Jogos Educacionais Baseados em Realidade Aumentada e Interfaces Tangíveis

Rafael Roberto[1], João Marcelo Teixeira[1], João Paulo Lima[1], Manoela Milena Oliveira da Silva[1], Eduardo Albuquerque[2], Daniel Alves[2], Veronica Teichrieb[1], Judith Kelner[1]

[1]Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Caixa Postal 7851 – 50.670-901 – Recife – PE – Brasil

[2]Universidade Federal de Goiás (UFG)
Caixa Postal 131 – 74.001-970 – Goiânia – GO – Brasil

{rar3,jmxnt,jpsml}@cin.ufpe.br, manoela.milena@gmail.com,
eduardo@inf.ufg.br, danfma@gmail.com, {vt,jk}@cin.ufpe.br

Abstract. *This tutorial aims to present the basic concepts of augmented reality, tangible user interfaces and educational games so that their integration can improve the experience of students in the classroom. For this, this tutorial shows how educational games influence on the children learning, especially for those up to eight years, and how it is possible to use augmented reality to create tangible users interfaces. By the end of this course is also shown the main steps in developing a tool involving all subjects cited above, thus sharpening the creativity and critical sense of the audience so that it can also create their own applications.*

Resumo. *Este tutorial tem como principal objetivo apresentar os conceitos básicos sobre realidade aumentada, interfaces tangíveis e jogos para educação de modo que a integração destes possa melhorar a experiência de alunos em sala de aula. Para isto, o texto mostra como os jogos educativos influenciam no aprendizado de crianças, em especial aquelas de até oito anos, e como é possível utilizar realidade aumentada na criação de interfaces tangíveis. Ao final do minicurso são mostrados os principais passos do desenvolvimento de uma ferramenta envolvendo todos os temas supracitados, aguçando assim a criatividade e o senso crítico da platéia de modo que ela também possam criar suas próprias aplicações.*

1. Introdução

Os jogos, de maneira geral, desempenham um papel importante no desenvolvimento da inteligência das crianças [Piaget, 1971]. Elas, por sua vez, apresentam uma evolução que perpassa pela exercitação, no período sensório-motor; jogos simbólicos, com predominância na fase escolar e com forte caracterização da imitação, jogos com regras, pressupondo a existência de parceiros e um conjunto de obrigações, conferindo-lhes um caráter social favorecendo avanços do pensamento e a preparação, a análise e o estabelecimento de relações.

Além da contribuição para os aspectos motores, atividades colaborativas são altamente relevantes para que as crianças compreendam que o seu sucesso não depende da derrota ou da depreciação de outra pessoa.

Este tutorial propõe a utilização de jogos como recurso pedagógico, de forma que eles sejam aproveitados em atividades de leitura ou escrita em alfabetização e outros conteúdos. Sendo usados no momento oportuno, espera-se ajudar no desenvolvimento do raciocínio infantil e na construção do conhecimento de forma criativa. Para atingir esse objetivo, os autores fazem uso de Realidade Aumentada (RA), uma tecnologia que possui suas raízes nas áreas de Visão Computacional e Computação Gráfica. Através da RA, é possível rastrear o mundo real e inserir nele elementos virtuais, acrescendo o mundo em que conhecemos de informações úteis à realização de uma tarefa específica.

A ligação entre a criança, usuária da aplicação a ser desenvolvida, e a aplicação em si, se dará por meio de interfaces tangíveis. Através da integração desses três elementos (jogos, RA e interfaces tangíveis), espera-se melhorar a experiência de alunos em sala de aula.

Este tutorial está organizado conforme descrito a seguir. Inicialmente, os conceitos básicos sobre RA, interfaces tangíveis e jogos para educação serão apresentados. Ao longo do texto, o leitor poderá perceber como os jogos educativos influenciam no aprendizado de crianças, em especial aquelas de até oito anos, e como é possível utilizar RA na criação de interfaces tangíveis. Em seguida, como forma de consolidação do conhecimento apresentado, um estudo de caso exemplifica os principais passos do desenvolvimento de uma ferramenta envolvendo todos os temas citados anteriormente, aguçando assim a criatividade e o senso crítico do leitor, de modo que ele/ela também possa criar suas próprias aplicações.

2. Educação Lúdica

Por um longo período de tempo, confundiu-se ensino com transmissão de conhecimentos. Nesse contexto, os alunos eram considerados passivos, sendo responsáveis apenas pela memorização dos conteúdos transmitidos pelo professor. Atualmente, porém, essas teorias foram derrubadas no sentido de que não há ensino sem aprendizagem e de que o conhecimento é encarado como um processo de construção.

Essa ideia de um ensino despertado pelo interesse do aluno acabou transformando o sentido do que se entende por material pedagógico. Nesse contexto, os jogos entram em cena, por serem bons facilitadores da aprendizagem. Apesar de existirem a muito tempo, os jogos em grupo tornaram-se bastante relevantes no contexto educacional ao considerarmos as ideias Piagetianas. Sob a perspectiva de Piaget, constatamos o quanto os jogos contribuem para o desenvolvimento infantil. Não somente Piaget, mas, “a maioria dos filósofos, sociólogos, etólogos e antropólogos concordam em compreender o jogo como uma atividade que contém em si mesmo o objetivo de decifrar os enigmas da vida e de construir um momento de entusiasmo e alegria na aridez da caminhada” [Antunes, 2008].

A valorização do jogo se dá, pois, a partir do momento em que focamos na aquisição de estratégias por parte dos pequenos. “O ato de jogar faz com que atitudes fundamentais e procedimentos importantes sejam aprendidos e adotados em diferentes

situações, sem que haja uma formalidade, um treinamento ou um exercício repetitivo"[Antunes, 2008]. Assim, os jogos proporcionam as crianças participarem efetivamente na construção de seu saber, pois a partir dos jogos, o aprendiz estabelece uma relação positiva com o conhecimento, já que este passa a ser percebido como uma real possibilidade. Esse aspecto torna-se bastante relevante, se considerarmos crianças com dificuldades de aprendizagem, que, em geral, possuem uma imagem negativa cristalizada em relação ao conhecimento. Em segundo lugar, através dos jogos, as crianças são incentivadas a desenvolver seu raciocínio, observar, questionar, discutir, interpretar, solucionar e analisar, já que estas são habilidades necessárias para se jogar bem.

Vale ressaltar, inclusive, que os jogos e brincadeiras estão presentes na vida das crianças fora dos muros da escola. Esse fato corrobora com a ideia de que a inserção do elemento lúdico em sala de aula somente contribui para o aumento do interesse e participação do aluno no processo de aprendizagem. Nesse sentido, já em 1999, as Diretrizes Curriculares Nacionais para a educação infantil ao estabelecer os fundamentos que devem nortear as propostas pedagógicas das creches e pré-escolas mencionou à ludicidade como um dos princípios estéticos que devem balizar a educação infantil [Antunes, 2007].

Ancorada em princípios construtivistas, as orientações acima explicitadas reconhecem a participação construtiva do aluno na produção de seu conhecimento. Nessa perspectiva, o jogo apresenta-se o melhor caminho de iniciação ao prazer estético, à descoberta da individualidade e à meditação individual. Ao lado dessa função, os jogos também se prestam à multidisciplinaridade e, dessa forma, viabilizam a exploração significativa dos conteúdos por parte dos aprendizes.

Outra forma de se apreciar a importância dos jogos no desenvolvimento infantil é através das teorias psicanalíticas trabalhadas por autores como: Winnicott, 1975; Lajonquière, 1992; Mrech, 1999; Santa Roza, 1999, entre outros (apud [Schartz, 2004]). Esses teóricos comparam o brincar com os sonhos. Consideram, assim, que o brincar possui conteúdos manifestos e ocultos que devemos nos dispor a escutar, caso desejemos propiciar uma educação que alie a maior liberdade possível, a menor repressão (BACHA, 1999 apud [Schartz, 2004]).

Observa-se, portanto, a partir do exposto, que embora com diferentes ênfases, todas as teorias do jogo e da brincadeira, desde as clássicas até as mais recentes apontam para a importância do lúdico como meio privilegiado de expressão e de aprendizagem infantil, reconhecendo não haver nada significativo na estruturação e no desenvolvimento de uma criança que não passe pelo brincar [Rodulfo, 1990].

2.1. Jogos Colaborativos

Sendo a competição e a cooperação valores e atitudes socioculturais, conclui-se que esses comportamentos são passíveis de ser ensinados e aprendidos através das diversas formas de interação humana, notadamente, pela educação. Nesta seção, enfocaremos o uso de jogos colaborativos como ferramenta pedagógica a serviço da aprendizagem de valores como cooperação e autoconhecimento.

Muitos teóricos têm discutido a importância dos jogos colaborativos. Um teórico de grande relevância foi [Piaget, 1971], que em sua teoria do desenvolvimento infantil, propõe a existência de três estágios evolutivos, a saber: o estágio pré-operatório, o

operatório concreto e o operatório formal. Nestes, o jogo emerge sob diferentes formas de manifestação desses processos, perpassando pelo pensamento infantil no decorrer dos diferentes estágios de desenvolvimento.

O estágio pré-operatório caracteriza-se, dentre outros aspectos, pelo egocentrismo, ou seja, a incapacidade de ver os problemas a partir de outros pontos de vista. Durante esse primeiro estágio, o jogo dá evidência de um pensamento que explica o mundo pela intuição e não pela lógica; de símbolos mentais construídos para representar objetos reais. O jogar e o brincar não estão atrelados, nessa fase, a resultados, já que esses valores ainda não se instalaram no repertório infantil. A criança joga apenas pelo prazer, não percebendo o elemento competitivo. A criança joga, na verdade, contra ela mesma.

Num segundo momento, quando a criança evolui para o pensamento operatório concreto, o jogo com características egocêntricas vai cedendo espaço para jogos de natureza social, com a inserção de outros participantes. Assim, os jogos ideais para essa fase passam a requisitar cooperação, esforço, regras bem definidas e espírito competitivo, já que nessa fase, a criança torna-se capaz de estabelecer sequências lógicas, conservar e reverter atributos e operações, classificar agrupamentos e melhorar seu desempenho linguístico, aproximando-se da fala do adulto.

Por fim, no estágio das operações formais, a criança ganha uma importante capacidade, a da abstração. Dessa forma, ela se torna capaz de refletir sobre seu próprio pensamento. Nessa fase, as crianças já são capazes, portanto, de utilizar a linguagem como veículo de reflexão e exteriorizam, inclusive nas atividades lúdicas, conceitos bem definidos como amor, ódio, velocidade e tempo.

A partir do exposto, percebe-se a importância dos jogos colaborativos, pois através destes, a criança tem a necessidade de cooperar e, trabalhar com regras. O cumprimento de regras envolve o fato de se relacionar com outras pessoas que pensam, agem e criam estratégias de maneiras diferentes. Através dos jogos, mesmo que derrotada, a criança tem a oportunidade de conhecer-se, estabelecer os seus próprios limites e competências como jogadoras, além de avaliar o que pode ser trabalhado para evitar a derrota nas próximas vezes.

Nos jogos colaborativos, os jogadores não necessitam escolher um lado, mas, sobretudo, devem estar juntos. O conteúdo e a dinâmica do jogo determinam não somente a relação da criança com o objeto, mas desta com as demais. Dessa forma, jogos colaborativos promovem o desenvolvimento das relações sociais da criança. Durante o processo de socialização, a criança ouve o colega e discute, identificando perspectivas e se justificando. Ao se justificar, argumenta e reflete sobre os seus próprios procedimentos.

Através dos jogos cooperativos, o participante pode, ainda, trabalhar habilidades como interação, percepção, relacionar-se com empatia, apresentar autoestima e autoconhecimento e ser ético. Essas habilidades fazem parte do que Gardner (1994, 1995, 2000 apud [Schartz, 2004]) denomina inteligências pessoais – referentes às capacidades de autoconhecimento e compreensão do outro.

Assim, concordamos com [Broto, 1999] ao afirmar que um bom jogo em grupo deve possibilitar à criança avaliar os resultados de suas ações. Se o adulto impõe a avaliação como uma verdade, a criança se tornará muito dependente e insegura da sua

própria habilidade de tomar decisões. Percebe-se, portanto, que além da colaboração, os jogos colaborativos proporcionam a reflexão sobre as próprias ações e o autoconhecimento.

Outras características das situações cooperativas em relação às situações de competição de acordo com [Broto, 1999] são: percepção de que o atingimento dos objetivos é, em parte, consequência da ação dos outros membros, sensibilidade às solicitações alheias, frequência maior de ajuda mútua, maior homogeneidade na quantidade de contribuições e participações, maior produtividade em termos qualitativos e maior especialização de atividades.

Assim sendo, enfatizamos os benefícios dos jogos colaborativos como ferramenta pedagógica viável para o incentivo ao desenvolvimento mental dos estudantes. Através de atividades lúdicas, mais especificamente, de jogos colaborativos, podemos fomentar valores não somente para as salas de aula, mas para a vida.

3. Interação e Interfaces Tangíveis

De acordo com o Aurélio, a definição de tangível é:

> Adjetivo de dois gêneros.
> 1. Que pode ser tangido, tocado ou apalpado; palpável, sensível.
> 2. P. ext. Que os sentidos podem apreender; perceptível, sensível, visível (fig.): *um sinal tangível*.
> 3. Econ. Diz-se de bens econômicos, ativos, etc., que têm existência física.
> [Opõe-se, nesta acepç., a *intangível* (3).]

Portanto, no contexto deste trabalho, por "tangível" consideramos tecnologia baseada no conceito de aparelhos digitais "palpáveis", ou "tocáveis". Por interface tangível consideramos aquela em que o usuário interage com o ambiente digital com o uso de dispositivos físicos. Estes dispositivos garantem uma interação muito mais realista entre o homem e o computador. Inicialmente, as interfaces tangíveis foram denominadas interfaces "pegáveis" (*graspable interfaces*), mas este termo deixou de ser utilizado.

