barras e era marcada com os nós da interseção com as camadas estruturais adjacentes. No local da construção, os códigos eram “lidos” obtendo-se as coordenadas de cada peça num modelo desenhado no programa CATIA. O laser ligado ao programa permitiu que cada peça fosse precisamente colocada em sua posição, através de GPS, como previamente definido pelo modelo digital. Quando o encaixe era correto, soava um determinado som para sinalizar o acerto.

A Realidade Aumentada é uma ótima ferramenta para casos como esse. Veremos um outro exemplo (caso 07) no próximo capítulo.

CAPÍTULO 4 - Realidade Aumentada na Arquitetura e no Urbanismo

Através do Estado da Arte das aplicações e usos da Realidade Aumentada na Arquitetura e no Urbanismo, mostraremos o quanto essa ferramenta pode e ainda poderá contribuir na implementação de novos conceitos e processos na construção civil.

A utilização de novas tecnologias, como a RA, pelo profissional e pelo estudante, dessas áreas e outras afins, poderá detonar mais dinâmica e fluidez entre todas as partes envolvidas, desde a concepção do projeto criativo do projeto, passando pelo desenvolvimento e representação do mesmo, pVeemo

6. *Fonte*: origem da pesquisa
7. *Link / email*: site ou endereço eletrônico para maiores informações e/ou contato;
8. *Dispositivo de Interface*: qual(is) o(s) dispositivo(s) usado(s) – baseado em monitor(*desktop, tablet PC, palm top*, telefone celular), em projeção, vídeocapacete ou óculos translúcido;
9. *Descrição Resumida do Projeto*: a descrição propriamente dita;
10. *Observações*: algum destaque, caso necessário
11. *Trabalhos Futuros*: complemento, quando mencionado pelo(s) autor(es)
12. *Imagens*: ilustrações do projeto

4.2. Casos Estudados

A seguir iremos apresentar alguns casos estudados que ilustram diversas aplicações da Realidade Aumentada para Arquitetura e Urbanismo. Eles foram catalogados obedecendo a uma ordem que segue a área em que é aplicado, para melhor organizá-los e também para que através da escala e função específica do uso, analisemos suas características dos sistemas. As áreas mencionadas são :

- Projeto de Interiores: projetos de *lay-out*, reformas de apartamento e outros que se inserem no interior das edificações;
- Projeto Arquitetônico: aqui nos referimos àqueles que não só englobam o interior, assim como a edificação como um todo, em sua fase de criação;
- Construção: sistemas que auxiliam na execução do projeto;
- Urbanismo: casos aplicados em grandes escalas;
- Paisagismo: os que se referem a projetos paisagísticos. Vale ressaltar que o enfoque de paisagismo aqui é amplo e está diretamente ligado ao profissional que em inglês é denominado *Landscape Architect*¹⁷ (Arquiteto da Paisagem).
- Restauração: recuperação de prédios históricos e outros;
- Ensino: direcionados a estudantes;

¹⁷ As atividades dessa profissão inclui também planejamento e projeto de espaços públicos urbanos.

- Casos Especiais: citados por apresentarem características arquitetônicas ou importância para a área.

Observação: Alguns casos podem ser aplicados em mais de uma área destas, mas por motivos didáticos foram colocados em apenas uma.

4.2.1. Projeto de Interiores

Caso 01

Título /nome do projeto: **Collaborative Interior Design** (Projeto de Interiores Colaborativo)

Área(s) Aplicada(s): Projeto de Interiores

Autor(es): User Interaction and Visualization group no European Computer-Industry Research Centre (ECRC), que agora foi transferido para o Fraunhofer Project Group for Augmented Reality em ZGDV.

Instituição(ões): ECRC

Ano: 2003

Fonte: Tripathi, Anishi. **Augmented Reality : an Application for Architecture, 2000.** Faculty of the School of Architecture. University of Southern California. Master of Building Science. (<http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/>)

Link / email: <http://www.cw.com/Europe/> ou <http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/>

Dispositivo de Interface: Baseada em Monitor

Descrição Resumida do Projeto: utiliza gráficos interativos e vídeo em tempo real para projetos de interiores arquitetônicos. Combina o uso de um sistema heterogêneo de banco de dados de modelos gráficos, um sistema de realidade aumentada e gráficos 3D de uma rede de computadores. O cenário para essa aplicação poderia ser um gerente de escritório que está trabalhando com um arquiteto de interiores no lay-out de uma sala. Em um monitor de computador podem ver a imagem da própria sala, onde irão intervir, do ponto de vista da câmera. Interagindo com vários fabricantes de móveis

que estão numa rede, selecionam qualquer móvel disponível desenhado em 3D. Cada móvel apresenta suas opções de cor, preço, etc. O gerente escolhe partes deste "catálogo eletrônico" e os renderings 3D deste móvel aparecem no monitor junto com a vista do quarto. O móvel é posicionado usando um mouse 3D.

O móvel pode ser suprimido, adicionado, e rearranjado até que os usuários estejam satisfeitos com o resultado que está mesclado com a sala real. Movendo a câmera podem ver a sala com o móvel de diferentes pontos de vista.

Imagens:

Figura 65. Mesa e cadeira sendo escolhidas para um escritório
Fonte: <http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/>

Caso 02

Título /nome do projeto: **BUILD-IT system**

Área(s) Aplicada(s): Lay-out, Projeto de Interiores

Autor(es): Morten Fjeld, Kristina Lauche, Martin Bichsel, Fred Voorhorst, Helmut Krueger & Matthias Rauterberg

Instituição(ões): Swiss Federal Institute of Technology (ETH)

Ano: 2002

Fonte: Fjeld, Morten. **Physical and Virtual Tools: Activity Theory Applied**

to the Design of Groupware, 2002. Swiss Federal Institute of Technology.

Link / email: morten@fjeld.ch

Dispositivo de Interface: Baseado em Monitor

Descrição Resumida do Projeto: Sistema para planejamento e projetos cooperativos. Um grupo em torno de uma mesa interage, através de pequenos blocos com superfícies reflexivas (marcadores), com uma projeção da planta baixa na mesa e uma projeção lateral em uma tela no plano perpendicular à mesa, onde podem ter ângulos das fachadas ou perspectivas dos projetos estudados. É possível também, na visão lateral, aproximar e afastar a imagem (zoom).

Observações: O sistema pode ser expandido para projetos de edificações e urbanismo. Nessa experiência, foi apenas testado para uso em projeto de interiores.

Imagens:

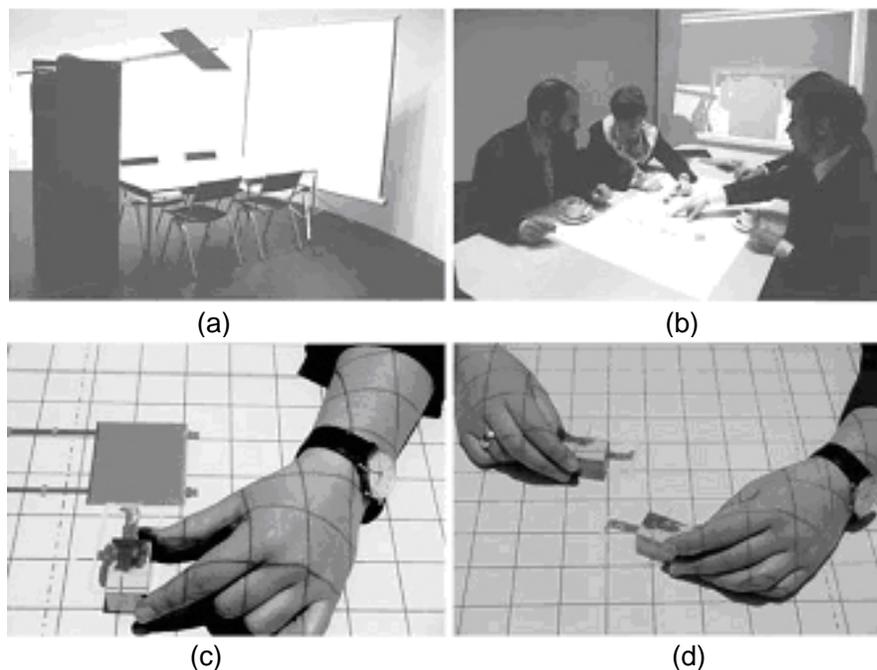


Figura 66. o sistema é composto de um *rack* (com 2 projetores, uma câmera de vídeo, e uma lâmpada), espelho, mesa, cadeiras e uma tela (a). Oferece duas perspectivas: uma planta baixa e uma projeção lateral com outros ângulos (b). Os modelos projetados na planta baixa podem ser rotacionados ou posicionados usando um pequeno bloco (c). Interação bimanual é uma parte essencial do conceito (d).

Fonte: <http://www.fjeld.ch/pub/cscw.pdf>

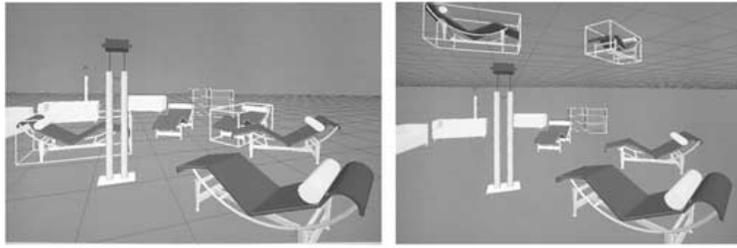


Figura 67. Navegação especial na tela lateral.
Fonte: <http://www.fjeld.ch/pub/cscw.pdf>

Caso 03

Título /nome do projeto: **SARDE** (1:1 Spatially Augmented Reality Design Environment)

Área(s) Aplicada(s): Projeto de interiores

Autor(es): Chien-Tung Chen e Teng-Wen Chang

Instituição(ões): Graduate Institute of Architecture, NCTU Graduate School of Computational Design, NYUST

Ano: 2006

Fonte: Chen, Chien-Tung & Chang, Teng-Wen. **1:1 Spatially Augmented Reality Design Environment, 2006**. Graduate Institute of Architecture, NCTU Graduate School of Computational Design, NYUST.