Os dispositivos tangíveis provêm três facilidades básicas:

1. *Interatividade:* um contato físico no equipamento é mapeado em resultados em tempo real no meio digital;
2. *Praticidade:* o usuário fará a interação como se estivesse utilizando o equipamento real. Por exemplo, no caso de uso de uma raquete em um jogo eletrônico de tênis;
3. *Colaboração:* mais de um usuário poderá trabalhar com um equipamento, de forma colaborativa, como se o tivessem fisicamente na mão. Por exemplo, a utilização de um instrumento musical.

Para prover as facilidades, nas interfaces tangíveis temos de acordo com [Ullmer, 2000; Ishii, 2001]:

- As representações físicas são acopladas computacionalmente às informações digitais, ou seja ao modelo. Exemplos desses acoplamentos podem ser a ligação entre representações geométricas gráficas e os objetos reais, ou ainda,

simulações dinâmicas acopladas a objetos reais. Como exemplo, podemos ter um simulador de vento acoplado a um simulador de fluxo de fluidos que pode ser usado em uma ferramenta de planejamento urbano onde as construções são objetos tangíveis (Figura 1);

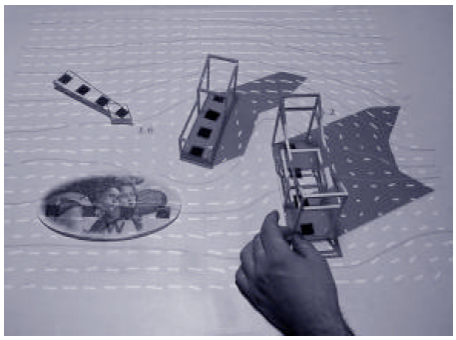


Figura 1: Ferramenta de simulação de planejamento urbano. As linhas indicam direção de vento.

- As representações físicas incorporam mecanismos para controle interativo. A movimentação física, deslocamento, rotação, ligação ou outras manipulações entre objetos são as formas básicas de controle da interface;
- As representações físicas são conceitualmente acopladas a representações digitais ativamente mediadas. As interfaces tangíveis dependem de um equilíbrio entre representações digitais e físicas, ao mesmo tempo em que elementos físicos possuem um papel central, definindo papeis na representação e controle da interface, as representações digitais, em particular áudio e *graphics*, frequentemente apresentam parte significativa da informação dinâmica processada pelo sistema de computação subjacente;
- O estado físico dos objetos tangíveis incorpora parcialmente o estado digital do sistema: interfaces tangíveis são geralmente construídas a partir de sistemas com artefatos físicos. Em conjunto, esses objetos possuem diversas propriedades importantes. Como são compostas por elementos físicos, a interfaces tangíveis são persistentes. Ao contrário de uma interface gráfica, elas não podem ser duplicadas (ou destruídas) com uma simples ativação de um botão. Além disso, frequentemente os artefatos tangíveis podem ser lidos tanto por pessoas como por computadores através do seu estado físico, cujas configurações físicas são fortemente acopladas ao estado digital dos sistemas que representam.

Um exemplo de sucesso das interfaces tangíveis é a oferecida pelo console Wii da Nintendo. Os controles existentes no console permitem, por exemplo, que o usuário "dirija" um carro como se estivesse com um volante real na mão, ou que dê raquetadas em um jogo de tênis, como se realmente estivesse em quadra. Uma raquetada mal orientada fará com que a bola seja jogada para fora da quadra.

As próximas seções apresentam um histórico do desenvolvimento das interfaces tangíveis, tipos de interfaces, aplicações e, finalmente, casos de aplicações em educação.

3.1. História

As interfaces gráficas de usuário (GUI), assim como seus dispositivos de interação principais (mouse e teclado), se tornaram padrões e parte do cotidiano dos usuários. Entretanto, como apontado por [Ishii, 2008], tais dispositivos não permitem que o usuário utilize toda sua destreza e técnica de criação da mesma forma que o faz enquanto manipulando objetos físicos reais.

Assim, há cerca de 28 anos, pesquisadores estudam sobre interfaces tangíveis de usuário como um meio de melhorar o conceito de RA e permitir uma melhor interação entre o usuário e o computador, aumentando sua produtividade [Blackwell *et al*., 2007].

Em meados de 1990, o grupo responsável pelos estudos de mídias tangíveis, *Tangible Media Group*, presente no Laboratório de mídia do MIT, trocou as interfaces gráficas pelas interfaces tangíveis. A mudança ocorreu na tentativa de dar forma à visão de computação ubíqua definida por Mark Weiser, cientista chefe na Xerox PARC, que prega a utilização de objetos físicos em um ambiente físico, transparentemente integrados com dispositivos computacionais [Ishii, 2008].

Em 1995, [Fitzmaurice, G. *et al*., 1995] apresentam o conceito de interfaces "pegáveis" de usuário (em inglês, g*raspable user interfaces*). A ideia se baseava na utilização de alguns artefatos físicos chamados de *Bricks* (Figura 2), que desempenhavam o papel de dispositivo de entrada. Tais artefatos podiam estar fortemente acoplados a objetos virtuais para a manipulação ou expressão de ações.

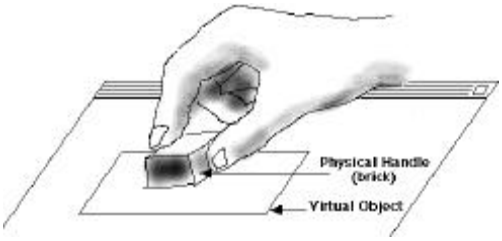


Figura 2: Representação de um objeto Brick [Fitzmaurice, G. *et al.*, 1995].

Após a grande contribuição de Fitzmaturice e Ishii, em 1997, Ishii e Ulmer estendem essas ideias e propõem o termo "interfaces de usuário tangíveis", em inglês, "*tangible user interfaces"* [Ishii e Ullmer, 1997]. Esses descrevem que sua inspiração veio da história, elegendo o ábaco como um exemplo de protótipo para esse conceito. O ábaco não é um dispositivo eletrônico, portanto não existe distinção entre *entrada* e *saída (*Figura 3*)*. Tudo que ele faz é permitir a sua manipulação de forma física, simultaneamente fazendo com que seus artefatos, componentes internos, representem *controles físicos*.



Figura 3: Ábaco e sua manipulação.

Diferentemente das interfaces gráficas de usuário que fazem uma representação distinta entre *representação* e *controle*, as interfaces de usuário tangíveis exploram o espaço aberto pela eliminação dessa distinção [Ullmer, 2000].

Em 1999, surgem as interfaces tangíveis de primeira geração, sendo a URP – *Urban Planning Workbench* – desenvolvida pelo *Tangible Media Group*, o exemplo mais conhecido. Esse sistema utilizava modelos físicos para configurar e controlar simulações de sombras, fluxo de ventos, reflexão de luzes e congestionamento de tráfego. Adicionalmente, existem objetos para controlar fisicamente parâmetros da simulação urbana, como velocidade e direção do vento e posição do sol.

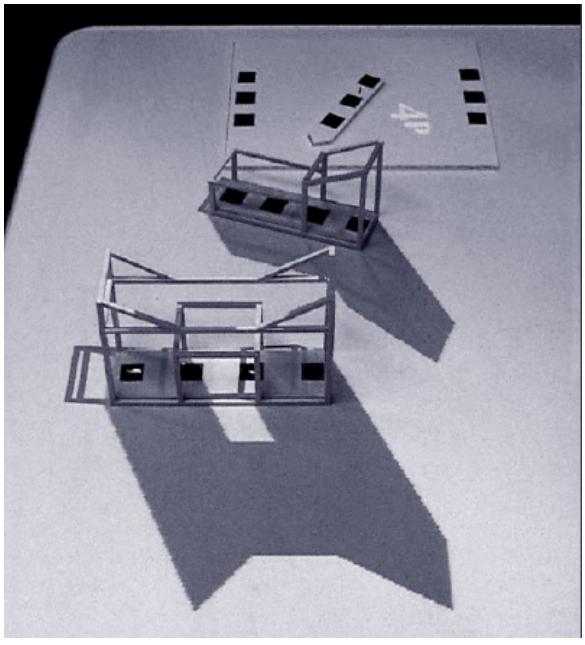


Figura 4: Na URP temos os objetos, sombras projetadas e artefatos de controle.

No URP sombras digitais (Figura 4) são projetadas na superfície da mesa onde os modelos físicos se encontram, seguindo os parâmetros de configuração especificados. Além disso, todos os objetos e modelos de construção são representações

digitais tangíveis, que podem ser manipuladas diretamente para mudá-las de posição e inclinação, por exemplo.

Embora o URP permita uma facilidade muito grande de utilização e siga em suma a definição de uma interface tangível, esse possui uma limitação quanto ao que pode ser manipulado, pois as formas dos objetos não podem ser alteradas. Todos os objetos e formas nesse sistema devem ser fixos e pré-definidos, somente permitindo a alteração entre a interação dos objetos, disposição, dentre outros.

Assim, o *Tangible Media Group* inicia a definição do que seria a segunda geração da tecnologia, conhecida como interfaces tangíveis "orgânicas".

Em 2002, surge um novo tipo de interface tangível, *Illuminating Clay* (Figura 5), que permite o uso de diversos objetos incluindo a própria mão do usuário, pedaços de papel, papelão, espuma, plástico etc. para modelar objetos de uma paisagem ou terreno, por exemplo. Tal sistema resultou da necessidade de engenheiros e designers envolvidos em projetos de paisagem, arquitetura e indústria que continuavam a por ênfase na utilização de modelos físicos, que muitas vezes, seriam posteriormente digitalizados de alguma forma [Piper *et al*., 2002].



Figura 5: Illuminating Clay - Manipulação do modelo físico e *feedback* na visualização.

Em 2004, outra interface tangível orgânica foi criada, com base no *Illuminating Clay*, sendo conhecida como *Sandscape* [Ratti *et al*., 2004]. *Sandscape* era uma solução mais barata que, cuja diferença básica estava nos sensores utilizados para capturar o modelo sendo manipulado. O *Sandscape* utilizava técnicas ópticas (Figura 7), onde analisava raios infravermelhos capturados por uma câmera, enquanto o *Illuminating Clay* utilizava uma variação de *lasers* para capturá-lo (Figura 6), o que é mais eficiente que a primeira solução.

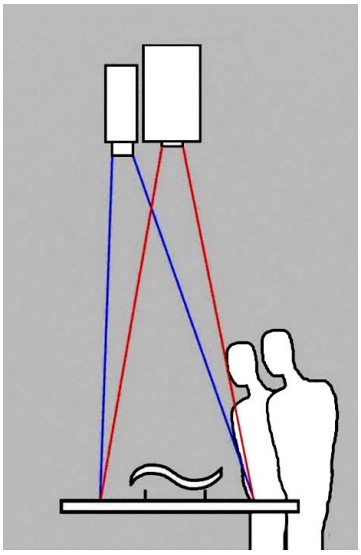


Figura 6: *Illuminating Clay - Laser Scanner.*

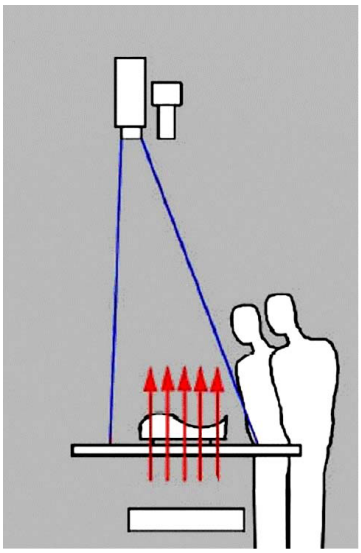


Figura 7: *Sandscape - Optical Scanner.*

Atualmente, vários autores estão propondo mistos entre RA e interfaces tangíveis, como uma possível alternativa mais portátil e mais barata do que os sistemas anteriores.

3.2. Aplicações mistas

As soluções de interfaces tangíveis que fazem uso de outras tecnologias tais como RA e robótica, conforme descrito a seguir.

3.2.1. Misto com Realidade Aumentada

Numa tentativa de se criar Interfaces Tangíveis de forma mais prática e fácil, [Dias *et al*., 2004] propõem um misto entre Interfaces Tangíveis e RA.

A ideia básica é permitir a manipulação de objetos tangíveis virtualmente, tentando promover a mesma sensação de uma Interface Tangível pura, mas num ambiente de RA.

Para isso, são utilizados marcadores nas mãos do usuário para que os gestos possam ser capturados e transmitidos ao ambiente virtual, permitindo a manipulação direta do objeto no mundo virtual, de forma similar a objetos físicos.

3.2.2. Misto com Robótica

O controle Wiimote do Nintendo Wii também está sendo pesquisado como uma alternativa de alto desempenho para a captura de gestos e como ferramenta auxiliar na construção de aplicações mistas, ou mesmo físicas.

Em 2008, [Guo e Sharlin, 2008] apresentaram um trabalho no qual exploram a utilização de Interfaces Tangíveis através da utilização do Wiimote para o controle de robôs. Em tal simulação, eles apresentam como a utilização de tal Interface Tangível pode ser utilizada como um meio para que um mediador humano possa controlar ações de um robô, utilizando gestos, permitindo um controle natural do artefato robótico.