Link / email: www.arch.nctu.edu.tw/ ou www.gcd.yuntech.edu.tw/

Dispositivo de Interface: Baseado em Projeção

Descrição Resumida do Projeto: Experimento acadêmico com projeção interativa em escala 1:1. A idéia é que os alunos apreendam o espaço usando essa ferramenta e tomem decisões interagindo com o sistema, em tempo real. O sistema necessita da distancia da parede ao projetor para calcular a escala real dos desenhos (plantas baixas, de teto, vistas e cortes). O espelho é usado tanto para aumentar a superfície de projeção (porque muitos ambientes não terão a distancia necessária) quanto para projetar no chão (plantas baixas e plantas de teto). A *webcam* captura os gestos do projetista – usuário, munidos de marcadores de *led* e como resposta, alguns comandos básicos de desenho foram implementados, como: fazer linhas, aumentá-las ou diminuí-

las, desenhar quadrados, círculos, mover, duplicar, desenhar linhas irregulares, além de simular algumas texturas.

Imagens:

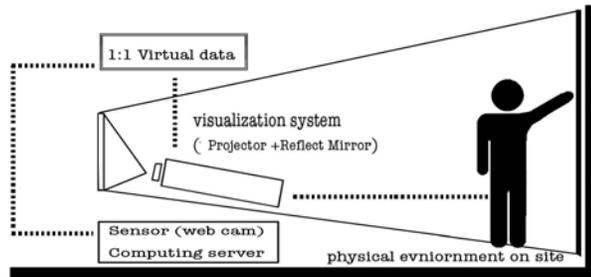


Figura 68. Esquema do SARDE

Fonte: www.springerlink.com/index/g21gx57742814890.pdf

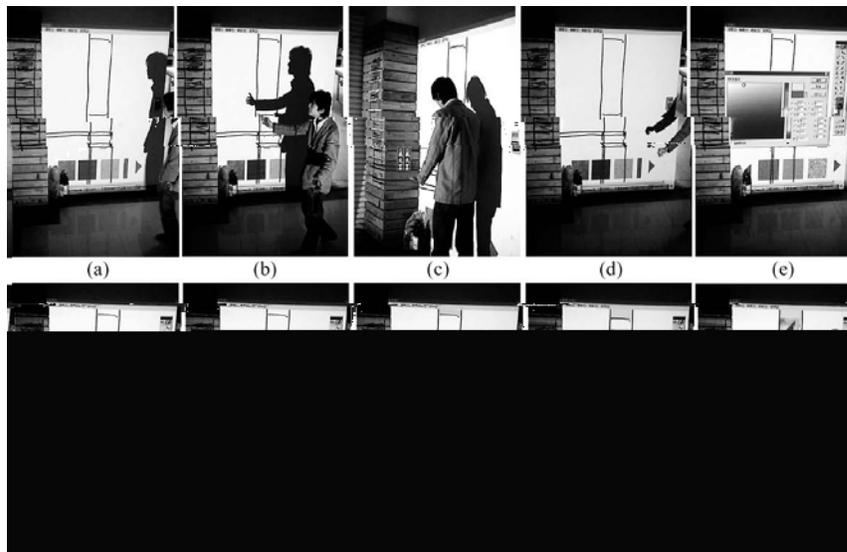


Figura 69. A sequencia do experimento (a) 1:1 SARDE (b) Usuário define a superfície referente a elevação projetada (c) sujeito simula tocar a mesa (d) aciona a paleta de cores (e) Escolhe azul claro para representar os vidros (f) Preenche com a cor (g) Ajusta a área preenchida (h) Decide a área pra preencher com figura (i) Copia a figura (j) Se afasta para ver o resultado.

Fonte: www.springerlink.com/index/g21gx57742814890.pdf

Caso 04

Título /nome do projeto: **Being There**

Área(s) Aplicada(s): Ensino e Projeto de Interiores

Autor(es): OOTF – Office Of The Future

Instituição(ões): University of North Carolina - Department of Computer Science

Ano: 2006

Fonte: <http://www.cs.unc.edu/Research/oof/Projects/beingthere.html>

Link / email: <http://www.cs.unc.edu/Research/oof/Projects/beingthere.html>

Dispositivo de Interface: baseado em projeção

Descrição Resumida do Projeto: usar blocos de construção brancos simples para construir modelos físico estáticos que aproximam a geometria do local e o imaginário dinâmico do projeto, nos blocos.

Imagens:

Figura 70. Os blocos, superfícies físicas de projeção, são construídos no laboratório, de acordo com o modelo digital, usando poliuretano.

Fonte: <http://www.cs.unc.edu/Research/oof/Projects/beingthere.html>

Figura 71. Usuário interagindo com o ambiente virtual: usando spray para pintar uma janela que não existe fisicamente.

Fonte: <http://www.cs.unc.edu/Research/oof/Projects/beingthere.html>

4.2.2. Projeto Arquitetônico

Caso 05

Título /nome do projeto: **Lab Cog**

Área(s) Aplicada(s): Projeto de Arquitetura.

Autor(es): GRVa (Grupo de Realidade Virtual Aplicada) / LAMCE

Instituição(ões): COPPE / UFRJ

Ano: 2006

Fonte: GRVa

Link / email: <http://www.lamce.ufrj.br>

Dispositivo de Interface: Baseado em Monitor

Descrição Resumida do Projeto: Através de uma interface criada no programa *Macromedia Director*, o usuário desse sistema pode revelar completa ou parcialmente (20 ou 50%) e também esconder, partes de uma edificação, como: portas, piso, parede, etc. Além de facilitar a análise projetual, é também uma ótima interface para apresentação do projeto.

O modelo digital é visto em um monitor, e o rastreamento da imagem é feito através de marcadores fiduciais, compatíveis aos padrões do DART, biblioteca utilizada nesse caso.

Trabalhos Futuros: O grupo pretende acrescentar mais camadas que possam sumir ou aparecer no modelo, como instalações, cobertura e outros.

Imagens:



Figura 72. *Print Screen* da interface do sistema com maquete eletrônica do Lab Cog.
 Fonte: GRVa (Grupo de Realidade Virtual Aplicada)

Caso 06

Título /nome do projeto: **TINMITH2**

Área(s) Aplicada(s): Projeto de Arquitetura, Construção

Autor(es): Bruce Thomas, Wayne Piekarski, and Bernard Gunther

Instituição(ões): University of South Austrália

Ano: 2006

Fonte: <http://www.tinmith.net/>

Link / email: <http://www.tinmith.net/>

Dispositivo de Interface: Videocapacete

Descrição Resumida do Projeto: Com o uso de videocapacetes leves e sistemas GPS, esse projeto mostra a possibilidade de projetar e analisar arquitetura em ambientes externos. A primeira experiência foi com a visualização de uma edificação anexa a um prédio no Campus da Universidade. Os alunos puderam ter a sensação de espaço. Ajustaram medidas, definiram alturas, puderam constatar a contribuição dessa ferramenta, complementando a tecnologia CAD e libertando o projeto de somente representações 2D.

Trabalhos Futuros: os autores pretendem desenvolver o sistema, evoluindo para o TIMITH3, onde melhoras na arquitetura do sistema e outras funcionalidades poderão ser implementadas, como: modelo de luz solar para mostrar sombras durante o dia; animações de porta abrindo, pessoas caminhando, etc.; renderings 3D mais completos, com textura; e outros.

Imagens:

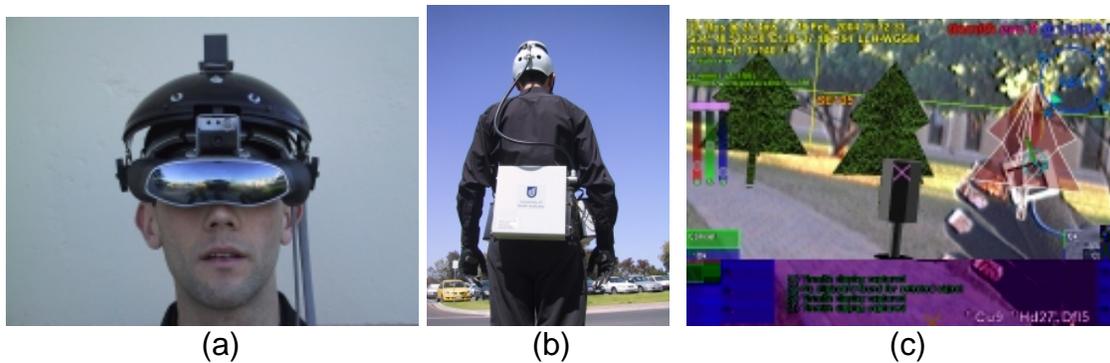


Figura 73. Videocapacete (a) Visão do sistema móvel – Computador – Vestimenta (b) Visão subjetiva do usuário (c)

Fonte: <http://www.tinmith.net/>

4.2.3. Construção

Caso 07

Título /nome do projeto: **Architectural Anatomy e Augmented Reality for Construction (ARC)** (Anatomia Arquitetônica e RA para Construção)

Área(s) Aplicada(s): Construção

Autor(es): Steven Feiner, Anthony Webster, Blair MacIntyre, and Tobias Höllerer

Instituição(ões): Computer Graphics and User Interfaces Lab da Columbia University

Ano: 1999

Fonte: <http://www1.cs.columbia.edu/graphics/>

Link / email: <http://www1.cs.columbia.edu/graphics/> ou
<http://www1.cs.columbia.edu/graphics/projects/arc/arc.html>

Dispositivo de Interface: Óculos Translúcidos

Descrição Resumida do Projeto: Dois sistemas de Realidade Aumentada para o uso da engenharia civil e da arquitetura. O primeiro chamado “*Architectural Anatomy*” (anatomia arquitetônica), que sobrepõe uma representação gráfica de trechos do sistema estrutural da construção à imagem que o usuário está vendo do lugar. O óculos translúcido fornece ao usuário gráficos aumentados em uma lente (monocular) e traça a posição e a orientação de sua cabeça com um traçador de posição ultrasônico.