3.3. Interfaces Tangíveis na educação

Na educação, interfaces tangíveis também são objetos de pesquisa como um meio para melhorar a aprendizagem, além de permitir uma melhor absorção do conhecimento e engajamento do aluno. Para o estudo de Matemática, manipulativos são "*objetos projetados que representam conceitos matemáticos abstratos de forma concreta*" [Falcão e Gomes, 2006]. Tais objetos são comuns em salas de aula e possuem cores e formas que são atrativas às crianças, além de poderem ser manipulados diretamente. Exemplos de tais objetos são: geoplano, blocos dienes, sólidos geométricos e jogos de encaixe (Figura 8).



Figura 8: Crianças brincando com blocos lógicos (Blocos Dienes).

Entretanto, a utilização de interfaces tangíveis na educação, através do uso de objetos, os manipulativos, não é recente e precede o uso dos computadores. Entre os primeiros pensadores e projetistas destacam-se Friedrich Froebel e Maria Montessori [Africano *et al*., 2004]. Froeble, que foi o inventor do jardim de infância, projetou os "Presentes de Froebel" para o seu jardim de infância. Os Presentes de Froebel são objetos para brincadeiras que acompanham o desenvolvimento cognitivo das crianças. Apesar do tempo em que foram projetados, ainda são comercializados [Froebelgifts, 2010]. Maria Montessori estendeu as idéias de Froebel para que os objetos fossem utilizados por crianças mais velhas. Suas idéias, que visavam auxiliar o desenvolvimento das capacidades sensoriais das crianças, foram implementadas em diversas escolas no mundo, incluindo o Brasil.

Segundo [Zuckerman *et al*., 2005], as vantagens de se utilizar interfaces tangíveis nesse contexto são:

- *Engajamento sensorial* – é basicamente o modo como as crianças aprendem, em sua forma natural, utilizando vários sentidos (tato, visão, audição) em um processo construtivo.
- *Acessibilidade* – pois aumenta a acessibilidade para crianças mais novas, principalmente quando essas possuem dificuldades de aprendizado.
- *Aprendizado em grupo* – permite que *várias mãos* sejam utilizadas, isto é, que várias crianças trabalhem de colaboradores na criação, facilitando a interação e promovendo discussões em grupo.

Outro exemplo de uma interface tangível para o ensino de matemática, que pode ou não fazer uso de computadores, é através do uso de uma "régua", em inglês BEAM, acrônimo de *Balancing Equations by Adapting Manipulatives* [Leong e Horn, 2010]. O BEAM, que segue as idéias de Montessori, tem funcionamento similar às antigas balanças de braço e peso. Um exemplo de seu uso é mostrado na Figura 9. No modo *offline* o BEAM permite verificar igualdades entre equações (há o equilíbrio da régua), e desigualdades quando a régua pende para o maior lado. No modo *online* o BEAM é conectado a um computador através de uma porta USB. O computador é capaz de ler as posições dos pesos na régua e é capaz de apresentar as equações algébricas em tempo real.

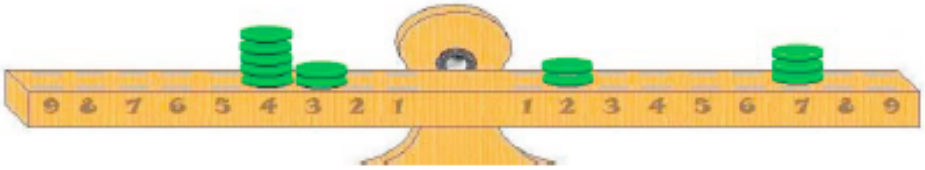


Figura 9: Ilustração da solução da equação (3x2) + (4x5) = (7x3) +(2x2) usando o BEAM.

Os blocos de LEGO, de grande sucesso comercial, são objetos tangíveis que podem ser utilizados como ferramentas educacionais seguindo as idéias de Froebel [Fitzmaurice, G. W. *et al*., 1995].

Pesquisas mais recentes têm focado no uso intensivo de computadores com interfaces tangíveis especialmente em atividades pedagógicas envolvendo crianças. Este desenvolvimento é natural tendo em vista a redução do custo dos computadores, especialmente os portáteis, e sua disponibilidade para faixas etárias cada vez mais baixas. As facilidades de comunicação proporcionadas pelos computadores também têm levado a uma mudança de seu uso em educação. O primeiro uso dos computadores em educação era voltado para o estudo/aprendizagem individual. No entanto, crianças aprendem através das brincadeiras e atividades sociais em grupo. Um exemplo do desenvolvimento de uma interface tangível, educacional, com foco na colaboração é apresentado em [Africano *et al*., 2004].

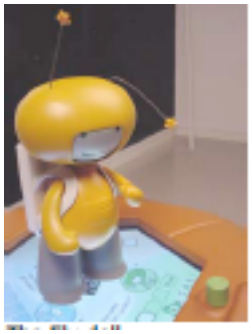
O trabalho apresenta um sistema para aprendizagem e brincadeiras. Para ilustrar a viabilidade da proposta, foi desenvolvido um sistema, centrado em um boneco, Ely o Explorador (Figura 10). O sistema possui também uma unidade de acesso multiusuário e robusta, algumas ferramentas tangíveis e um software projetado para o ambiente escolar. De acordo com os resultados apresentados, as crianças se envolveram na brincadeira e a proposta se mostrou adequada como uma ferramenta auxiliar no ambiente escolar.



Unidade de Acesso multiusuário (*teleporter*)



O *teleporter* possui tela de toques, botões e leitor de RFID. A interface possui uma área comum e três áreas individuais.



Ely o explorador

Figura 10: Componentes de Ely, o explorador.

As interfaces tangíveis também têm sido utilizadas no ensino de conceitos abstratos, como os matemáticos. Um trabalho atual nessa área é apresentado em [Falcão, 2007]. No trabalho, a autora, além de apresentar uma profunda revisão do uso de interfaces tangíveis no ensino, projeta uma interface tangível para auxiliar a aprendizagem de frações no Ensino Fundamental brasileiro.

Os trabalhos desenvolvidos por [Resnick, 2005] fazem uso dos computadores. Os autores desenvolveram blocos construtivos com poder computacional que chamaram de MiMs Digitais (de *Montessori – inspired Manipulatives*, ou manipulativos inspirados por Montessori). São desenvolvidos blocos de fluxo (*FlowBlocks*) e de sistema (SystemBlocks) que permitem a construção de sistemas interativos modulares *físicos* para comportamento dinâmico (Figura 11). Os resultados apresentados mostram que os MiMs são acessíveis mesmo para crianças pequenas.

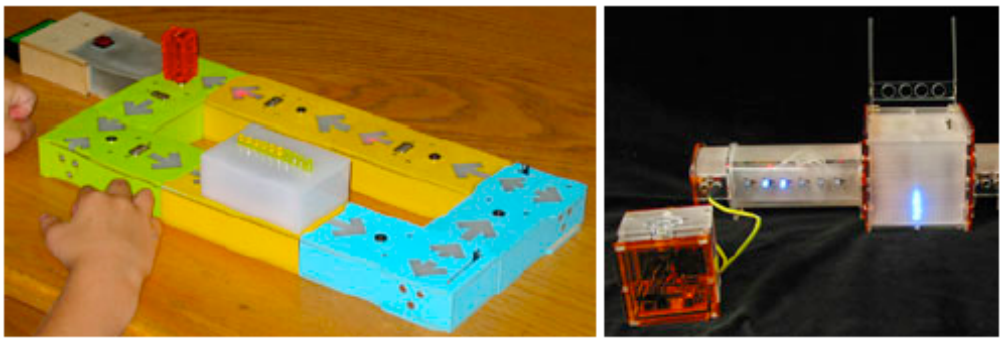


Figura 11: MiMs de fluxo (esquerda) e de controle (direita).

4. Realidade Aumentada

O ser humano vive numa época onde a demanda por informação é enorme. Não basta apenas ver um objeto ou ouvir seu som para identificá-lo, é preciso ter todas as informações possíveis sobre ele. Em determinados meios, como numa sala de cirurgia ou numa cabine de avião, esse conteúdo adicional pode ser vital na hora de tomar uma decisão crítica. Existem diversas formas de obter estes dados adicionais. Um piloto de

avião, por exemplo, tem o auxilio dos instrumentos de bordo e dos controladores de voo. Como nem sempre essas informações estão diretamente em seu campo de visão, o acesso a elas pode proporcionar um momento de distração precioso em um instante crítico. Por isso, formas mais diretas de exibir dados têm sido estudadas e a Realidade Aumentada vem mostrando ser bastante promissora para atender esta demanda.

Realidade Aumentada, ou simplesmente RA, é uma área da ciência da computação capaz de interagir elementos virtuais com reais, criando um ambiente misto em tempo real. No caso do piloto, já existem aviões capazes de exibir as informações mais críticas durante o voo numa tela translúcida, de modo que o comandante seja capaz de visualizar esses dados sem a necessidade de abaixar sua cabeça e procurar por ela num painel repleto de informações, ao mesmo tempo em que enxerga o ambiente real externo à aeronave.

RA tem se mostrado muito promissora por ser capaz de tornar a interação com o usuário mais natural. Assim, ao invés de olhar apenas para um monitor e usar um ou dois dispositivos para mandar as informações desejadas, o usuário pode interagir com o ambiente inteiro ao seu redor através de gestos naturais em suas atividades cotidianas. Graças a esta enorme aplicabilidade, ela vem sendo bastante estudada, tanto no meio acadêmico como em laboratório de pesquisas e por isso já existem algumas subáreas e linhas de atuação importantes, como será visto nesta seção.

4.1. Realidade Aumentada com Marcadores

A utilização de padrões visuais, também conhecidos como marcadores, tem como objetivo amenizar a demanda de processamento gerada pelos algoritmos de visão computacional e com isso tornar possível que as aplicações sejam executadas em tempo real. Essa "simplificação" do rastreamento do mundo real faz com que *hardware* de baixo custo possa ser utilizado, como processadores mais restritos e câmeras de menor resolução e taxa de captura.

Os marcadores são elementos muito importantes em Realidade Aumentada, pois são usados numa etapa crucial neste tipo de aplicação: o registro. É neste passo em que as informações do mundo real e da câmera utilizada para capturá-las são alinhadas com os dados virtuais gerados pelo computador, de forma que estes possam ser exibidos de maneira coerente.

Anteriormente o registro era realizado utilizando sensores 3D, sejam eles magnéticos, ultrassônicos ou a laser. Entretanto, esses eram caros e muitas vezes as suas dimensões e estrutura não permitiam o registro das cenas. Outras técnicas, baseadas apenas nas informações capturadas pela câmera, como arestas ou textura, foram desenvolvidas, mas apenas recentemente elas conseguiram adquirir maturidade suficiente para serem usadas com precisão em uma aplicação [Stricker e Kettenbach, 2001].

A alternativa encontrada para o registro foi a utilização do marcador. Este elemento revolucionou a Realidade Aumentada por conseguir ser um instrumento visual que auxilia na obtenção dos dados necessários nesta etapa. Além disso, por serem de baixo custo e possuírem uma grande variedade de códigos possíveis, pode-se inserir na cena tantos quanto forem necessários.

4.1.1 Tipos de Marcadores

Por ser uma abordagem bastante difundida, existem várias aplicações de Realidade Aumentada baseadas em marcadores e, consequentemente, diversos tipos deles foram propostos. Dentre os mais comuns estão o fiducial, o *idBased*, o *DataMatrix*, o *split* e o *frame*.

Marcadores Fiduciais

Um dos primeiros padrões a ser utilizado por esse tipo de aplicação consistia em um quadrado com bordas pretas, conforme pode ser visualizado na Figura 12. Em seu centro, localiza-se um padrão (*template*) específico que o torna único e distinguível de outros marcadores. Neles, qualquer informação pode estar gravada, como letra, número, nome ou imagem e seu rastreamento é realizado comparando trechos da imagem obtida com um banco de dados de marcadores até que um deles seja similar o suficiente à região central capturada pela câmera.

Por fazer várias comparações durante o rastreamento, este tipo de marcador não é muito escalável, pois quanto mais deles estiverem na região de captura da câmera, mais lento se torna o rastreamento, tanto que o ARToolKit [Kato e Billinghurst, 1999], biblioteca de Realidade Aumentada que utiliza marcadores fiduciais, limita a quantidade de marcadores rastreados para um máximo de 20 simultâneos.



Figura 12: Exemplo de marcador fiducial [Kato e Billinghurst, 1999].

idBased Markers

Estes marcadores foram desenvolvidos para resolver o problema de escalabilidade dos marcadores fiduciais. O princípio deles é que o código, que antes poderia ser qualquer imagem, agora é representado por uma matriz de quadrados pretos e brancos, como mostrado na Figura 13. Com isso, o rastreamento deixa de ser feito por similaridade de imagens e passa a ser realizado através da leitura direta de cada elemento da matriz, de onde o código é extraído.

Graças à diminuição da carga de processamento, o número de marcadores rastreado simultaneamente aumentou bastante. O ARTag [Fiala, 2005], outra biblioteca de Realidade Aumentada, mas que utiliza marcadores baseados em id, possui exemplos onde mais de 100 deles são rastreados ao mesmo tempo.



Figura 13: Exemplo de *idBased marker* [Fiala, 2005].

DataMatrix Markers

Os *DataMatrix markers* são bastante semelhante aos descritos na subseção anterior, a diferença se encontra codificação [Aim, 2010]. Enquanto neles qualquer informação pode ser usada como representante de um determinado código, os marcadores baseados em *DataMatrix* seguem um padrão comum aos códigos de barra 2D, determinados pela ISO, conforme ilustrado na Figura 14. Outra diferença é na quantidade de código possível para um conjunto de marcadores, pois os *DataMatrix markers* têm um número fixo de 2235 códigos, enquanto os baseados em id dependem do tamanho da matriz utilizada.



Figura 14: Exemplo de *DataMatrix marker* [Aim, 2010].

Split Markers

Também são marcadores baseados em id, porém o código localiza-se em duas de suas bordas, deixando a área entre eles livre para a inserção de qualquer informação, conforme ilustrado na Figura 15. Este tipo de marcador foi desenvolvido primeiramente pela Sony para o jogo *"Eye of Judgment"* [Nishino, 2009], de modo que as informações dos personagens pudessem se impressas no cartão juntamente com o código usado para seu rastreamento.

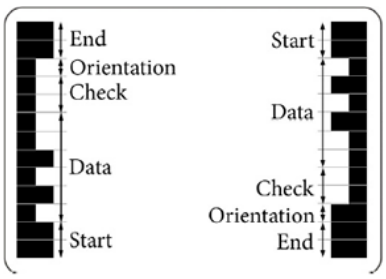


Figura 15: Exemplo de *Split marker* [Nishino, 2009].

Frame Marker

Outro marcador baseado em id, o *Frame marker* é semelhante ao *Split marker*, diferenciado deste pelo fato do código estar em todas as bordas e não apenas em duas [Schmalstieg, 2009]. Desta forma, o marcador ganha maior robustez e simplicidade de rastreamento sem perder a área livre para inserção de informação. Um exemplo de *frame marker* é mostrado na Figura 16. Nele pode ser visto uma borda fina e contínua que delimita o marcador. Internamente a esta borda está o código, uma sequência de quadrados, ou *bits*, em cada lateral. O código é o mesmo para ambas as bordas, mudando apenas primeiro e último *bits*, que são usados para indicar a orientação do marcador. O número máximo de marcadores distintos que podem ser criados com essa abordagem é proporcional ao número de *bits* utilizado nas laterais.

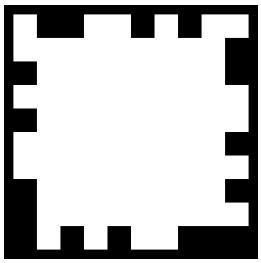


Figura 16: Exemplo de *Frame marker* [Schmalstieg, 2009].

4.1.2 Bibliotecas

O suporte ao uso de marcadores em RA tem evoluído bastante ao longo dos anos. É possível encontrar uma série de ferramentas (*toolkits*) de desenvolvimento de aplicações, muitas delas *open-source*, capazes de fornecer informação sobre o posicionamento correto dos marcadores em uma cena e a posterior renderização de informação em posição relativa aos mesmos. Uma breve descrição é mostrada em sequência.

ARToolkit

O ARToolKit foi originalmente desenvolvido para servir de apoio na concepção de interfaces colaborativas por Hirokazu Kato [Kato e Billinghurst, 1999], na Universidade de Osaka. Desde então, tem sido mantido pelo Human Interface Technology Laboratory (HIT Lab) da Universidade de Washington e pelo HIT Lab NZ da Universidade de Canterbury, em Christchurch.

O ARToolKit é uma biblioteca de software *open-source*, escrita na linguagem C, para concepção de aplicações em RA. Um exemplo de uma possível aplicação pode ser um personagem virtual 3D que aparecerá em cima de um marcador, que é um cartão com um padrão impresso correspondente a uma imagem específica, como pode ser visto na Figura 12 e na Figura 7. Esta imagem pode ser visualizada através de um display utilizado pelo usuário e, à medida que o marcador é movimentado a imagem também é transladada, dando a impressão de estar colada ao marcador.

Uma das grandes dificuldades ao se desenvolver aplicações em RA é o problema em calcular o *viewpoint* do usuário em tempo real, de modo que as imagens virtuais estejam exatamente alinhadas com os objetos reais, ou seja, o problema é saber para onde o usuário estará olhando em um determinado momento de modo que a imagem

seja posicionada no lugar correto. O ARToolKit se propõe a resolver este problema usando uma técnica que calcula a posição real da câmera presa ao display e a orientação relativa a marcadores, permitindo então que o programador possa sobrepor objetos virtuais nestes.

As principais características do ARToolKit são:

- *Tracking* para posicionamento e orientação de uma única câmera;
- Código que usa como padrão um quadrado de bordas pretas;
- Possibilidade de uso de qualquer marcador, desde que o mesmo obedeça ao padrão;
- Código simples para calibração da câmera;
- Rápido o suficiente para possibilitar aplicações de RA em tempo real;
- Distribuição multi-plataforma, como por exemplo, SGI IRIX, Linux, MacOS e Windows, e distribuição do código fonte completo.

O funcionamento do ARToolKit é muito simples. Primeiramente, a câmera posicionada no display do usuário captura as imagens do mundo real e as envia para um computador, que procurará nas imagens *frames* que contenham o padrão do quadrado de bordas pretas, ou seja, um marcador. Se algum for encontrado, o computador efetuará uma série de cálculos matemáticos para saber qual a posição da câmera relativa ao marcador visualizado. Uma vez que a posição da câmera é conhecida um modelo computacional gráfico, que é o objeto virtual, será desenhado na mesma posição. A saída, portanto, nada mais é do que esta imagem virtual "grudada" em cima do marcador, que o usuário poderá visualizar através de qualquer *display* que esteja usando. Este passo a passo pode ser mais bem visualizado na Figura 17.

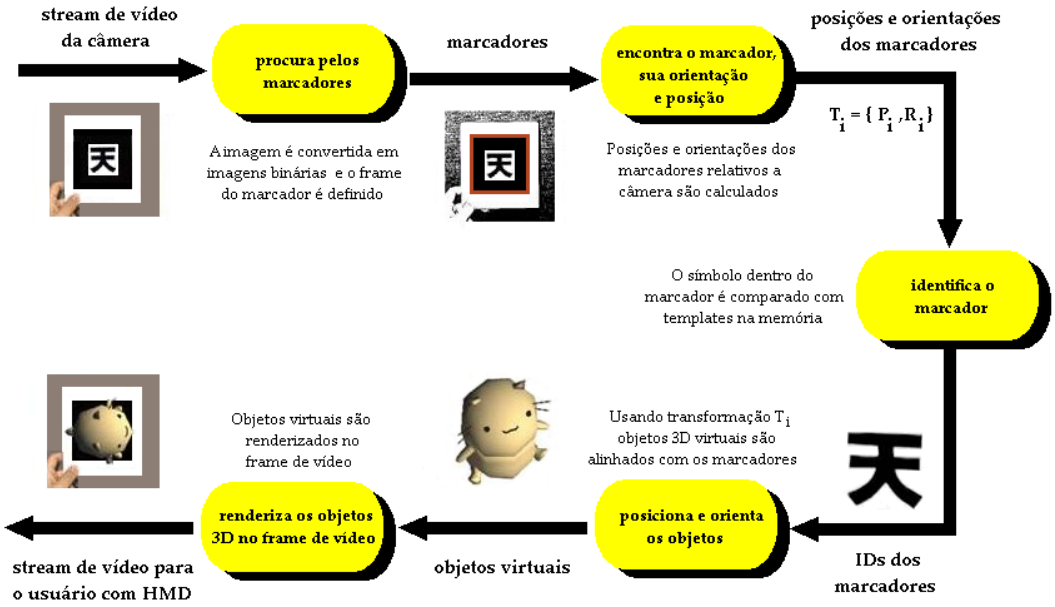


Figura 17: Passos básicos do funcionamento do ARToolKit [Kato e Billinghurst, 1999].

ARToolkitPlus

O ARToolKitPlus foi desenvolvido na Graz University Technology dentro do projeto Studierstube, e é uma biblioteca *open-source* de RA baseada no ARToolKit, embora a primeira se preocupe exclusivamente com a questão da detecção de marcadores, não oferecendo funções para captura de vídeo ou renderização de objetos 3D [Wagner e Schmalstieg, 2003; Wagner, 2006].

Seu código fonte conta com várias otimizações, tais como a utilização de matemática de ponto fixo com o intuito de gerar aplicações eficientes para os dispositivos móveis, como por exemplo os PDAs e *smartphones*. Os marcadores utilizados por esta biblioteca são semelhantes aos do ARToolKit, com a diferença que o desenho no interior do quadrado de bordas pretas consiste em uma codificação do identificador do marcador. Tal codificação permite que o usuário possa utilizar até 512 diferentes marcadores, diminuindo a ocorrência da confusão entre marcadores diferentes.

O ARToolKitPlus utiliza a técnica de limiar adaptativo, que consiste em perceber alterações de iluminação no ambiente capturado pela câmera, de forma que a detecção dos marcadores não seja prejudicada. Esta biblioteca também oferece suporte ao usuário de utilizar marcadores com borda de largura variável, desta forma pode-se diminuir a largura da borda para melhor aproveitar o espaço para codificação, fazendo com que marcadores menores possam ser detectados. Outra característica consiste na capacidade de realizar uma compensação sobre imagens de câmeras que geram uma queda radial de luminância. Este fato ocorre em algumas câmeras onde a imagem capturada por elas se apresenta mais escura nos cantos, fazendo com que os marcadores situados nessas regiões não sejam detectados.

ARTag

O ARTag foi desenvolvido pelo National Research Council of Canada e inspirado no ARToolKit. O ARTag, tal como o ARToolKit, também consiste em uma biblioteca de padrões, mas diferentemente do segundo, que compara imagens, o ARTag verifica códigos digitais compostos de 0's e 1's. O marcador do ARTag também vem a ser um quadrado de bordas pretas, mas seu interior é preenchido com uma malha 6 x 6 de quadrados pretos e brancos que representam os códigos digitais. Abaixo pode ser vista a Figura 8 que mostra objetos sendo carregados em marcadores ARTag.

O ARTag foi concebido para não conter alguns dos problemas que o ARToolKit possui. Entre esses problemas pode-se destacar três que são mais comuns, e que no ARTag foram corrigidos:

- Falso positivo: acontece quando a presença de um marcador é reportada, mas não existe nenhum no ambiente;
- *Inter marker confusion*: acontece quando a presença de um marcador é reportada, mas com o ID errado;
- Falso negativo: acontece quando existe um marcador no ambiente, mas sua presença não é reportada.

Além de solucionar esses problemas presentes no ARToolKit, o ARTag ainda tem a vantagem de possuir 2002 marcadores. Dentre esses 1001 têm o mesmo padrão do

ARToolKit, um quadrado de bordas pretas e interior branco, enquanto que os restantes 1001 têm o padrão inverso, um quadrado de bordas brancas e interior preto [Fiala, 2005], vide Figura 18. Outra vantagem sobre o ARToolKit é que ao contrário deste, no ARTag não é necessário que um arquivo contendo todos os padrões seja previamente carregado. Além do que os marcadores do ARTag podem ser reconhecidos mesmo que uma parte deles esteja oculta, o que não acontece com os marcadores do ARToolKit.

O processo para o reconhecimento de um marcador no ARTag começa basicamente do mesmo modo que no ARToolKit, primeiramente deve ser localizado o contorno da borda do quadrado. Após isso, a região interna que contém a malha é retirada e são determinados os códigos de 0's e 1's contidos. Todo o processamento subseqüente de identificar e verificar o marcador são feitos digitalmente. Quatro sequências binárias de 36 bits são obtidas do *array* de códigos binários originários da malha, uma para cada uma das quatro possíveis posições rotacionadas, que dentre estas apenas uma será validada pelo processo de decodificação. A seqüência binária codificada no marcador encapsula um ID de 10 *bits* usando métodos digitais, os 26 *bits* extras provêem redundância para reduzir as chances de detecção e identificação falsas e também para prover unicamente uma das quatro possíveis rotações [Fiala, 2005].

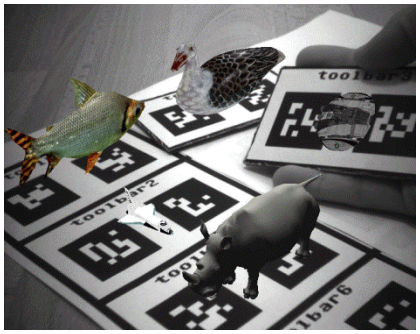


Figura 18: Objetos 3D carregados no marcador ARTag [Fiala, 2005].

Studierstube Tracker

O Studierstube Tracker é uma biblioteca de visão computacional para detecção e estimativa de pose de marcadores fiduciais 2D [Schmalstieg, 2009]. É considerado um sucessor da biblioteca ARToolKitPlus e assemelha-se tanto dela como ao ARToolKit e ARTag, porém sua implementação base é completamente diferente. O projeto do Studierstube Tracker foi montado com foco em alto desempenho tanto para PCs, quanto para celulares.

O desenvolvimento do Studierstube Tracker se deu início quatro anos após o surgimento do ARToolKitPlus. Uma vez que focava na execução de alto desempenho para celulares e PCs. Esse rastreador apresenta requisitos de memória bastantes baixos, na ordem de 100KB, o que representa de 5 a 10% do consumo de memória do ARToolKitPlus, além do processamento ser cerca de duas vezes mais rápido do que a mesma biblioteca em celulares, e aproximadamente 1 ms por *frame* em um PC. Enquanto o ARToolKitPlus segue uma abordagem monolítica, necessitando ser configurado em tempo de compilação, o Studierstube Tracker é altamente modular: desenvolvedores podem estender o rastreador de várias formas, criando novas funcionalidades para o mesmo. Ao contrário do ARToolKitPlus, o Studierstube Tracker não é *open-source*.

Vários tipos de marcador são suportados: *template* (similar aos do ARToolKit), *idBased*, *DataMatrix*, *Frame markers*, *Split markers* e *Grid markers*. A Figura 19 mostra um exemplo de aplicação usando o Studierstube Tracker com *Split markers* em celular.



Figura 19: Exemplo de aplicação com *Split marker* em celular [Schmalstieg, 2009].