A outra aplicação de Realidade Aumentada feita por esse laboratório enfoca a construção de treliças espaciais, com o mesmo sistema. A estrutura é montada passo a passo, uma aresta de cada vez. Para cada etapa da construção o sistema de realidade aumentada:

- dirige o operário até uma pilha de peças e o indica qual pegar através de instruções sonoras;
- confirma a escolha certa do operário através de um leitor de código de barras;
- direciona o operário para a instalação do componente. Uma imagem virtual da próxima peça com um texto anexado ao seu lado, indica aonde deve ser colocada a peça. E instruções sonoras são também explicam como fazê-lo;
- confirma se o componente foi instalado corretamente.

Imagens:

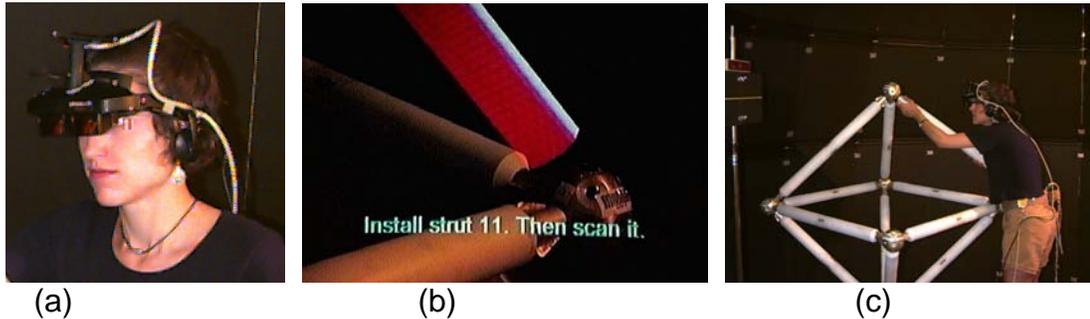


Figura 74. O óculos translúcido com o traçador de posição ultrasônico (a) Visão aumentada com instruções (b) Instalando a estrutura (c)
Fonte: <http://www1.cs.columbia.edu/graphics/>

Caso 08

Título /nome do projeto: **ARMILLA5**

Área(s) Aplicada(s): Construção e projeto arquitetônico

Autor(es): Hovestadt; Ludger Hovestadt; Volkmar

Instituição(ões): Universidade de Kaiserslautern, Alemanha

Ano: 2004

Fonte: Hovestadt, Ludger & Hovestadt, Volkmar. **ARMILLA5 – Supporting Design, Construction and Management of Complex Buildings, 2000.** University of Kaiserslautern, Germany.

Link / email: lhov@rhrk.uni-kl.de / volkmar@ifib.uni-karlsruhe.de

Dispositivo de Interface: óculos translúcido (pode usar outros, mas esse foi testado)

Descrição Resumida do Projeto: é um sistema de desenho auxiliado por computador, que suporta o projeto coletivo de edificações complexas (como laboratórios, escolas, etc). Os arquitetos e engenheiros se encontram na Internet e preparam a construção do prédio através de uma simulação do local. O ARMILLA-5 tem três componentes essenciais: o modelo geométrico – que descreve os aspectos físicos e espaciais da construção; o modelo semântico – que implementa os componentes passivos da

construção como objetos e os componentes ativos como *applets*; e por último, o modelo de planejamento – que organiza os passos do trabalho dos engenheiros e seus colaboradores. Esse sistema é aplicado no local da obra com o auxílio da Realidade Aumentada, através de óculos translúcidos, expandindo a construção virtual e ajudando nas informações e fases da construção real do projeto virtual.

Imagens:

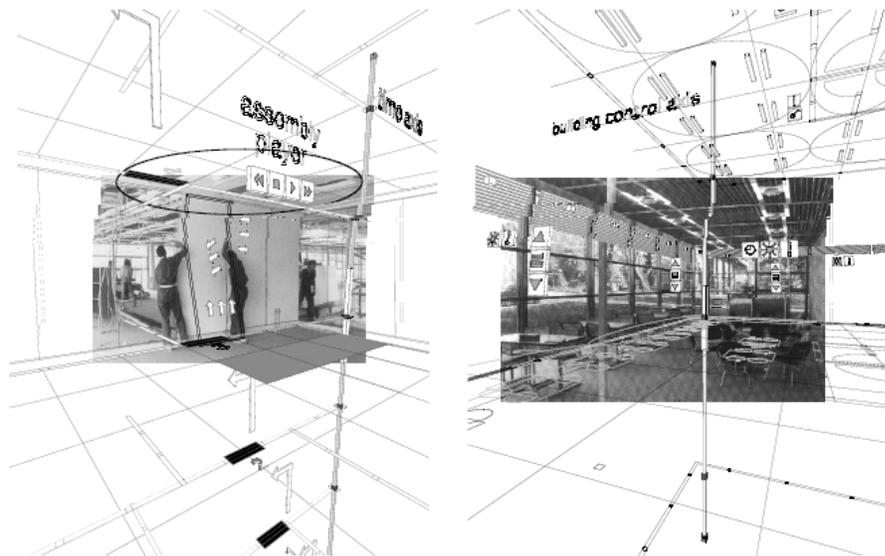


Figura 75. Desenho esquemático de Visão Aumentada no canteiro de obras.
Fonte: www.ubka.uni-karlsruhe.de

4.2.4. Urbanismo

Caso 09

Título /nome do projeto: **BENCHWORKS**

Área(s) Aplicada(s): Projeto Urbano

Autor(es): Hartmut Seichter

Instituição(ões): Department of Architecture The University of Hong Kong

Ano: 1996 – 2005

Fonte: Seichter, Hartmut. **BENCHWORKS - Augmented Reality Urban Design, 2004.**
University of Hong Kong, Department of Architecture

Link / email: <http://www.technotecture.com> / seichter@technotecture.com

Dispositivo de Interface: Videocapacete

Descrição Resumida do Projeto: ferramenta que utiliza Realidade Aumentada e interfaces tangíveis para projetos urbanos colaborativos. Os problemas encontrados em propostas de projetos urbanos são diferentes daqueles da arquitetura. A escala é um aspecto crucial no projeto urbano. Geralmente as questões não são de desenhos detalhados das edificações, e sim de compreensão das características espaciais do todo. As discussões usam plantas e modelos grandes do projeto urbano. Os modelos são incômodos e de difícil acesso para reuniões colaborativas. Benchworks é um protótipo para um sistema de Realidade Aumentada para a análise e representação do projeto em escala urbana. O sistema é projetado como uma bancada para conjunta e dinamicamente, ser explorado um modelo tridimensional do projeto em tempo real. O estudo é feito através de cheios (edificações) e vazios.

Tecnicamente o sistema combina rastreamento ótico em forma do ARtoolkit e tracking magnético. A base é uma mesa: *SmartTech SMARTBoard™*, a interface são cubos com marcadores e pistolas, além de um leve óculos (monitores) combinado com uma simples *webcam*.

Imagens:



Figura 76. Configuração do Sistema BenchWorks
 Fonte: <http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/>

Figura 77. O usuário está arrastando um modelo virtual, através de uma ferramenta que traça a posição do objeto.

Fonte: <http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/>

Caso 10

Título /nome do projeto: **MARS** - Sistema Móvel de Realidade Aumentada para Exploração Do Ambiente Urbano

Área(s) Aplicada(s): Urbanismo, História da Arquitetura

Autor(es): Steven Feiner, Tobias Höllerer, Elias Gagas, Drexel Hallaway, Tachio Terauchi, Sinem Güven, and Blair MacIntyre

Instituição(ões): Graphics and User Interfaces Lab da Columbia University

Ano: 2003

Fonte: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm

Autor(es): Jesús Lorés Vidal (coord), Carles Aguiló, Alexandra Balaguer, Toni Granollers, Gemma Raimat and Xavier Vilardell

Instituição(ões): Universidade de Lleida – GRIHO (Grup de Recerca Interacció Persona Ordinador / Research Group on Human – Co

Autor(es): Tom Drummond, Gerhard Reitmayr and Ethan Eade

Instituição(ões): University of Cambridge, UK

Ano: 2005

Fonte: site da universidade de Cambridge – Departamento de Engenharia

Link / email: <http://mi.eng.cam.ac.uk/%7Egr281/augmentedmaps.html>

Dispositivo de Interface: Baseada em Projeção

Descrição Resumida do Projeto: Sistema que adiciona informações a um mapa colocado sobre uma mesa. Através de um projetor (ver imagem do esquema, Figura 81a) visualiza-se a área estudada. No caso da simulação apresentada, a área estudada é o entorno do rio Cam, na cidade de Cambridge. O usuário pode interagir da seguinte maneira: vários marcadores (*leds*) estão localizados no mapa, cada ponto desse oferece um ou mais tipo de informação. Um cartão branco serve como navegador, e se colocado sobre um ponto desses, poderá mostrar uma foto ou um vídeo. Um outro elemento é o *palm top* que serve como controlador e como janela para Internet. Tem também um helicóptero virtual que pode ser posicionado através do controle do *palm top* e na área escolhida para sobrevoar ele poderá mostrar imagens em tempo real do local. Botando o *palm top* sobre um dos pontos (marcadores) é possível acessar sites que tenham ligação com a área. Esse projeto é financiado pela Boeing Company.

Imagens:



Figura 80. Um mapa aumentado mostrando a área de inundação de um rio. Muitas ferramentas de interface tangível permitem o acesso à informação adicional (a) usuário interagindo com o sistema (b).
Fonte: <http://mi.eng.cam.ac.uk/%7Egr281/augmentedmaps.html>

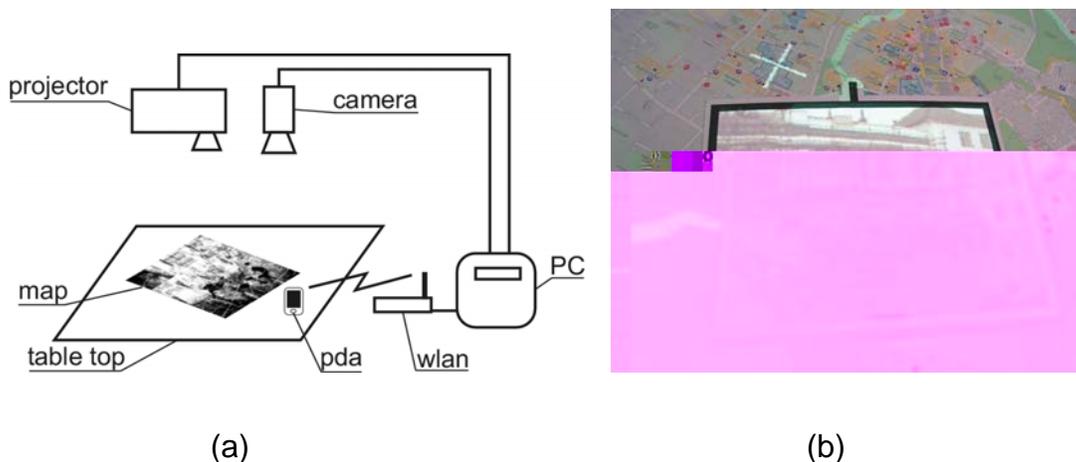


Figura 81. Visão esquemática do sistema (a) O navegador (cartão branco) em uso (b).
 Fonte: <http://mi.eng.cam.ac.uk/%7Egr281/augmentedmaps.html>

Caso 13

Título /nome do projeto: **ARTHUR** (Augmented Round Table for Architecture and Urban Planning) – Mesa Redonda Aumentada para Arquitetura e Planejamento Urbano

Área(s) Aplicada(s): Planejamento Urbano e Projeto Arquitetônico

Autor(es): Ava Fatah gen. Schieck, Alan Penn, Chiron Mottram, Andreas Strothmann, Jan Ohlenburg, Wolfgang Broll, Francis Aish

Instituição(ões): The Bartlett, University College London

Ano: 2004

Fonte: Fatah, Ava et al. **Interactive Space Generation Through Play – Exploring Form Creation and the Role of Simulation on the Design Table, 2004.** The Bartlett, University College London.

Link / email: <http://www.vr.ucl.ac.uk>

Dispositivo de Interface: Videocapacete

Descrição Resumida do Projeto: O projeto ARTHUR desenvolveu uma interface para projetar em grupo ao redor de uma mesa. Usa videocapacetes, desenvolvidos pela Ericsson Saab Avionics. Câmeras presas a ele e técnicas de visão computacional, traçam o movimento dos usuários. Os marcadores óticos, que são a peças colocadas no ambiente real, permitem a interação. Esses marcadores podem estar ligados a

edifícios ou blocos do modelo 3D e também podem fazer o papel de controladores, para mover, escalar, por exemplo. É um projeto colaborativo, onde os usuários tomam decisões em conjunto, podendo ser aplicado para projetos arquitetônicos ou urbanos. No artigo estudado, os autores fizeram um experimento, em planejamento urbano, inserindo o movimento de pedestres, visto em tempo real, para influenciar no desenho urbano e na tomada das decisões. Os resultados obtidos revelaram que o sistema unido a simulação do movimento dos pedestres é positivo na exploração de diferentes soluções de projeto, assim como em novos modos de pensar os problemas do desenho.

Imagens:

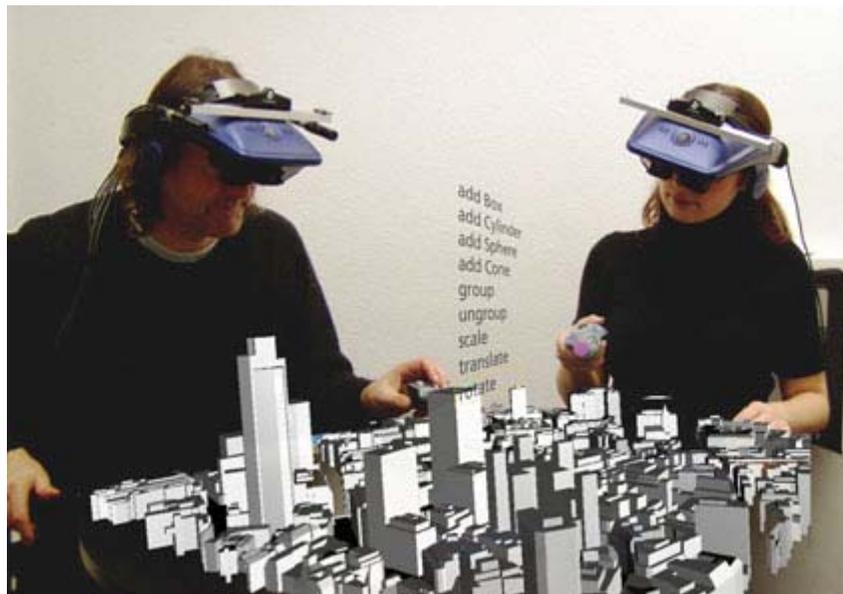


Figura 82. Usuários interagindo com o ARTHUR.
Fonte: <http://www.vr.ucl.ac.uk/images/arthur.html>

4.2.5. Paisagismo

Caso 14

Título /nome do projeto: **ILLUMINATING CLAY: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis** (Interface Tangível para Análise da Paisagem)

Área(s) Aplicada(s): Paisagismo, Engenharia e Urbanismo

Autor(es): Ben Piper, Carlo Ratti and Hiroshi Ishii

Instituição(ões): Tangible Media Group - MIT Media Laboratory Cambridge, Mass. USA

Ano: 2002

Fonte: Piper, Ben, Ratti, Carlo e Ishii, Hirijoshi. **ILLUMINATING CLAY: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis, 2002.** Tangible Media Group MIT Media Laboratory Cambridge.

Link / email: {benpiper, ratti, ishii}@media.mit.edu

Dispositivo de Interface: Baseado em Projeção

Descrição Resumida do Projeto: Sistema para análise de modelos de paisagem em tempo real. Os usuários alteram a topografia de uma maquete enquanto um scanner, de cima, varre as informações e depois projeta, as mudanças / análises de volta para a mesa de trabalho, que são registradas na superfície do modelo.

Um cenário possível seria a construção de uma rodovia aliada ao projeto de complexos de edifícios e o paisagismo do entorno. Engenheiros Civis, ambientais, urbanistas e paisagistas se reúnem numa mesa para discutir o projeto. Uma engenheira pressiona o dedo no modelo para fazer um corte no terreno, onde ficaria um estacionamento. Uma luz amarela acende em outra parte do modelo e outro engenheiro explica que naquela área há sérios riscos de desabamento e inundação, decorrente da mudança feita. O paisagista sugere a colocação de um monte de terra no entorno do estacionamento e assim, incluem mais material no modelo, simulando a situação que é escaneada e todos vêem a resposta projetada com

(a)

(b)

Figura 83. O sistema em uso, representações computacionais sendo projetadas diretamente no modelo
(a) Diagrama da Arquitetura do Sistema(b).

Fonte: <http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/>

Caso 15

Título /nome do projeto: **Interface Tangível Aplicada ao Geoprocessamento:**
diferentes formas de visualização científica para um modelo de elevação digital.

Área(s) Aplicada(s): Paisagismo, Geociência.

Autor(es): Paula Faragó Vieira Barbosa

Instituição(ões): COPPE / UFRJ

Ano: 2007

Fonte: GRVa / LAMCE / COPPE /UFRJ

Link / email: farago@lamce.coppe.ufrj.br

Dispositivo de Interface: baseado em monitor e em projeção ;

Descrição Resumida do Projeto: Este trabalho objetiva facilitar a interação de usuários com a análise de Modelos de Elevação Digital de terreno (DEM) aplicando técnica Interface Tangível de usuário (TUI) utilizando recursos não encontrados nos softwares correntes, a fim de melhorar a interpretação da análise de terrenos de forma colaborativa através de diferentes formas de visualização. Estas podem ser vistas em 2D, 3D e por uma representação física realizada por um equipamento eletromecânico

específico. Estas formas de visualização estarão integradas para obtenção de



Figura .Marcadores fiduciais utilizados no projeto.
Fonte: GRVa

Caso 16

Título /nome do projeto: **DIGITAL SANDBOX** - Integrating Landform Making and Analysis for Landscape Design

Área(s) Aplicada(s): Urbanismo e Paisagismo

Autor(es): Ellen Yi-Luen Do , Robert M. Harris

Instituição(ões): Design Machine Group, University of Washington- USA

Ano: 2001

Fonte: Yi-Luen Do, Ellen. **Integrating Landform Making and Analysis for Landscape Design, 2001**. Design Machine Group, University of Washington.