Flare

O Flare (Flash Augmented Reality Engine * Tracker) é uma biblioteca de visão computacional para detecção e estimativa de pose de códigos de barra 2D [Imagination, 2010]. Ele se assemelha bastante ao ARToolKit, ARToolKitPlus e ARTag, porém apresentando uma implementação completamente distinta.

As principais características do Flare são:

- Suporte a variados tipos de marcadores (*id based*, *DataMatrix* e *Frame markers*), os quais podem ser usados concorrentemente. A Figura 10 ilustra um exemplo do Flare sendo usado com um *Frame Marker*;
- Apresenta um bom desempenho ao ser executado nos *browsers*;
- É considerada a solução mais rápida de rastreamento para web;
- Baixo consumo de memória;
- Feito em ActionScript e suportado a partir da versão 10.0 do Adobe Flash. é uma solução fechada, com licença paga.



Figura 20: Exemplo de uso do Flare com *Frame Marker* [Imagination, 2010].

Flartoolkit

O Flartoolkit é uma versão do ARToolKit portada para ActionScript 3 [Flartoolkit, 2010]. Atualmente, o Flartoolkit baseia-se no NyARToolkit, uma versão do ARToolkit em Java. A biblioteca se encarrega do reconhecimento do marcador na imagem de entrada e calcula sua posição 3D e orientação. Porém, o suporte à renderização não é fornecido.

O Flartoolkit é livre para ser usado em aplicações não comerciais sob a licença GPL, ou seja, o código-fonte da aplicação que utiliza a biblioteca deve ser disponibilizado.

AndAR

O AndAR é um projeto que possibilita a execução de aplicações de Realidade Aumentada na plataforma Android [Andar, 2010]. O projeto por completo é disponibilizado sob a licença GPL. A empresa ARToolworks oferece licença comercial para uso do ARToolKit. A Figura 21 ilustra um exemplo de aplicação criada com o AndAR.

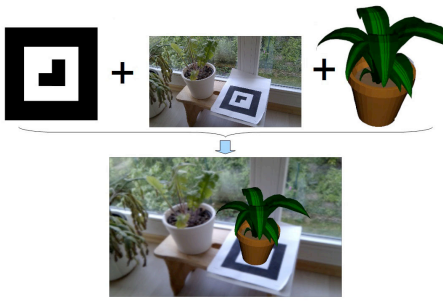


Figura 21: Esquema da aplicação e resultado final com o AndAR [Andar, 2010].

SLARToolkit

O SLARToolkit é uma biblioteca de Realidade Aumentada para a plataforma Silverlight com o objetivo de permitir o desenvolvimento de aplicações em tempo real de forma simplificada e rápida [Slartoolkit]. Pode ser utilizado com a Webcam API, que foi introduzida no Silverlight 4, ou com qualquer outro CaptureSource ou um WriteableBitmap. A biblioteca baseia-se tanto no NyARToolKit como no ARToolKit. Um modelo duplo de licença pode ser utilizado com a biblioteca, o que permite que ela seja usada tanto para aplicações abertas como nas fechadas, de acordo com algumas restrições. A Figura 22 ilustra alguns resultados obtidos com a utilização da biblioteca.

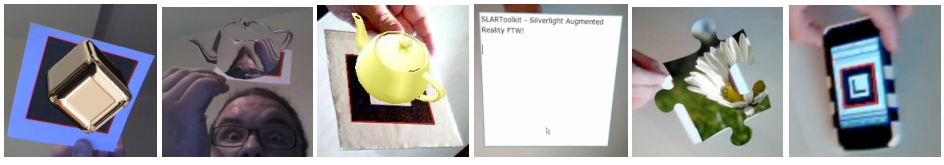


Figura 22: Exemplos usando o SLARToolkit [Slartoolkit].

NyARToolkit

O [Nyala] é uma derivação do conhecido ARToolKit. Ao contrário de seu predecessor, ele foi portado para várias plataformas distintas, como Java, C# e Flash, e durante o

processo tornou-se orientado a objetos, diferentemente da abordagem procedural do ARToolKit.

A biblioteca consiste em uma versão do ARToolKit implementada inteiramente em Java. A versão do ARToolKit que deu origem à biblioteca foi a 2.72.1. Nenhum código nativo é utilizado. Essa característica torna a execução mais lenta do que a original, porém completamente independente de arquitetura. Assim como seu predecessor, o NyARToolKit é uma biblioteca de funções que permite interpretação visual da cena capturada e integração de elementos virtuais em ambientes reais.

Apesar de ser nativa em Java, a biblioteca funciona em C# e no sistema operacional Android de forma satisfatória. Existem inúmeros outros portes pra outras plataformas que foram baseados no NyARToolKit.

A empresa que comercializa o ARToolkit, ARToolworks, detém a licença comercial do NyARToolKit, apesar de não fazer parte do desenvolvimento da biblioteca. Por este motivo, a biblioteca é distribuída como sendo de código aberto, porém como produto não comercial.

A seguir estão listadas algumas características da biblioteca:

- Permite a criação de aplicações de Realidade Aumentada em tempo real;
- Sobrepõe objetos 3D virtuais em marcadores reais;
- Suporta diferentes entradas de vídeo (USB, firewire, placa de captura) e diferentes formatos (RGB/YUV420P, YUV);
- Provê rastreamento de marcadores rápido e de baixo custo computacional (detecção planar em tempo real);
- Suporta VRML e telefones rodando Android nativamente.

4.1.3 Aplicações

Atualmente, RA com marcadores é utilizada nas mais diversas áreas. Desde entretenimento, propaganda ao uso na educação e indústria. A seguir alguns exemplos nas áreas de jogos e educação serão listados.

Invisible Train

O Invisible Train [Wagner *et al*., 2005] é uma aplicação que mistura entretenimento e dispositivos móveis. Esse jogo foi desenvolvido primeiramente para crianças de nível primário, e é um jogo *multiplayer* no qual os participantes guiam um trem virtual através de um trilho real construído em miniatura. Este trem só é visível para os jogadores através de PDAs, e para esses usuários são permitidas duas ações: operar as junções entre os trilhos ou mudar a velocidade do trem, tudo isto através das telas sensíveis a toque dos próprios PDAs. Vide a Figura 23.

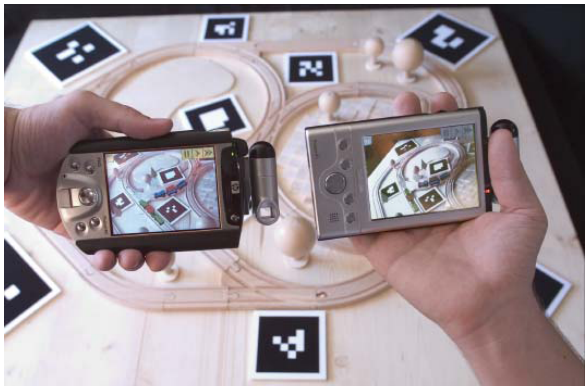


Figura 23: Dois PDAs rodando o Invisible Train [Wagner *et al.*, 2005].

Magic Cubes

O projeto Magic Cubes [Zhou *et al*., 2005] foi desenvolvido para promover interações físicas e sociais dentro das famílias. Ele consiste basicamente em marcadores em formato de cubo que contam histórias, como se fossem um livro de histórias infantis, servindo também para "brincar de casinha", montando a mobília para quartos e salas, e por fim ainda servem para jogos de tabuleiro, conforme ilustrado na Figura 24.

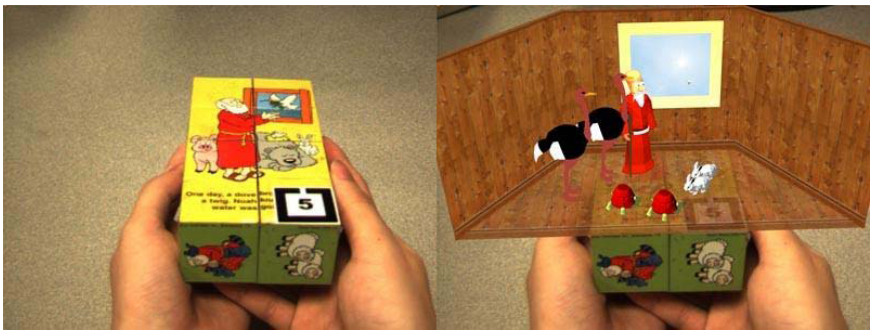


Figura 24: Aplicação Magic Cubes usada como contador de história [Zhou *et al.*, 2005].

Magic Table

Por fim tem-se o Magic Table [Berard, 2003], que vem a ser um quadro branco onde se escreve, desenha e apaga. A diferença entre um quadro branco comum e o Magic Table consiste em scanners que capturam o que é escrito no quadro e coloca tudo isto em retângulos, chamados de *patches*, que são manipulados através de pequenos círculos, os *tokens*, sobre o quadro, vide Figura 25.

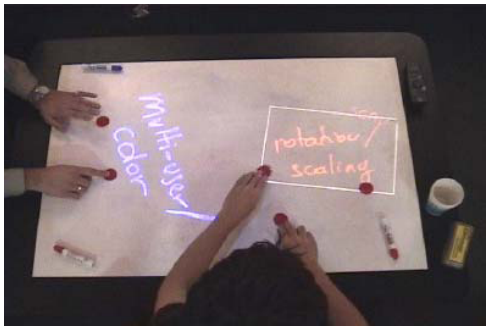


Figura 25: Magic Table em uso [Berard, 2003].

4.2. Realidade Aumentada sem Marcadores

Sistemas de RA sem marcadores integram objetos virtuais em um ambiente real 3D em tempo real, melhorando a percepção e interação do usuário com relação ao mundo real. Sua diferença básica para sistemas de RA baseados em marcadores é o método usado para posicionar objetos virtuais na visão do usuário. A abordagem sem marcadores não se baseia no uso de marcadores artificiais tradicionais, que são posicionados no mundo real para dar suporte ao rastreamento de posição e orientação por parte do sistema. Em RA sem marcadores, características naturais presentes na cena real, tais como arestas ou texturas, podem ser usadas como um marcador e ser rastreadas de forma a posicionar objetos virtuais.

Técnicas desenvolvidas para RA monocular sem marcadores em tempo real podem ser classificadas em dois tipos principais (Figura 26): baseadas em modelo e sem modelo, como descrito em [Teichrieb *et al*., 2007]. Nas técnicas baseadas em modelo, o conhecimento sobre o mundo real é obtido antes de o rastreamento ocorrer e é armazenado em modelos 3D que são usados para estimar a pose da câmera. Nas abordagens sem modelo, o movimento da câmera ao longo dos quadros é estimado sem nenhum conhecimento prévio sobre a cena, sendo o mesmo adquirido durante o rastreamento [Gomes Neto *et al*., 2008].

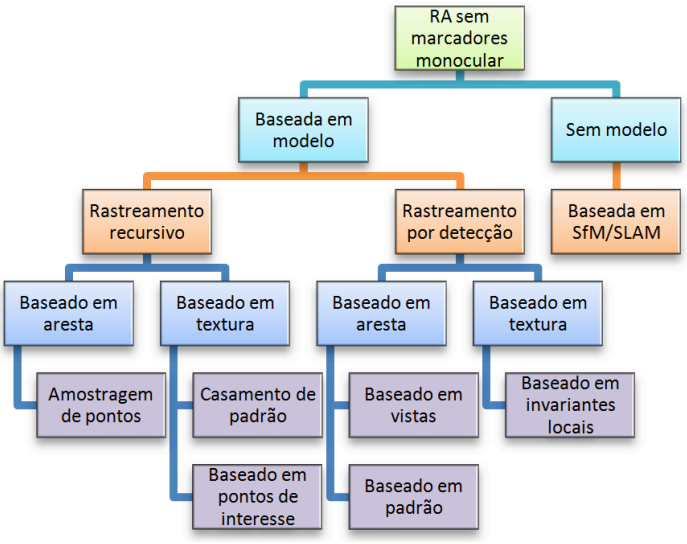


Figura 26: Taxonomia de técnicas de RA monocular sem marcadores.

4.2.1. Rastreamento Baseado em Modelo

Considerando a natureza do rastreamento, as técnicas de RA sem marcadores baseadas em modelo podem ser classificadas em duas categorias (Figura 27): *rastreamento recursivo*, onde a pose anterior da câmera é utilizada como estimativa para calcular a pose atual da mesma; e *rastreamento por detecção*, onde é possível calcular a pose da câmera sem nenhuma estimativa prévia, permitindo inicialização e recuperação automáticas a partir de falhas [Skrypnyk e Lowe, 2004; Wiedemann *et al*., 2008; Holzer *et al*., 2009].

Além disto, levando em consideração o tipo de característica usada no rastreamento, as técnicas baseadas em modelo também podem receber a seguinte classificação: baseadas em aresta (Figura 27a, Figura 27b, Figura 27c), onde a pose da câmera é estimada casando um modelo 3D aramado de um objeto com a informação de aresta da imagem do mundo real [Jurie e Dhome, 2001; Harald, 2005; Wiedemann *et al*., 2008; Holzer *et al*., 2009] e baseadas em textura (Figura 27d, Figura 27e, Figura 27f), que levam em consideração a informação de textura presente nas imagens para o rastreamento [Jurie e Dhome, 2001; Skrypnyk e Lowe, 2004; Vacchetti *et al*., 2004].

A categoria de rastreamento recursivo baseado em aresta compreende as técnicas de amostragem de pontos (Figura 27a), que amostram alguns pontos de controle ao longo das arestas do modelo 3D aramado e comparam suas projeções com gradientes fortes presentes na imagem [Harald, 2005]. Técnicas recursivas baseadas em textura são classificadas em duas subcategorias: casamento de padrão (Figura 27d), que aplica um modelo de distorção a uma imagem de referência para recuperar o movimento de objetos rígidos [Jurie e Dhome, 2001]; e baseadas em pontos de interesse (Figura 27e), que levam em consideração características localizadas na estimação da pose da câmera [Vacchetti *et al*., 2004].