Miton Harris, Richard. **The Digital Sandbox: Integrating Design and Analysis in a New Digital Earth-forming Tool, 2001**. Master of Landscape Architecture University of Washington.

Link / email: <http://code.arc.cmu.edu/lab/html/project9.html>

Dispositivo de Interface: Baseado em projeção

Descrição Resumida do Projeto: Ferramenta para projetos de paisagismo que fornece capacidades para análise e desenho ao mesmo tempo sobre o mesmo ambiente. Usa processamento de imagem e gestos manuais para interferir na forma do modelo digital e simular inundações e acúmulos de água no terreno. O usuário , através de gestos espaciais, pode “esculpir” uma topografia digital, adicionar árvores e edifícios e rodar um modelo simples que demonstre fluxos de água na superfície do terreno.

Em uma tela é projetado o modelo 3D. O usuário veste uma luva preta. A câmera captura os gestos, facilmente através do contraste da luva com o fundo, que é a tela de projeção, branca. Esses gráficos são interpretados e as respostas são gráficos implementados no Microsoft Direct 3D.

Imagens:

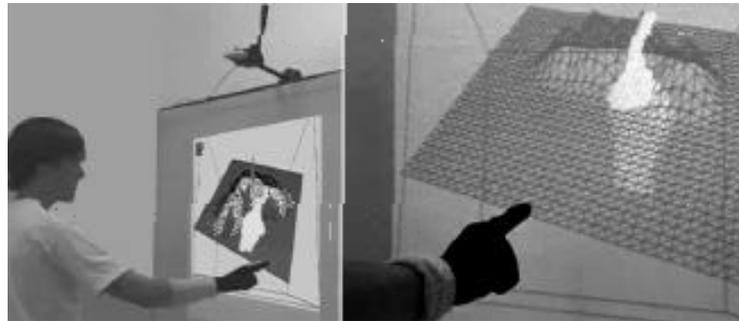


Figura 85. Usuário interagindo com o *Digital Sandbox*.
 Fonte: <http://code.arc.cmu.edu/sandbox/Research/web.htm>



Figura 86. Gestos reconhecidos pelo sistema.
 Fonte: <http://code.arc.cmu.edu/sandbox/Research/web.htm>

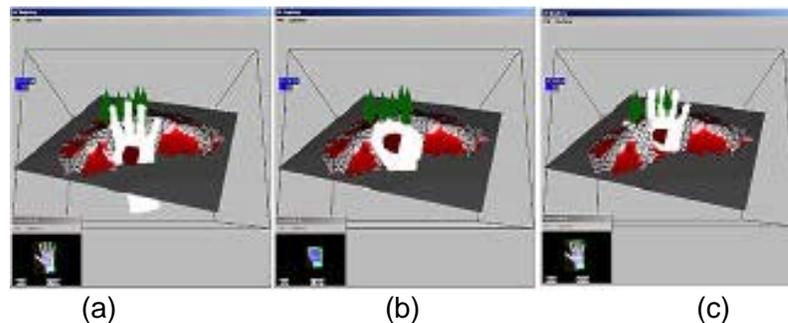


Figura 87. O gesto “cinco” selecionando os edifícios (a) o gesto “O” segura e move o edifício (b) O gesto “cinco” depois do “O” solta o edifício na posição desejada.
 Fonte: <http://code.arc.cmu.edu/sandbox/Research/web.htm>

4.2.6. Restauração

Caso 17

Título /nome do projeto: **Cooling Factory**

Área(s) Aplicada(s): Restauração

Autor(es): Dirk Donath, Jakob Beetz, Klaus Grether, Ernst Kruijff, Frank Petzold, Hartmut Seichter

Instituição(ões): InfAR – computer science in architecture Bauhaus-Universität Weimar Geschwister-Scholl

Ano: 1994 – 2007

Fonte: Donath, Dirk et al. **Cooling Factory, a concrete project to test new architectural applications for augmented reality, 2006.** InfAR – computer science in architecture Bauhaus-Universität Weimar Geschwister-Scholl Strasse

Link / email: <http://infar.architektur.uni-weimar.de/infar/engl/research/gebis/>

Dispositivo de Interface: Videocapacete ou óculos translúcido.

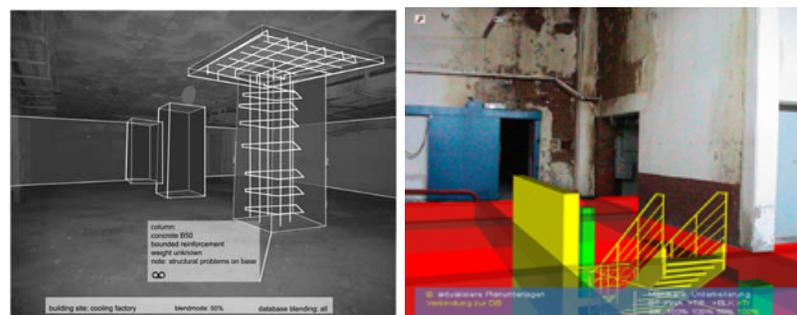
Descrição Resumida do Projeto: Há muitas propostas em desenvolvimento na Alemanha para projetos arquitetônicos de restauração, já que neste país há um crescente desenvolvimento de projetos desse tipo que combinam novos prédios com renovações.

O sistema inclui o uso do planejamento através das ferramentas CAD unidas à visualização em RA, além da integração das diversas disciplinas envolvidas nesses projetos e também os clientes via sistemas de informação e comunicação.

Os sistemas de RA, através de seus diversos dispositivos, combina técnicas de levantamento (medidas, textos, fotos, vídeos, croquis, gráficos), torna possível a visualização em escala real 3D para facilitar o entendimento de clientes e outros envolvidos no canteiro de obra (colaborando nas dificuldades com representações bidimensionais) e também, oferece uma plataforma de comunicação, em telepresença, interativa entre os vários envolvidos no projeto.

Observações: Foi observado no desenvolvimento do projeto que com a efetiva preparação e transferência de informação, há uma redução grande nos atrasos e contratempos que esses processos de restauração exigem. O que pode agilizar os projetos, facilitar as interações das diversas áreas e se o modelo começar a ser aplicado nos diversos projetos existentes na Alemanha, poderá baixar custos e gerar maior eficiência e rapidez.

Imagens:



(a)

(b)

Figura 88. Visão aumentada para checar reforços estruturais (a) Outra visão aumentada.
Fonte: <http://infar.architektur.uni-weimar.de/infar/engl/research/gebis/>

4.2.7. Ensino

Caso 18

Título /nome do projeto: Construct 3D

Área(s) Aplicada(s): Ensino de matemática e geometria

Autor(es): Hannes Kaufmann

Instituição(ões): Interactive Media Systems Group / Institute for Software Technology and Interactive Systems / Vienna University of Technology

Ano: 2007

Fonte: site da Technische Universität Wien (Vienna University of Technology)

Link / email: <http://www.ims.tuwien.ac.at/research/construct3d/>

Dispositivo de Interface: Videocapacete

Descrição Resumida do Projeto: Trata-se de uma ferramenta voltada para o ensino de matemática e geometria que utiliza Realidade Aumentada para promover uma relação mais natural, frente a frente, entre professores e alunos. A maior vantagem em utilizar RA, é que os estudantes passam a ver os objetos tridimensionais, que antes eles tinham que calcular e desenhar em um papel. Trabalhar diretamente em um espaço 3D, poderá gerar melhor e mais rápida compreensão e apreensão de questões espaciais do que com os métodos tradicionais.

Imagens:



Figura 89. Foto montagem da visão dos alunos interagindo com formas geométricas.
Fonte: <http://www.ims.tuwien.ac.at/research/construct3d/>

4.2.7.2. Caso 19

Título /nome do projeto: **Mobile Augmented Reality for Spatial Information Exploration** (RA Móvel para Exploração de Informação Espacial)

Área(s) Aplicada(s): Ensino de Arquitetura Sustentável

Autor(es): Chyi-Gang Kuo, Hsuan-Cheng Lin, Yang-Ting Shen, Tay-Sheng Jeng

Instituição(ões): Information Architecture Lab - Department of Architecture - National Cheng Kung University – Taiwan

Ano: 2003

Fonte: Kuo, Chyi-Gang et al. **Mobile Augmented Reality for Spatial Information Exploration, 2003**. Information Architecture Lab, Department of Architecture, National Cheng Kung University, Taiwan.

Link / email: chyigang@mail.ksut.edu.tw

Dispositivo de Interface: Baseado em Monitor (*tablet PC*)

Descrição Resumida do Projeto: Sistema desenvolvido para o ensino de arquitetura sustentável em campo. A aplicação foi feita em um jardim ecológico na faculdade. Os alunos-usuários podiam ver, virtualmente, através de modelos 2D e 3D, todo o sistema implantado no jardim para a circulação da água, que é reaproveitada ecologicamente. Além dos gráficos ilustrativos, outras informações textuais ficavam sobrepostas ao cenário real. Através de um tablet, os alunos podiam ver o que estava “invisível” no jardim, além de poder interagir em tempo real, fazendo anotações e observações na camada virtual.

Trabalhos Futuros: Essa pesquisa é parte de um projeto chamado “Campus Sustentável” e pretende ser implementado em vários outros pontos da universidade.

Imagens:

Figura 90. O usuário pode escrever, diretamente na tela, notas e marcações pessoais e também baixar novas informações da Internet, incluindo nos seus apontamentos.