As técnicas de rastreamento por detecção baseadas em aresta são classificadas em: baseadas em vistas (Figura 27b), onde o quadro atual é casado com visões 2D do objeto previamente obtidas de diferentes posições e orientações [Wiedemann *et al*., 2008]; e baseadas em padrão (Figura 27c), que fazem uso de representações de padrão específicas para detectar objetos baseando-se em arestas [Holzer *et al*., 2009]. Os métodos de rastreamento por detecção baseados em textura são conhecidos como baseados em invariantes locais (Figura 27f) [Skrypnyk e Lowe, 2004]. Invariantes locais são insensíveis a mudanças de escala, ponto de vista e iluminação. Eles são extraídos da imagem do objeto a cada quadro, provendo as correspondências 2D-3D necessárias para a estimação da pose.

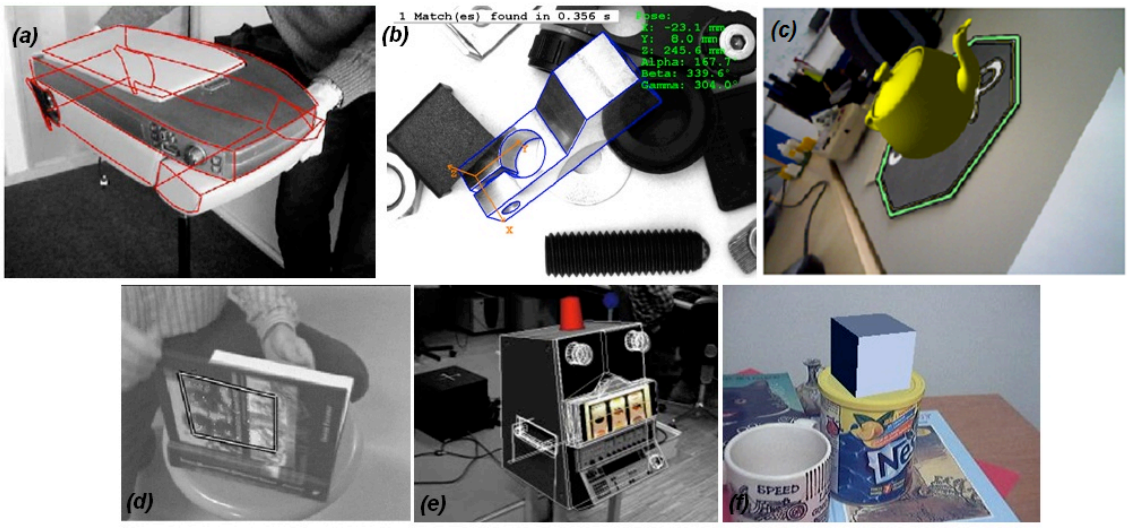


Figura 27. Rastreamento baseado em modelo: amostragem de pontos (a), baseado em vistas (b), baseado em padrão (c), casamento de padrão (d), baseado em pontos de interesse (e) e baseado em invariantes locais (f).

4.2.1.1. Avaliação das Técnicas Baseadas em Modelo

As abordagens apresentadas para RA sem marcadores baseada em modelo podem ser analisadas levando-se em conta algumas métricas relevantes. Uma das métricas mais importantes é a presença de detecção automática, onde a interação do usuário não é requerida para determinar a pose de câmera inicial. Ao se avaliar uma aplicação de RA, a carga de processamento necessária para realizar o rastreamento tem de ser quantificada. Se a fatia de tempo usada para estimar a pose da câmera é pequena, o tempo de processamento restante pode ser dedicado a outras tarefas. Precisão e robustez são as duas últimas métricas consideradas na avaliação dos métodos. Enquanto que a precisão está relacionada com a corretude da estimação de pose ao longo dos quadros, a robustez diz respeito ao quão resistente o rastreador é a fontes de ruído. A Tabela 1 compara os métodos de RA sem marcadores baseados em modelo introduzidos, de acordo com os critérios apresentados. A comparação considera as características que são comuns à maioria das técnicas de uma dada categoria.

Abordagens baseadas em modelo podem ser avaliadas de acordo com sua aplicabilidade ao cenário. Métodos baseados em aresta são mais adequados quando os objetos rastreados são poligonais ou possuem contornos fortes. Se os objetos são texturizados, métodos baseados em textura podem ser a melhor solução. Se o objeto texturizado é planar, casamento de padrão apresenta bons resultados com carga de processamento baixa; caso contrário, métodos baseados em pontos de interesse devem ser usados. Técnicas de rastreamento baseadas em invariantes locais são capazes de estimar cada pose baseadas apenas na informação do quadro atual, porém devido a isso sofrem de *jitter*, que no contexto de RA se refere a um "tremido" na pose dos objetos virtuais ao longo dos quadros. Levar a informação temporal em consideração reduz o problema, mas o rastreamento baseado em invariantes locais tende a ser menos preciso que o rastreamento recursivo, devido à falta de precisão na etapa de casamento, acarretando *drift*, que consiste em uma imprecisão no cálculo da pose de um dado quadro. Técnicas baseadas em vistas são altamente precisas, mas alguns destes métodos só cobrem um intervalo restrito de rotações e escalas do objeto alvo com baixas taxas de

detecção. Técnicas baseadas em padrão que se baseiam em informação de aresta são precisas e robustas, mas têm sido aplicadas apenas para rastreamento de objetos planares.

4.2.2. Rastreamento sem Modelo

Ao invés de utilizar informações previamente obtidas sobre a cena a ser rastreada, algumas técnicas de rastreamento sem marcadores estimam o movimento da câmera sem nenhum conhecimento *a priori* sobre o ambiente. Exemplos disto são as técnicas de SfM (Structure from Motion) ou SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) em tempo real [Klein e Murray, 2007; Newcombe e Andrew, 2010] (Figura 28). Elas também são capazes de recuperar a estrutura da cena em tempo real, com diferentes níveis de detalhe, dependendo da abordagem usada. Estas técnicas não requerem uma etapa prévia de treinamento *offline*. Devido a isso, é possível reconstruir um ambiente totalmente desconhecido quando necessário. Como desvantagem, estas abordagens são bastante complexas. Elas também possuem restrições relacionadas ao fato de rodarem em tempo real.



Figura 28. Rastreamento sem modelo aplicado a RA.

Tabela 1. Avaliação dos métodos baseados em modelo.

Categoria	Característica	Método	Detecção	Objeto	Processamento	Precisão	Robustez
Rastreamento recursivo	Aresta	Baseado em aresta	Não	Completamente tridimensional	Baixo	*Jitter*	Sensível a: • Movimento rápido de câmera • Fundo poluído
	Textura	Casamento de padrão	Não	Planar	Baixo	Altamente preciso	Sensível a: • Movimento rápido de câmera • Mudanças de iluminação • Oclusão
		Baseado em ponto de interesse	Não	Completamente tridimensional	Alto	Preciso	Sensível a: • Movimento rápido de câmera
Rastreamento por detecção	Aresta	Baseado em vistas	Sim	Completamente tridimensional	Alto	Preciso	Intervalo restrito de poses
		Baseado em padrão	Sim	Planar	Alto	Preciso	Robusto
	Textura	Baseado em pontos-chave	Sim	Completamente tridimensional	Alto	*Jitter* e *drift*	Robusto

4.3. Realidade Aumentada Projetiva

Uma das formas mais comuns de se conseguir que o usuário visualize elementos reais junto aos virtuais em aplicações de RA é utilizando os famosos *Head-Mounted Displays*, sejam eles *Optical See-Through*, quando a informação do mundo real entra diretamente no olho e é acrescida dos elementos virtuais, ou *Video See-Through*, onde a imagem do mundo real é capturada por uma câmera no dispositivo e anexada à informação virtual para ser exibida ao usuário. Porém, estes dispositivos ainda apresentam alguns problemas que dificultam o seu uso, sendo a ergonomia e o preço os principais entraves. Outra forma de atingir o objetivo de exibir informações virtuais e reais que vem ganhando bastante espaço é a RA Espacial, onde o ambiente em que o usuário se encontra inserido é aumentado com imagens integradas diretamente ao lugar e não apenas ao campo visual do observador [Raskar *et al*., 1998]. Esta inserção pode ser feita através de simples telas anexadas ao ambiente ou por meios mais complexos, como no uso de espelhos semi-translúcidos para criar o efeito de hologramas.

A forma de integração mais comum, porém, é dada por projeções diretamente na superfície, tanto que já existe uma subdivisão da RA Espacial que trata apenas da inserção de objetos virtuais no ambiente real utilizando projetores, chamada de RA Projetiva. A Figura 29 ilustra este conceito.

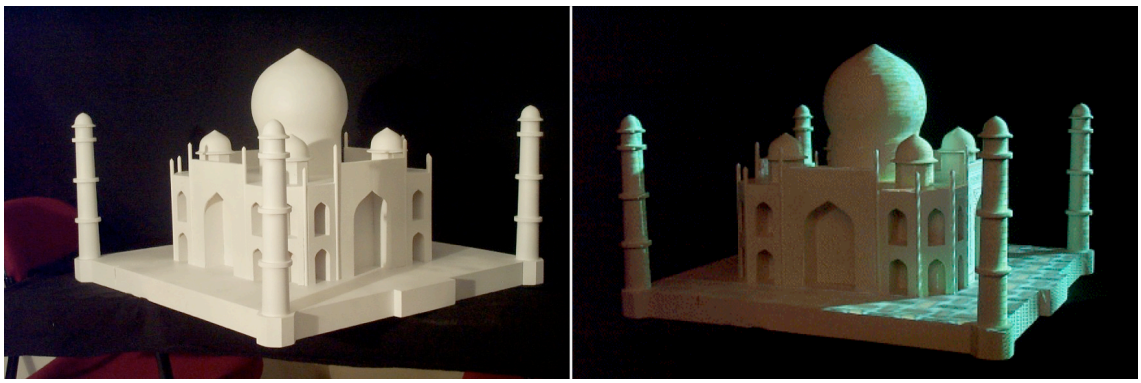


Figura 29: À direita tem-se a maquete de um palácio sem textura alguma, totalmente branca. Utilizando projetores, a textura juntamente com a posição do sol é simulada.

A RA possui um grande potencial de aplicabilidade por conseguir adicionar informações ao mundo real e melhorar significativamente a forma como o usuário interage tanto com os elementos reais, como virtuais. Já a RA Projetiva vem mostrando também ter um grande potencial de aplicações. Já existem inúmeras iniciativas de seu uso no meio comercial, como em vitrines de lojas interativas. Nelas, os produtos são projetados na vitrine e o cliente interage com as ofertas. Pode desde ver como as roupas ficam nele, até a finalizar a compra, entrando na loja apenas para receber o produto [Ivista]. A área médica também já faz uso deste tipo de aplicação, na qual os médicos possuem um dispositivo que projeta sobre o paciente suas veias e artérias, facilitando assim o encontro destas para o uso em procedimentos. Uma das áreas que mais faz uso de projeções é a publicidade. Há inúmeras iniciativas voltadas para a divulgação de marcas, produtos e conteúdo, como os pisos e paredes interativos [Streitz *et al*.],

projeções de animações em produtos e exposição de museus. A Figura 30 mostra algumas dessas ações.



Figura 30: A imagem ilustra algumas aplicações de RA projetiva. Acima e à direita temos o exemplo de um museu onde o expectador interage com a exposição e à esqueda uma vitrine interativa. Abaixo é mostrada uma parede interativa.

A RA Projetiva possui algumas características peculiares, a começar pelo registro do ambiente real. Na RA "tradicional", a imagem virtual é anexada a porções do ambiente que compreendem apenas o ponto de vista do usuário, diferentemente da RA Projetiva onde a informação é atribuída ao ambiente inteiro. Assim, é feito o registro apenas do espaço e de todos os objetos que o compõem e, independente da movimentação da pessoa e de como ela observa, as informações virtuais serão sempre as mesmas. Entretanto, para algumas aplicações é importante que a projeção mude à medida que o observador se movimenta, o que pode ser útil para prover uma noção de profundidade ou sensibilidade a contexto. Para isto, é necessário que não só o ambiente esteja registrado, mas também que haja um rastreamento da cabeça do usuário, que pode ser feito utilizando sensores presos à cabeça do mesmo. A Figura 31 mostra um exemplo. Outra forma de obter profundidade para o observador é utilizando projeções estéreo e óculos polarizados, como em muitas salas de cinema hoje em dia. Contudo, esta abordagem não elimina a necessidade do rastreamento da cabeça do usuário. Ao

contrário, ela se torna imprescindível, pois as projeções estéreo dependem justamente do ponto de vista do usuário.

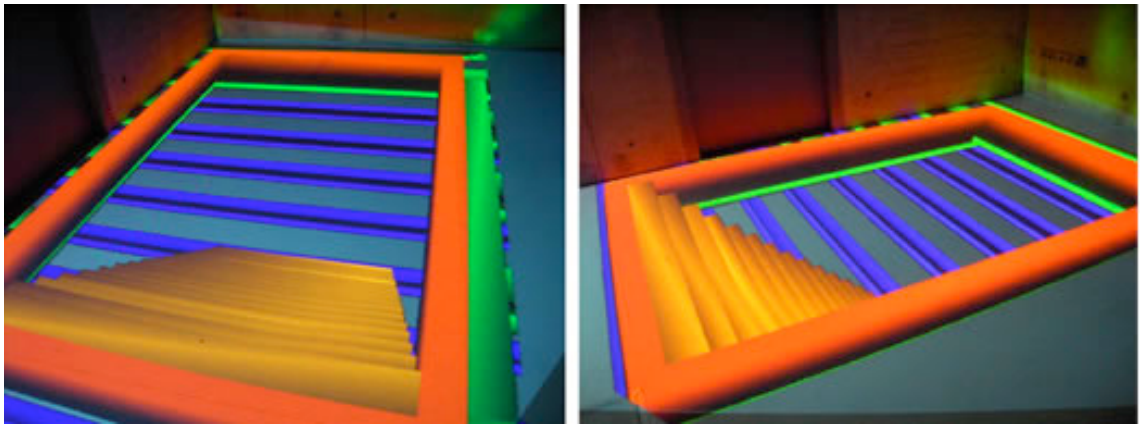


Figura 31: Exemplo de uma aplicação de RA Projetiva onde há o rastreamento de acordo com o ponto de vista do observador [Bimber *et al.*, 2005].