Fonte: <http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/>

Caso 20

Título /nome do projeto: **Luminous Table** (Mesa Luminosa)

Área(s) Aplicada(s): Ensino de Urbanismo

Autor(es): Ben Piper, Carlo Ratti* and Hiroshi Ishii

Instituição(ões): Tangible Media Group - MIT Media Laboratory Cambridge, Mass. USA

Ano: 2000

Fonte: Ishii, Hiroshi ET al. **Augmented Urban Planning Workbench: Overlaying Drawings, Physical Models and Digital Simulation, 2000**. Tangible Media Group, MIT Media Laboratory.

Link / email: {benpiper, ratti, ishii}@media.mit.edu

Dispositivo de Interface: Baseada em Projeção

Descrição Resumida do Projeto: o projeto visa sobrepor num mesmo sistema os vários modos de representação usados no processo de um projeto urbano: desenhos bidimensionais, maquetes e simulação digital. Todo o material é colocado numa mesa, suas posições são reconhecidas pelo computador e simulações digitais são projetadas sobre os materiais. Isso inclui, sombras, simulação de tráfego, modelos tridimensionais de edifícios, ruas, topografias.

Imagens:

Figura 91. O *Luminopus Table* suporta representações digitais *multi-layer*, várias técnicas 2d, 3d, desenhos, etc...

Fonte: [tp://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/](http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/)

Figura 92. Esquema de projeção na parede da imagem aumentada, capturada por uma pequena câmera digital com traçador de posição.
Fonte: [tp://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/](http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/)



Figura 93. Estudantes de Planejamento Urbano utilizando o sistema em aula.
Fonte: [tp://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/](http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/)

4.2.8. Casos Especiais

Caso 21

Título /nome do projeto: **SignPost**

Área(s) Aplicada(s): Guia para interiores de edificações

Autor(es): Daniel Wagner, Dieter Schmalstieg

Instituição(ões): Vienna University of Technology

Ano: 2003

Fonte: site do StudierStube AR Project

Link / email: http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld_ar/signpost2007.php

Dispositivo de Interface: Baseado em monitor (*palm top*)

Descrição Resumida do Projeto: O sistema guia o usuário por uma edificação desconhecida, mostrando alguns elementos como portas, janelas, interruptores, dutos de ar condicionado, virtualmente sobrepostos ao ambiente real. Os gráficos são mostrados em *wireframe*. O sistema funciona da seguinte maneira: marcadores fiduciais são fixados nas paredes e “lidos” pela câmera do *palm top*, que calcula a posição do usuário. Este configura a posição inicial e a final do percurso desejado na planta baixa virtual. O sistema mostrará, através de uma seta, o caminho a ser feito, até chegar ao objetivo final.

Imagens:

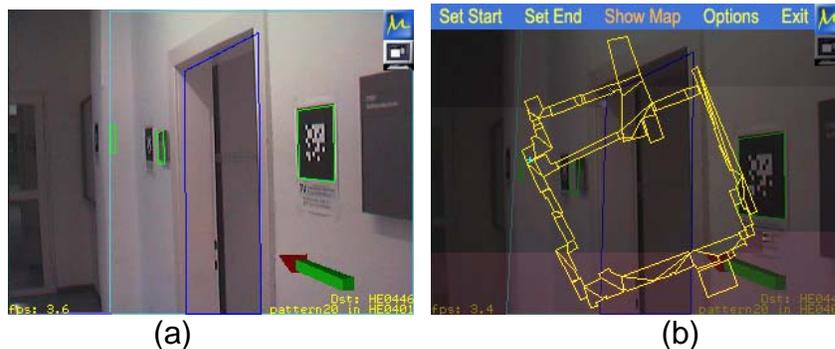


Figura 94. Visões aumentadas do Sign Post (a,b)
Fonte: http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld_ar/signpost2007.php

4.2.8.2. Caso 22

Título /nome do projeto: **ARQuake** (Augmented Reality Quake)

Área(s) Aplicada(s): Entretenimento

Autor(es): Thomas, B., Close, B., Donoghue, J., Squires, J., De Bondi, P., Morris, M., and Piekarski, W

Instituição(ões): Wearable Computer Lab at the University of South Australia

Ano: 2006

Fonte: site do Projeto ARQuake

Link / email: <http://wearables.unisa.edu.au/projects/ARQuake/www/>

Dispositivo de Interface: Videocapacete

Descrição Resumida do Projeto: versão em Realidade Aumentada do jogo Quake. Permite que o usuário interaja no espaço real, como atirador, com os gráficos virtuais, se movendo livremente pelo espaço munido de um computador-vestimenta e rastreado por GPS.

Imagens:

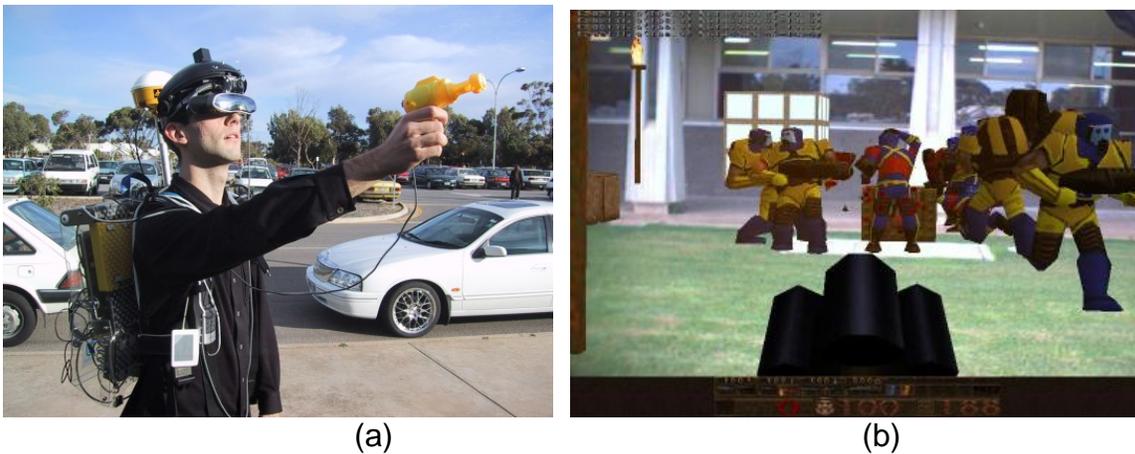


Figura 95. A interface do ARQuake (a) Visão subjetiva aumentada (b)
Fonte: <http://wearables.unisa.edu.au/projects/ARQuake/www/>

Caso 23

Título /nome do projeto: **MARQ** (Mobile Augmented Reality Quest)

Área(s) Aplicada(s): Museus (guia)

Autor(es): Daniel Wagner, Dieter Schmalstieg / Zsolt Szalavári

Instituição(ões): Graz University of Technology / Vienna University of Technology

Ano: 2005 / 2006

Fonte: site do StudierStube AR Project

Link / email: http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld_ar/marq.php

Dispositivo de Interface: Baseado em Monitor (*Palm Top*)

Descrição Resumida do Projeto: é um Guia Eletrônico aplicado para museus. Através de *palm tops* os visitantes podem percorrer o museu obtendo informações virtuais adicionais, sobrepostas ao ambiente real, multimídia (textos, sons, vídeos, etc), exibidas através da tela do *palm top*. Através da posição do visitante tais informações são enviadas e podem ser compartilhadas por grupos (multi-usuário).

Imagens:



Figura 96. Usuários no museu, com o dispositivo de visualização (*palm top*)

Fonte: http://www.imagination.at/en/?Projects:Scientific_Projects:MARQ_-_Mobile_Augmented_Reality_Quest#

CAPÍTULO 5 – Considerações Finais

A primeira consideração a ser feita é o quanto essa dissertação apresenta um conteúdo de caráter interdisciplinar. A Realidade Aumentada (RA) é uma área onde várias tecnologias se misturam para formar um sistema único. Os campos de Visão Computacional, Computação Gráfica e Interfaces de Usuários estão contribuindo ativamente para o avanço desses sistemas. A arquitetura e o Urbanismo também se apropriam do desenvolvimento tecnológico e conhecimentos de outras disciplinas para adaptarem-se às necessidades do seu tempo: incorporam as técnicas das indústrias náuticas, aeroespacial, cinematográfica e outras. Assim, ambos, tanto a RA como a Arquitetura e o Urbanismo, focos dessa dissertação, quando relacionadas, apresentam um quadro abrangente. Novas mesas de trabalho, novos caminhos pela cidade, novos modos de representação.

RA aplicada à Arquitetura e Urbanismo muda não só a relação homem-computador, mas também o comportamento humano nas cidades, nos locais de trabalho, nas suas próprias casas. PCs (*Personal Computers*), desconectados da mesa, permitem livre circulação e retomam o contato físico. Continuamos mediados pelos avanços das tecnologias da informação e da comunicação, já inseridas no nosso cotidiano, caminhando rumo aos desejos de Mark Weiser – interfaces **invisíveis** – e dos sonhos de Marcos Novak – o espaço como interface.

Integrando desenhos, análises, fabricação e montagem de edificações em torno de tecnologias digitais, arquitetos, engenheiros e construtores têm uma oportunidade de redefinir fundamentalmente as relações entre concepção e produção. A Realidade Aumentada se apresenta como uma ferramenta importante e útil para a Arquitetura e o Urbanismo Contemporâneos.

Através da compilação dos vários casos estudados, comprovamos o quanto esse sistema demonstra possibilidades e usos que irão mudar completamente o processo de produção arquitetônica. Para isso, os arquitetos devem também liberar a profissão das práticas anacrônicas do séc. XX. As aplicações examinadas englobam a utilização da

RA nas concepções formais da arquitetura digital, nos canteiros de obra, nas restaurações prediais, na manutenção elétrica e muitos outros como vimos.