Outra peculiaridade se dá em relação à oclusão, pois na RA Projetiva os elementos virtuais podem sempre ser ocludidos, porém nunca se sobrepõem totalmente ao mundo real, ao contrário da RA "convencional" onde ocludir os elementos virtuais é bastante complexo, mas estes se justapõem muito facilmente sobre os objetos reais. Também é preciso tomar cuidado com as cores dos objetos virtuais, pois esta característica pode ser modificada no momento da projeção dependendo das cores da superfície onde ocorre a exibição.

O fato de o ambiente real interagir diretamente com os objetos virtuais influencia bastante na forma como o usuário interatua com a aplicação. As características da RA Projetiva praticamente impõem uma interação mais natural. Assim, é muito comum o uso de interfaces tangíveis e o rastreamento de partes do corpo do usuário, como as mãos, de modo que estes são usados para fornecer a entrada para o sistema.

Assim, um dos grandes benefícios da RA Projetiva é a capacidade de prover a interação dos elementos virtuais com os reais de forma imersiva para o usuário sem a necessidade de *Head Mounted-Displays*. Outra vantagem é ser possível controlar o ambiente de forma relativamente simples para se conseguir uma boa qualidade na projeção. O fato de o objeto virtual ser inserido em geral próximo ao real e da imagem não incidir diretamente no olho do usuário, e sim através de uma reflexão vindo de uma superfície pouco reflexiva, como uma parede, torna esta abordagem muito agradável ao olho humano.

Em contrapartida a RA Projetiva é bastante dependente da superfície de projeção e do ambiente. Caso o local de projeção não seja difuso, possua uma cor clara e uniforme, a qualidade da imagem se torna bastante comprometida. A nitidez das cores também está diretamente relacionada à luminosidade do ambiente. Assim, quanto mais escuro, melhor será a qualidade das cores, eliminando a necessidade de projetores muito potentes. Um problema a ser tratado também é o das sombras, que pode ser resolvido basicamente de duas formas: a mais simples é posicionar muito bem os projetores; a outra, um pouco mais complexa, é utilizando múltiplos projetores, que precisam estar alinhados para que o conteúdo seja uniformemente visualizado.

5. Estudo de Caso

O estudo de caso descrito nesta seção pretende integrar todos os conceitos vistos nas seções anteriores, de modo a desenvolver o conceito de um produto fechado que utiliza RA para criar um jogo educacional possuindo uma interface tangível, e explorando assim os benefícios das atividades lúdicas para a educação.

Existem várias possibilidades de aplicações que integram esses conceitos. Para este minicurso, os autores criaram um jogo baseado em blocos para auxiliar na alfabetização de crianças.

5.1. Definição

Como foi mostrado anteriormente, quando as crianças estão brincando com jogos de blocos, na realidade elas estão aprendendo a pensar e resolver problemas a partir do momento em que manipulam espacialmente os objetos e os classificam unindo os elementos comuns. Este tipo de atividade influencia diretamente no modo como eles veem e compreendem o mundo ao seu redor.

Deste modo, os jogos baseados em blocos são muito utilizados como brinquedos educativos, pois servem como instrumento para o aprendizado, especialmente para crianças de até oito anos. Dependendo dos blocos, o professor pode usá-los para criar atividades que desenvolvam o raciocínio lógico e matemático das crianças, assim como o vocabulário e até a criatividade. Entretanto, como os blocos tradicionais possuem suas faces estáticas, é necessário praticamente um jogo diferente para cada uma das atividades que o tutor queira executar, limitando as possibilidades do mesmo. Desta forma, existem inúmeros brinquedos baseados em blocos com um único propósito, como visto na Figura 32.



Figura 32: Brincando de Engenheiro [Xalingo, 2010] é um jogo baseado em blocos, porém suas faces são estáticas. Como não há a liberdade para se mudar o conteúdo do que é mostrado no bloco, o jogo pode ser usado em pouquíssimas atividades diferentes para a qual ele foi concebido.

O estudo de caso proposto visa solucionar esta limitação a partir do desenvolvimento de blocos dinâmicos, onde qualquer informação desejada possa ser gravada em suas faces durante a atividade, desde uma simples letra ou número, até uma animação. Dessa forma, as possibilidades do professor aumentam substancialmente e ele pode usar sua criatividade para criar praticamente qualquer atividade, desde as mais tradicionais já citadas, até outras mais complexas de se trabalhar com blocos convencionais, como o ensino de música.

Para tornar estes blocos dinâmicos possíveis, utiliza-se RA Projetiva para criar um sistema computacional manipulado por uma interface tangível, que seriam os blocos físicos. Cada bloco possui um marcador em suas faces para diferenciá-lo dos demais, que será rastreado por uma câmera. De posse das posições e orientações de cada cubo, o conteúdo de cada um deles será projetado apenas na face do seu respectivo bloco, assim ele funciona ao mesmo tempo como um *display*, pois irá exibir a informação para o usuário, e um dispositivo de entrada, já que a sua manipulação influenciará no jogo e no que será mostrado. Por se tratar de um bloco físico, todos os benefícios já mencionados associados aos brinquedos tradicionais são preservados, mas por se tratar de um sistema computacional, outros pontos positivos são acrescidos, como, além dos já citados, a possibilidade de retorno sonoro. A Figura 33 ilustra o conceito proposto.



Figura 33: Estrutura proposta para uma aplicação de RA projetiva envolvendo 3 blocos, possuindo um *Frame Marker* cada e a projeção do conteúdo ocorre apenas no interior dos marcadores. Para isso, tanto câmera como projector precisam estar alinhados.

5.2. Concepção

Por se tratar de um sistema a ser usado por educadores como instrumento para aumentar a capacidade de aprendizado e o desenvolvimento das crianças, é necessário que todo o desenvolvimento do jogo seja acompanhado de perto por professores, de modo que estes possam transmitir toda a sua experiência e vivência em sala de aula para acrescentar ao projeto ideias úteis para o mesmo.

Existem várias metodologias, princípios e técnicas de *design* para o desenvolvimento de jogos educacionais, porém nenhuma delas será detalhada neste tutorial, sendo aqui descrito apenas como se deu a concepção do estudo de caso citado na subseção anterior, o que já serve como uma boa base para o *design* de diversos outros sistemas que sigam essas mesmas características.

O ponto de partida foi a definição de um objetivo claro para o projeto, pois é ele quem vai determinar as pesquisas, que por sua vez irão guiar o desenvolvimento.Como este estudo de caso visa criar uma atividade para educação que utilize blocos dinâmicos, pode-se dizer que o principal objetivo é o de *desenvolver um jogo baseado em blocos dinâmicos que possa ser inserido como ferramenta de apoio na alfabetização infantil e que este seja capaz de contribuir com o estímulo à criatividade e ao desenvolvimento de crianças nesta faixa etária*.

Este objetivo deixa claro que o jogo deve auxiliar o professor, contribuindo para o processo de aprendizagem o mais naturalmente possível, sem retirar o foco dos alunos do objetivo principal que é aprender de forma lúdica. Para que esta meta seja alcançada, é importante compreender o domínio de sala de aula, o que levanta algumas questões que precisam ser respondidas. Dentre elas estão:

- Como é a alfabetização de crianças atualmente?
- Como a alfabetização de crianças pode se tornar mais atrativa para os pequenos e os professores utilizando interfaces tangíveis?
- O que as interfaces tangíveis atuais podem prover em relação à interação e ao ensino de crianças?

A resposta destas questões veio através de uma pesquisa dividida em duas fases:

- **Análise de competidores:** uma pesquisa detalhada acerca do que já foi e está sendo desenvolvido, tanto na educação como temos hoje, como nas interfaces tangíveis e no seu uso no contexto de jogos. Praticamente todos os resultados desta fase vieram de uma forte pesquisa bibliográfica em ambas as áreas. Dela foi possível concluir que os jogos baseados em blocos dinâmicos se encaixam na categoria das interfaces tangíveis conhecidas como manipulativos digitais e que o desenvolvimento tecnológico destas interfaces já caminhou bastante, porém ainda é visível a falta de aplicativos interessantes capazes de suprir as necessidades de ensino para crianças [Falcão e Gomes, 2006].
- **Compreensão do contexto:** nesta fase foi realizada uma observação com o objetivo de se compreender o funcionamento, dinâmica, regras, rotina e dificuldades da sala de aula, além de uma entrevista semi-estruturada com os professores para a obtenção de informações e contribuições valiosas, assim como os requisitos genéricos do produto. Os resultados obtidos mostraram que a alfabetização tradicional não faz uso dos manipulativos, porém os professores procuram utilizar recursos multimídia como forma de chamar a atenção das

crianças, que gostam quando são expostas a situações onde vários de seus sentidos são estimulados, em especial a visão e audição. Os livros atuais também seguem esta tendência, pois utilizam vários elementos gráficos. Também foi possível observar a forma como os professores ministram suas atividades e avaliam seus alunos, algo de fundamental importância na elaboração da dinâmica de um jogo educativo.

Com o resultado da pesquisa foi iniciada a fase de criação do jogo, que consistiu em duas sessões de prototipação, a primeira em papel e a segunda em isopor, no mesmo formato dos blocos, como visto na Figura34. A partir dessas duas fases de prototipagem foi possível refinar com os professores a ideia inicial do jogo de modo que ele pudesse melhor atender às necessidades de uma sala de aula.

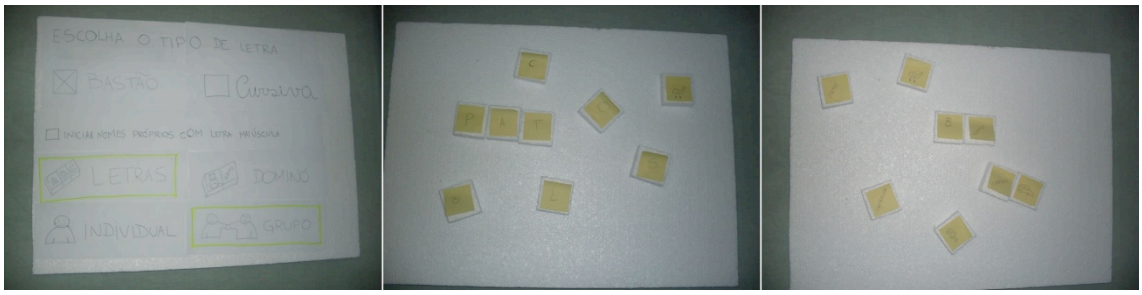


Figura34: Imagens dos protótipos em isopor utilizados na segunda fase de prototipação.

5.3. Desenvolvimento do produto

O desenvolvimento do produto passa por duas etapas. A primeira é a do sistema computacional em si, utilizando RA Projetiva e interface tangível; a segunda é a do jogo, cuidadosamente concebido como mostrado na subseção anterior, que será executado sobre o sistema.

A primeira questão a ser tratada no desenvolvimento de um sistema de RA é o modo como o rastreamento será realizado. No estudo de caso elaborado, este assunto requer uma atenção um pouco maior, pois, por se tratar de uma interface tangível utilizando RA Projetiva, o rastreamento, a exibição da informação e o dispositivo de entrada envolvem o mesmo objeto.

Como os blocos serão a superfície de projeção, estes não podem ser texturizados, devendo ser lisos e na cor branca para que o mínimo de interferência ocorra na exibição das cores. Entretanto, não é possível rastrear uma superfície com essas características. Se todos os blocos são uniformemente brancos, não há como sequer distinguir um do outro. Para resolver este entrave, a primeira solução pensada foi a de adicionar uma borda colorida nos blocos. Entretanto, esta resolução possui algumas falhas, sendo a principal delas uma limitação no número máximo de marcadores rastreados simultaneamente, que seria de apenas quinze. Isto se deve ao fato de que o valor das cores é muito sensível à iluminação ambiente e para que se tenha uma margem de segurança é necessária uma paleta com cores mais distantes umas das outras, como a CGA [Ibm, 1981], que possui apenas dezesseis, porém uma delas não pode ser utilizada já que a cor branca é a mesma do bloco, não sendo possível assim uma borda com esta tonalidade.

A solução final adotada foi a utilização de um *Frame Marker*, com o qual é possível ter todos os benefícios de um marcador comum e ainda conseguir que uma grande região do bloco não possua nenhuma informação, ficando totalmente branca para receber a projeção. Até onde os autores conhecem, não existe nenhuma biblioteca gratuita de RA que dê suporte a este tipo de marcador, e por isso foi criado tanto um marcador específico como um rastreador capaz de suprir as necessidades do projeto.

O marcador, mostrado na Figura 35, possui uma borda fina e contínua que o delimita. Interno a ela está o código, uma sequência de 10 quadrados, ou *bits*, para cada lado. O código é o mesmo para ambas as bordas para que a redundância dê mais rosbutez à identificação, o que muda é apenas o primeiro e último *bit*, que servem para indicar a orientação do marcador. Entre esses pequenos quadrados das extremidades estão os outros oito que formarão o código em si. Este número permite a confecção de até 256 marcadores diferentes, que é uma quantidade suficiente para a maioria das aplicações. Caso haja a necessidade de mais marcadores, pode-se adicionar mais um *bit* ao código. Porém, deve-se tomar cuidado, pois quanto mais *bits*, menor o tamanho dos quadrados, tornando o rastreamento mais suscetível a erros.

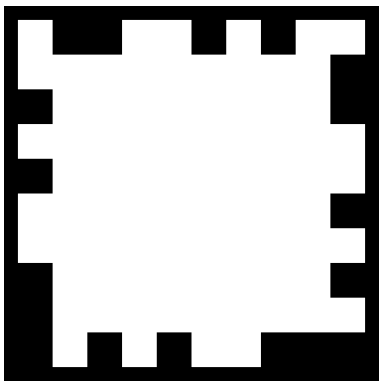


Figura 35: *Frame Marker* criado para o projeto.

O processamento realizado pelo rastreador que foi desenvolvido para este marcador possui quatro etapas. Na primeira a imagem é convertida para tons de cinza e em seguida é segmentada usando um limiar de valor 120, determinado de forma experimental. No passo seguinte, é utilizado o detector de borda de Canny [Canny, 1986] para determinar todas as arestas. Em seguida, são selecionados todos os contornos que possuem quatro vértices e uma área entre dois limiares que contém entre eles o tamanho mais provável de um marcador. Por fim, a leitura do código é realizada e aqueles que possuírem um identificador válido são classificados como marcadores rastreados com sucesso. Esta operação é feita em todos os *frames* do vídeo capturado pela *webcam*. A Figura 36 mostra uma sequência de imagens com o resultado de cada uma dessas etapas.



Figura 36: Sequência de imagens com resultados das etapas do rastreamento. Na imagem da esquerda a segmentação da imagem extraída pela *webcam*, no centro o resultado da segmentação utilizando Canny e à direita a identificação de três marcadores diferentes.

Solucionado o problema do rastreamento, o passo seguinte é o de desenvolver um sistema que projete as informações desejadas apenas na área interna ao marcador. Para isto, esta etapa está em desenvolvimento a partir da adaptação de uma técnica proposta por Johnny Lee [Lee *et al*.], a qual calcula uma transformação que modifica o dado a ser exibido de acordo com as dimensões e orientação do bloco rastreado.

Porém, apenas aplicar uma transformação que leve os dados na orientação e posição dos blocos não é suficiente para uma projeção correta sobre os mesmos, pois a câmera e o projetor possuem sistemas de coordenadas diferentes. Assim, é necessário alinhar o sistema câmera-projetor de modo a descobrir a correspondência entre o sistema de coordenada do projetor e o da câmera. Por se tratar de uma etapa futura do desenvolvimento, os autores ainda não chegaram a uma solução definitiva para o alinhamento, possuindo apenas uma noção preliminar. Como a câmera e o projetor permanecerão imóveis, os autores pensam em utilizar uma etapa de calibração no instante da inicialização. Assim, as quatro extremidades da área de projeção seriam indicadas, dando assim a correspondência com os vértices da câmera. Possuindo quatro pares é possível aplicar uma homografia entre todos os pontos de ambos os dispositivos.

Ao término do processo, todo o arcabouço tecnológico está pronto, e o sistema computacional utilizando blocos como interface tangível e RA Projetiva para exibir a informação foi finalizado. Em seguida, a etapa de desenvolvimento do jogo pode ser iniciada. Por se tratar de um desenvolvimento de *software* utilizando a plataforma apresentada, não pertence ao escopo deste tutorial descrever detalhes desta etapa. A Figura 37 e a Figura 38 ilustram dois exemplos de aplicações que podem ser montadas a partir da ferramenta descrita neste tutorial.



Figura 37: Exemplo de aplicação onde as crianças precisam formar a palavra correspondente à imagem projetada em um dos marcadores. A ação deve ser realizada de forma colaborativa.



Figura 38: Nesta outra aplicação, a criança deve associar o marcador com a imagem à palavra correspondente, a partir da união dos blocos relacionados.

6. Considerações Finais

Este tutorial apresentou os principais conceitos envolvendo a utilização de interfaces tangíveis para aplicações de Realidade Aumentada, focando na integração destas duas áreas para aprimorar a experiência de alunos e educadores, possibilitando um aprendizado mais interativo.

Para isto, foi mostrado como os jogos educacionais representam um importante instrumento a ser utilizado por educadores das mais diversas áreas. Os autores também expuseram como as interfaces tangíveis são capazes de possibilitar uma interação natural com sistemas computacionais a partir da utilização de objetos reais, que podem ser associados pelo usuário com objetos do cotidiano. Também foi visto várias características e bibliotecas de Realidade Aumentada, fornecendo ao leitor uma boa noção para que ele possa escolher a forma mais adequada de se usar RA em diversos tipos de aplicações, incluindo aquelas que utilizem as interfaces mencionadas a cima, melhorando assim o nível de experiência do usuário.

Também foi conduzido uma sequência de atividades para a construção de uma aplicação que faça uso das duas tecnologias mostradas para ser utilizada em sala de aula como um jogo baseado em blocos para o auxílio da alfabetização infantil. É importante ressaltar a importância de cada uma dessas atividades, desde a fase de concepção e estudo do usuário, pois é nela onde é possível se descobrir os reais desejos de quem vai utilizar a aplicação, até a do desenvolvimento propriamente dita, onde o jogo toma a sua forma final.

Referências

Africano, D., S. Berg, K. Lindbergh, P. Lundholm, F. Nilbrink e A. Persson. Designing tangible interfaces for children's collaboration. CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems. Vienna, Austria: ACM 2004.

Aim. Bar Code Technology: Matrix 2D Symbologies 2010.

Andar. andAR - Android Argumented Reality Lib 2010.

Antunes, C. Educação infantil: prioridade imprescindível: Vozes. 2007

_____. Jogos para a estimulação das múltiplas inteligências: Vozes. 2008

Berard, F. The Magic Table: Computer Vision Based Augmentation of a Whiteboard for Creative Meetings 2003.

Bimber, O., G. Wetzstein, A. Emmerling e C. Nitschke. Enabling View-Dependent Stereoscopic Projection in Real Environments. ISMAR '05: Proceedings of the 4th

IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality: IEEE Computer Society. 2005, 2005. Paginas p.

Blackwell, A. F., G. Fitzmaurice, L. E. Holmquist, H. Ishii e B. Ullmer. Tangible user interfaces in context and theory. CHI '07 extended abstracts on Human factors in computing systems. San Jose, CA, USA: ACM**:** 2817-2820 p. 2007.

Broto, F. O. Jogos cooperativos: o jogo e o esporte como um exercício de convivência. 1999

Canny, J. A computational approach to edge detection. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., v.8, n.6, p.679-698. 1986.

Dias, J., N. Barata, P. Santos, A. Correia, P. Nande e R. Bastos. In your hand computing: tangible interfaces for mixed reality: IEEE, 2004. Paginas p.

Falcão, T. e A. Gomes. Design de interfaces tangíveis educacionais: uma metodologia baseada em contexto: ACM, 2006. Paginas p.

Falcão, T. P. D. R. Design de interfaces tangíveis para aprendizagem de conceitos matemáticos no Ensino Fundamental. Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. 225 p.

Fiala, M. ARTag, a Fiducial Marker System Using Digital Techniques. CVPR '05: Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) - Volume 2: IEEE Computer Society. 2005, 2005. Paginas p.

Fitzmaurice, G., H. Ishii e W. Buxton. Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995. Paginas p.

Fitzmaurice, G. W., H. Ishii e W. A. S. Buxton. Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. Denver, Colorado, United States: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. 1995.

Flartoolkit. FLARToolKit 2010.

Froebelgifts. Froebel Gifts Child Development Toys 2010.

Gomes Neto, S., M. Bueno, T. Farias, J. Lima, V. Teichrieb, J. Kelner e I. Santos. Experiences on the Implementation of a 3D Reconstruction Pipeline. International Journal of Modeling and Simulation for the Petroleum Industry, v.2, p.7-15. 2008.

Guo, C. e E. Sharlin. Exploring the use of tangible user interfaces for human-robot interaction: a comparative study: ACM, 2008. Paginas p.

Harald, W. Adaptive Line Tracking with Multiple Hypotheses for Augmented Reality, 2005. Paginas p.

Holzer, S., S. Hinterstoisser, S. Ilic e N. Navab. Distance Transform Templates for Object Detection and Pose Estimation. 2009.

Ibm. Color/Graphics Adapter. 1981

Imagination. Flare Tracker 2010.

Ishii, B. U. A. H. Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces. In: J. M. Carroll (Ed.): Addison-Wesley, 2001. Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces, p.579-601. (Human-Computer Interaction in the New Millenium)

Ishii, H. The tangible user interface and its evolution. Commun. ACM, v.51, n.6, p.32-36. 2008.

Ishii, H. e B. Ullmer. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms: ACM, 1997. Paginas p.

Ivista, M. invista soluciones.

Jurie, F. e M. Dhome. A simple and efficient template matching algorithm. 2001, 2001. Paginas p.

Kato, H. e M. Billinghurst. Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System. IWAR '99: Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality: IEEE Computer Society. 1999, 1999. Paginas p.

Klein, G. e D. Murray. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces. Proc. Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'07). 2007/november, 2007. Paginas p.

Lee, J. C., P. H. Dietz, D. Maynes-Aminzade, R. Raskar e S. E. Hudson. Automatic projector calibration with embedded light sensors. UIST '04: Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology: ACM. 2004. Paginas p.

Leong, Z. A. e M. S. Horn. The BEAM: a digitally enhanced balance beam for mathematics education. Proceedings of the 9th International Conference on Interaction Design and Children. Barcelona, Spain: ACM 2010.

Newcombe, R. A. e J. Andrew. Live Dense Reconstruction with a Single Moving Camera Davison, CVPR 2010. CVPR. 2010.

Nishino, H. A split-marker tracking method based on topological region adjacency & geometrical information for interactive card games. SIGGRAPH ASIA '09: ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Posters: ACM. 2009, 2009. Paginas p.

Nyala. FrontPage.en - NyARToolkit.

Piaget, J. A formação do símbolo na criança: imitação, jogo e sonho, imagem e representação: J. Zahar. 1971

Piper, B., C. Ratti e H. Ishii. Illuminating clay: a 3-D tangible interface for landscape analysis: ACM, 2002. Paginas p.

Raskar, R., G. Welch e H. Fuchs. Spatially Augmented Reality. Methods, n.919, p.1-7. 1998.

Ratti, C., Y. Wang, H. Ishii, B. Piper e D. Frenchman. Tangible User Interfaces (TUIs): a novel paradigm for GIS. Transactions in GIS, v.8, n.4, p.407-421. 2004.

Resnick, O. Z. A. S. A. A. M. Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. Portland, Oregon, USA: ACM**:** 859-868 p. 2005.

Rodulfo, R. O Brincar e o Significante: um estudo psicanalítico sobre a constituição precoce. Porto Alegre: ArtMed. 1990

Schartz, G. M. Dinâmica lúdica: novos olhares: Manole. 2004

Schmalstieg, D. W. A. D. Making Augmented Reality Practical on Mobile Phones, Part 1. IEEE Computer Graphics and Applications, v.29, n.3, p.12-15. 2009.

Skrypnyk, I. e D. G. Lowe. Scene modelling, recognition and tracking with invariant image features. 2004/nov., 2004. Paginas p.

Slartoolkit. SLARToolkit , Silverlight Augmented Reality Toolkit.

Streitz, N. A., G. Jã¶Rg, T. Holmer, S. I. Konomi, C. Mã¼Ller-Tomfelde, W. Reischl, P. Rexroth, P. Seitz e R. Steinmetz. i-LAND: an interactive landscape for creativity and innovation. CHI '99: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: ACM. 1999. Paginas p.

Stricker, D. e T. Kettenbach. Real-Time and Markerless Vision-Based Tracking for Outdoor Augmented Reality Applications. ISAR '01: Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR'01): IEEE Computer Society. 2001, 2001. Paginas p.

Teichrieb, V., J. P. S. Do Monte Lima, E. L. Apolinário, T. S. M. C. De Farias, M. A. S. Bueno, J. Kelner e I. H. F. Santos. Experiences on the Implementation of a 3D Reconstruction Pipeline. International Journal of Modeling and Simulation for the Petroleum Industry, v.1. 2007.

Ullmer, B. A. I., H. Emerging frameworks for tangible user interfaces. IBM Systems Journal, v.39, n.3.4, p.915-931. 2000.

Vacchetti, L., V. Lepetit e P. Fua. Stable real-time 3d tracking using online and offline information. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v.26, p.1385-1391. 2004.

Wagner, D. Augmented Reality on Truly Mobile Devices. 2006.

Wagner, D., T. Pintaric, F. Ledermann e D. Schmalstieg. Towards massively multi-user augmented reality on handheld devices. In Third International Conference on Pervasive Computing. 2005, 2005. Paginas p.

Wagner, D. e D. Schmalstieg. ARToolKit on the PocketPC platform. Proceedings of the Second IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003. Paginas p.

Wiedemann, C., M. Ulrich e C. Steger. Recognition and Tracking of 3D Objects. Proceedings of the 30th DAGM symposium on Pattern Recognition: Springer-Verlag. 2008, 2008. Paginas p.

Xalingo. Brincando de Engenheiro 200 peças 2010.

Zhou, Z., A. D. Cheok, Y. Li e H. Kato. Magic cubes for social and physical family entertainment. CHI '05: CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems: ACM. 2005, 2005. Paginas p.

Zuckerman, O., S. Arida e M. Resnick. Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives: ACM, 2005. Paginas p.