Muitas das estratégias e técnicas de produção, que foram iniciadas por Frank Gerhy e seus inúmeros e menos conhecidos, mas aventureiros, colegas mais jovens, serão lugar comum amanhã, assim como as inovações de materiais e tecnologias do séc.XIX se tornaram corriqueiras no séc. XX.

As aplicações ainda não estão maduras, devido a problemas de base, apesar de apontarem inúmeras possibilidades e enormes potenciais de uso. A maioria dos projetos pesquisados aqui encontra-se em desenvolvimento e aperfeiçoamento. Muitos ainda estão em fase de protótipo. Isso é gerado por alguns fatores como por exemplo:

- Dificuldades no Registro: as pesquisas em torno das tecnologias de traçadores de posição, assim como dos dispositivos de exibição se engajam para o aperfeiçoamento técnico das mesmas, afim de atingir níveis satisfatórios, erros imperceptíveis ao olho humano, quando visualizada a combinação real/ virtual da visão aumentada.
- Gráficos simples: reparamos que os casos aqui levantados mostram níveis de complexidade baixos com relação aos modelos digitais. Primeiro porque para os *hardwares* gráficos processarem as imagens sintéticas, com texturas, luzes, etc., em tempo real, já sabemos que ainda é preciso aguardar. Em breve, com a velocidade da evolução dessas tecnologias, isso não será problema. Enquanto isso, como mencionado na seção 2.4.2 do capítulo 2, é necessário adaptar-se. Isso significa que com a otimização dos modelos digitais para tempo real, é possível chegar a resultados mais complexos, mais foto-realísticos, quando necessário.

Se analisarmos o gráfico abaixo, que representa os dispositivos de interface usados nos casos estudados, vemos que os dispositivos anexados à cabeça (videocapacetes e óculos translúcidos) são bastante utilizados. Apesar de estarem em pequena quantidade em nosso levantamento, as possibilidades de entrada no mercado de

consumo aparentam ser maiores para as tecnologias portáteis, como celulares e *palm tops*, por exemplo. Isso poderá acarretar uma mudança nesse quadro de dominação dos dispositivos anexados à cabeça (que ainda apresentam custos mais elevados e problemas ergonômicos). Mas é preciso estar atento aos dispositivos espaciais, sua dominância nos casos estudados comprova a grande eficiência e credibilidade em projetos que não necessitam de mobilidade.

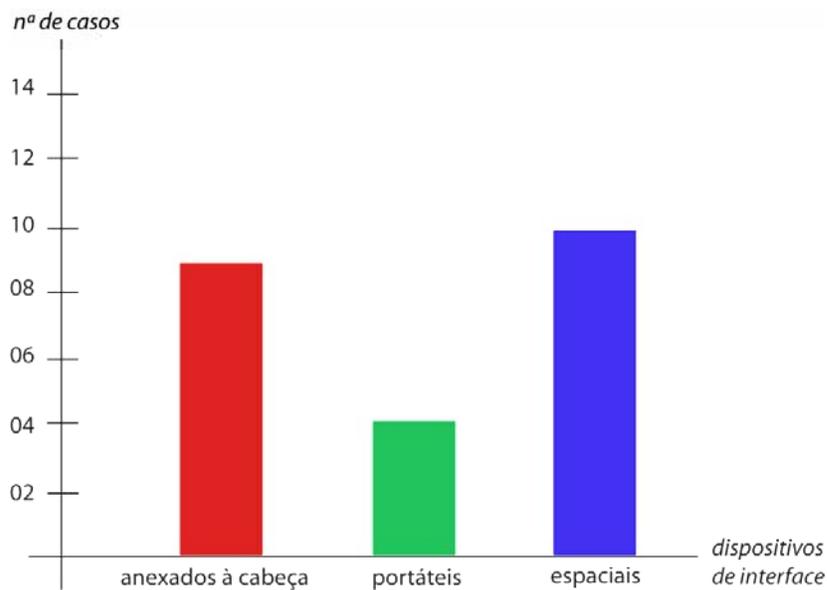


Figura 97. Dispositivos de Interface
Fonte: Gráfico Rodrigo Amim

Consideremos três escalas arquitetônicas: a pequena, que envolverá os projetos de interiores; a média, onde estão inseridos projetos arquitetônicos, construção e restauração; e por último, a grande, relativa ao urbanismo e ao paisagismo. Não iremos inserir aqui os casos especiais, porém aqueles casos dedicados ao ensino, entrarão na análise, de acordo com sua função e escala. Vejamos:

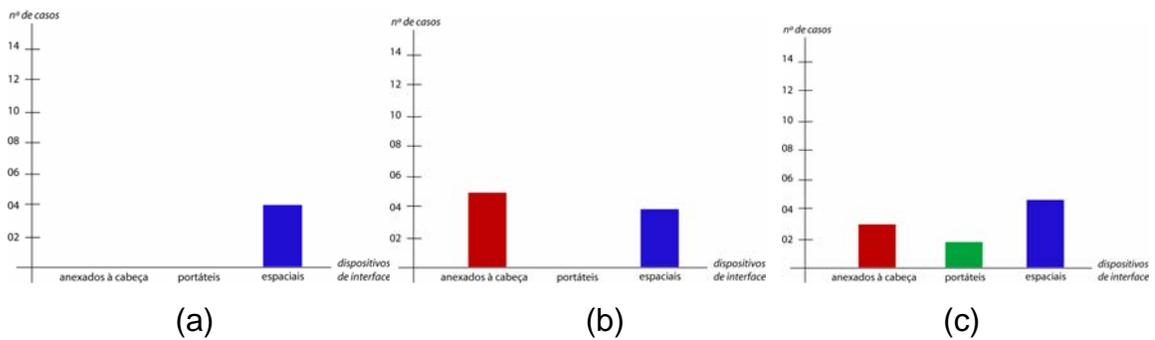


Figura 97. Gráficos relacionando Dispositivos de Interface e Escalas Arquitetônicas como mencionado: Pequena (a), Média (b) e Grande (c)
 Fonte: Gráfico Rodrigo Amim

Os gráficos acima nos ajudam a perceber várias características que podem ser discutidas profundamente, mas que aqui exploraremos apenas parte delas, ou seja, aspectos que nos chamaram atenção. O gráfico da pequena escala só contém dispositivos de interface espaciais. A princípio por ser uma escala que pode ser apreendida ou filmada com pequenas distâncias e por não necessitar de muita mobilidade, apresenta o quadro perfeito para aplicação dessas tecnologias. Já na escala média aparecem os dispositivos anexados à cabeça, que possibilitam que o usuário se mova, já que o espaço a ser explorado já é um pouco maior. Nesse caso, as tecnologias espaciais são mais aplicadas às maquetes ou modelos, em escala reduzida, de cada projeto específico. Por fim, na grande escala, vemos a ocorrência dos dispositivos portáteis, leves e confortáveis, ao contrário dos anexados à cabeça, eles permitem livre movimentação nessa escala, que é mais bem explorada se não houver limites de deslocamento.

5.1. Contribuições desta Dissertação

Agora, pode-se consultar um documento, onde tenta-se atualizar os usos de RA para Arquitetura e Urbanismo.

Com auxílio dessa dissertação, arquitetos, urbanistas, engenheiros, programadores computacionais, teóricos de vários campos, estudantes, profissionais da construção civil e outros interessados podem conferir o potencial de aplicação da ferramenta e ter noção do estado no qual a tecnologia se encontra. Isso poderá gerar mais interesses, mais pesquisas, conseqüentemente mais desenvolvimento.

Mais do que isso, esse documento pretende fazer parte do embasamento da mudança eminente da produção e educação nos campos especificados. Irá auxiliar no total ingresso dessas disciplinas na *Era Digital*.

5.2. Trabalhos Futuros

Algumas sugestões podem ser feitas:

- Desenvolver sistemas de RA aplicados à arquitetura;
- Criar condições para implementação nas universidades de novas formas de produzir arquitetura: criação em programas CAD, representação em 3D, materialização de modelos em impressoras 3d, experiências com escala 1:1, visualização em RA, etc... tentando reverter o anacronismo com criatividade e apostando em novas formas de lidar com o tempo presente;
- Desenvolver pesquisas para aplicações móveis, com celulares, por exemplo, para manutenção, já que essas tecnologias são acessíveis, os gráficos podem ser simples e leves. (o uso desse sistema é mais prático do que lidar com imensos e complexos manuais de instrução...);
- Usar o DART para desenvolver a visão espacial nas faculdades de arquitetura, engenharia. Inserir a RA no dia a dia para maiores investimentos e pesquisas na área. Essa ferramenta possui enorme potencial para educação;

- Demonstrações de análise energética, insolação, ventilação e outros, inclusive nos cursos de engenharia ambiental. O modelo pode ser visto de todos os lados (3D), facilitando a compreensão geral de tais fenômenos;
- Construções mais planejadas e racionalizadas, com otimização de tempo e recursos financeiros. RA auxiliando na fabricação e na montagem dos componentes, projetos colaborativos.

Referencia Bibliográfica

ARTOOLKIT. ARToolKit is a software library for building Augmented Reality (AR) applications. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/> . 2007.

AZUMA, R. Tracking Requirements for Augmented Reality. Communications of the ACM 36. pp 50-51, 1993

AZUMA, R. SIGGRAPH '95 Course Notes: A Survey of Augmented Reality. Los Angeles, Association for Computing Machinery, 1995.

AZUMA, R. and G. BISHOP. Improving static and dynamic registration in an optical see-through hmd. Proceedings SIGGRAPH '94 : 197-204, 1994.

BIMBER, OLIVER e RASKAR, RAMESH. Spatial Augmented Reality: Merging Virtual and Real Worlds. A K Peters. pp 71-90, 2004.

BRAGA, LUIZ ANTÔNIO. O mundo digital : homem e computador: uma comunicação em desenvolvimento. Dissertação de mestrado. PPGAV/Escola de Belas Artes/UFRJ, 1998.

BRAGA, ISIS FERNANDES. LANDAU, LUIZ. CUNHA, GERSON. “A study on augmented reality at the National Museum of Fine Arts of Rio de Janeiro”, in: Proceedings of the international workshop on applied modelling & simulation, pp. 165-172, Búzios, Brazil, April 5-7, 2006.

BRAGA, ISIS FERNANDES. Realidade Aumentada em Museus: As Batalhas do Museu Nacional De Belas Artes, RJ. Tese de Doutorado, UFRJ. 2007.

BROOKS, F. Augmented Reality. Disponível em <http://www.cs.unc.edu/Research/graphics>. Acessado em novembro de 2006.

CACHE, BERNARD. Earth Moves. Cambridge: MIT Press. 1995.

CHEN, CHIEN-TUNG & CHANG, TENG-WEN. 1:1 Spatially Augmented Reality Design Environment. Graduate Institute of Architecture, NCTU Graduate School of Computational Design, NYUST, 2006.

Computer Science at Columbia University. Disponível em <http://www.cs.unc.edu>. Acessado em maio de 2007.

CUNHA, Gerson. Augmented Reality. Realidade Aumentada e Visão computacional. in - <http://www.lamce.ufrj.br/grva/realidadeaumentada>. 2007.

DONATH, DIRK et al. Cooling Factory, a concrete project to test new architectural applications for augmented reality. InfAR – computer science in architecture Bauhaus-

Universität Weimar Geschwister-Scholl Strasse, 2006.

ESPINHEIRA NETO, RUY ALBERTO DE A.

Arquitetura Digital - A Realidade Virtual, Suas Aplicações e Possibilidades. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UFRJ, 2004.

FATAH, AVA et al. Interactive Space Generation Through Play – Exploring Form Creation and the Role of Simulation on the Design Table. The Bartlett, University College London, 2004.

FEINER, S. KARMA. Disponível em

<http://www.cs.columbia.edu/graphics/projects/karma>, 1995. Acessado em dezembro de 2006

FEINER, S., B. Macintyre, et al. Windows on the World: 2D Windows for 3D Augmented Reality. Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology . Atlanta, GA, Association for Computing Machinery: 145-155, 1993.

FEINER, S., B. MACINTYRE, et al. Knowledge-Based Augmented Reality. Communications of the ACM 36 (7): 53-62, 1993.

FEINER, S., T. WEBSTER, et al. Architectural Anatomy, Disponível em <http://www.cs.columbia.edu:80/graphics/projects>. Acessado em janeiro de 2007.

FJELD, M. (2001): Designing for Tangible Interaction. Ph.D. Dissertation at the Swiss Federal Institute of Technology, dissertation number 14229. Available at: <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/cgi-bin/show.pl?type=diss&nr=14229>.

FJELD, MORTEN. Physical and Virtual Tools: Activity Theory Applied to the Design of Groupware. Swiss Federal Institute of Technology, 2002.

FRAZER, JOHN. Evolutionary Architecture. London: Architectural Association, 1995.

HANSELL, SAUL Rio de Janeiro: jornal “O Globo”, caderno Info etc, capa, 14 maio, 2007.

HOCKNEY, DAVID. O conhecimento secreto: redescobrimo as técnicas perdidas dos grandes mestres. São Paulo: Cosac & Naify , pp. 224, 257, 2001.

HOVESTADT, LUDGER & HOVESTADT, VOLKAR. ARMILLA5 – Supporting Design, Construction and Management of Complex Buildings. University of Kaiserslautern, Germany. , 2000.

ISHII, HIROSHI et al. Augmented Urban Planning Workbench: Overlaying Drawings,

Physical Models and Digital Simulation. Tangible Media Group, MIT Media Laboratory.2000.

KOLAREVIC, BRANKO. Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. NY: Ed. Taylor & Francis. Pp 1-55, 2003.

KRUEGER, MYRON et al. Conference on human factors in computing systems disponível em http://a.parsons.edu/~praveen/thesis/html/wk05_1.html , 1985.

KUO, CHYI-GANG et al. Mobile Augmented Reality for Spatial Information Exploration. Information Architecture Lab, Department of Architecture, National Cheng Kung University, Taiwan, 2003.

LAMCE - <http://lamce.ufrj.br/GRVa/index/html>

LYNN, GREG. Animate Form. Princeton: Princeton Architectural Press. 1998.

LYNN, GREG. Architectural Curvilinearity: The Folded, the Pliant and the Supple. 1993.

MACHADO, LILIANE DOS SANTOS. Conceitos Básicos de Realidade virtual. Monografia apresentada e publicada - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE, Rio de Janeiro, p.1. 1995.

Machine Intelligence Laboratory. Disponível em <http://mi.eng.cam.ac.uk/%7Egr281/augmentedmaps.html>. Acessado em março de 2007.

MANHART, P. K., R. J. MALCOLM, et al. 'Augeye': A Compact, Solid Schmidt Relay for Helmet Mounted Displays. Proceedings 1993 IEEE Virtual Reality Annual International Symposium . Seattle, WA: 234-245. 1993.

MARS 2004. Mobile Augmented Reality Systems. Disponível em <http://www1.cs.columbia.edu/graphics/projects/mars/mars.html> . Acessado em março de 2007.

MILGRAM, P. Augmented Reality. Disponível em http://vered.rose.utoronto.ca/people/anu_dir/papers/atc/atcDND.html.Acessado em abril de 2007.

MILGRAM, P. AND F. KISHINO. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Transactions on Information Systems E77-D (12): 1321-1329. 1994

MILGRAM, P., H. TAKEMURA, et al. Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. SPIE Proceedings: Telem manipulator and Telepresence Technologies . H. Das, SPIE. 2351 : 282-292. 1994.

MILGRAM, P., S. ZHAI, et al. Applications of Augmented Reality for Human-Robot Communications. Proceedings of 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems : 1467-1476. 1993.

MIT 2004. MIT Handheld Augmented Reality Simulations. Disponível em <http://education.mit.edu/ar/index.html>. Acessado em maio de 2007.

MITON HARRIS, RICHARD. The Digital Sandbox: Integrating Design and Analysis in a New Digital Earth-forming Tool. Master of Landscape Architecture University of Washington, 2001.

NEGROPONTE, NICHOLAS. Architecture Machine. Cambridge: MIT Press. 1970.

PARENTE, André.(org). Imagem máquina: a era das tecnologias do virtual. Rio de Janeiro: Ed. 34. 1996.

PIPER, BEN, RATTI, CARLO E ISHII, HIRI]OSHI. Illuminating Clay: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis. Tangible Media Group MIT Media Laboratory Cambridge, 2002.

Polhemus Corporation (1996). Polhemus Trackers. Disponível em <http://www.together.com/trackres/ourprod.html>. Acessado em fevereiro de 2007.

RAPOSO, ALBERTO B.SZENBERG,FLÁVIO. GATTASS, MACELO E CELES, WALDEMAR. Visão Estereoscópica, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Colaboração.Disponível em www.tecgraf.pucRio.br/publications/artigo_2004_visao_estereoscopica_realidade_virtual. Acessado em abril de 2007.

Research Group on Human-Computer Interaction and Databases. Disponível em <http://griho.udl.es/angles/projectes/paradig/vilarsra.html>. Acessado em maio de 2007.

SEICHTER, HARTMUT. BENCHWORKS - Augmented Reality Urban Design. University of Hong Kong, Departament of Architecture, 2004.

SHOP/SHARPLES HOLDEN PASQUARELLI. Versioning: Evolutionary Techniques in Architecture. Academy Press. 2003

SILVA, RODRIGO LUIS DE SOUZA DA. Um modelo de redes bayesianas aplicado a sistemas de realidade aumentada. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, UFRJ, 2006.

STRAUSS, P. & CAREY, R. An Object Oriented 3D Graphics Toolkit. In Proc., ASM SIGGRAPH '92. 1992.

Studierstube. Disponível em <http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/>. Acessado em junho de 2007.

The Wearable Computer Lab. Disponível em <http://wearables.unisa.edu.au/projects/ARQuake/www/>. Acessado em maio de 2007.

Timith Project. Disponível em <http://www.tinmith.net/>. Acessado em abril de 2007.

TRIPATHI, ANISHI. Augmented Reality : an Application for Architecture. Faculty of the School of Architecture. University of Southern California. Master of Building Science. , 2000.

Twien. Disponível em <http://www.ims.tuwien.ac.at/research/construct3d/>. Acessado em fevereiro de 2007.

University of Southern California. Disponível em <http://www.usc.edu/dept/architecture>. Acessado em maio de 2007.

Videoplace. Disponível em <http://netzspannung.org> .Acessado em junho de 2007.

WARE, C., K. ARTHUR, et al. Fish Tank Virtual Reality. Proceedings of InterCHI 93 Conference on Human Factors in Computing Systems . Amsterdam: 37-42.1993.

Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. Disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page. Acessado em junho de 2007.

YI-LUEN DO, ELLEN. Integrating Landform Making and Analysis for Landscape Design. Design Machine Group, University of Washington, 2001.

ZEVI, BRUNO. Saber ver a arquitetura. Martins Fontes, 1994.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)