

GARBook: Visualização de sólidos e de secções no Cubo com recurso a Realidade Aumentada

Marta D. Noval
Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharias
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
{martaknoval, catarinabaptistab}@gmail.com

Luís Magalhães^(1,2) Emanuel Peres^(1,2) Joaquim João Sousa^(1,3) João Barreira^(1,2)
⁽¹⁾ Departamento de Engenharias, ECT/UTAD, Apartado 1013, 5001-801 Vila Real, Portugal
⁽²⁾ INESC TEC, Campus da FEUP, Rua Dr. Roberto Frias, 378, 4200 - 465 Porto, Portugal
⁽³⁾ Centro de Geologia da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre 687, 4169-007 Porto
{lmagalha, eperes, jjsousa}@utad.pt; jcsbarreira@gmail.com

Sumário

As aplicações de Realidade Aumentada (RA), desenvolvidas recentemente, abordam diversas áreas, incluindo a área de apoio ao ensino. No ensino da geometria, por exemplo, os alunos revelam, tradicionalmente, dificuldades na perceção da tridimensionalidade, quando esta é representada em duas dimensões. O recurso a técnicas de RA para a visualização 3D poderá ajudar a ultrapassar esta limitação. Neste artigo, apresenta-se uma aplicação em RA, desenvolvida para apoiar o ensino da geometria, nomeadamente, a representação e a visualização de secções num cubo. O GARBook consiste num livro interativo que permite a visualização de sólidos geométricos e de secções no cubo. Os ensaios experimentais foram realizados com alunos do ensino profissional, com idades compreendidas entre os 15 e os 20 anos e permitiram concluir que o processo de aprendizagem entre os jovens que usaram o GARBook melhorou significativamente em comparação com os alunos que usaram apenas o método tradicional (entenda-se, método expositivo em contexto de sala de aula).

Palavras-chave

GARBook, Realidade Aumentada, Livro interativo, Sólidos Geométricos, Ensino Secundário.

1. INTRODUÇÃO

A Realidade Aumentada (RA) pode ser usada para adicionar elementos virtuais ao espaço do utilizador, proporcionando, desta forma, uma experiência natural e agradável em ambiente misto. O computador faz a junção de objetos virtuais com o mundo real, mostrando ao utilizador um único ambiente [Azuma2001]. Têm sido desenvolvidas muitas aplicações em RA, em diversas áreas e em diferentes domínios da atividade humana, destacando-se: o entretenimento [Jogos2012], a medicina [Fisher2004], o comércio [Zugara2012] e a educação [Biltinghurst2001, Kaufmann2003].

A utilização de marcadores fiduciais em aplicações de RA fornece aos utilizadores uma forma natural de interação, uma vez que traz, para o espaço do utilizador, os objetos virtuais, permitindo lidar com os objetos reais e virtuais no ambiente misto sem a necessidade de recorrer a interfaces físicas (*joystick*, teclado ou rato) [Azuma2001].

Atualmente, o uso de jogos digitais é reconhecido como uma ferramenta poderosa no processo de ensino-aprendizagem, pois, por se tratar de aplicações interativas, podem ser usadas com sucesso neste domínio, mas

também em muitos outros. Em [Mayo2007], por exemplo, afirma-se que o recurso a jogos ou a aplicações interativas, no ensino de qualquer área científica, permite obter melhores resultados comparativamente ao processo clássico, ou seja, o método expositivo em ambiente de sala de aulas. [Squire2004] chegaram à mesma conclusão no caso particular do ensino da física. Em [Coller2009a, Coller2009b] indica-se que os estudantes, quando utilizam jogos educativos, estão mais motivados para a aprendizagem do que os que utilizam apenas os livros tradicionais.

No ensino da geometria, os alunos demonstram dificuldades de abstração, por exemplo, quando têm de imaginar a representação tridimensional dos sólidos com base na sua representação bidimensional. Na visualização e compreensão das secções produzidas pela interseção de um plano com o sólido geométrico, essa dificuldade é notória, principalmente, nas secções mais complexas, como por exemplo o hexágono. As secções quadradas e retangulares também se enquadram neste grupo, devido, sobretudo, à falta de conhecimento das definições de plano secante e oblíquo. A visualização 3D pode, assim, ajudar a colmatar estas dificuldades.

Este trabalho foca-se no ensino da geometria, particularmente, as secções no cubo, através do desenvolvimento de um livro interativo (GARBook – *Geometry Augmented Reality Book*) que permite a visualização em RA de sólidos geométricos e secções no cubo. Desta forma, será possível visualizar, a três dimensões, os sólidos e as secções utilizando um formato mais atrativo. O GARBook é constituído por duas componentes: uma física (o livro em si) e outra digital (a aplicação de RA). O livro interativo foi testado com alunos do ensino profissional e foi realizada uma comparação com o método tradicional de ensino (entenda-se, método expositivo em contexto de sala de aula).

Nas secções que se seguem são apresentados os trabalhos relacionados com o livro interativo (Secção 2), a definição e constituição do GARBook e a forma como foram construídos os sólidos geométricos e as secções (Secção 3), os testes experimentais e os respetivos resultados (Secção 4) e, finalmente, as conclusões e propostas de trabalho a desenvolver no futuro próximo (Secção 5).

2. TRABALHOS RELACIONADOS

A RA está em constante evolução e, como tal, existem várias áreas onde a sua aplicação pode trazer benefícios óbvios, destacando-se, entre muitas outras áreas, o entretenimento e o ensino.

Para apoiar o ensino da música, foi desenvolvido um jogo em RA, em que os símbolos conhecidos são adicionados na forma de objetos virtuais no ambiente real [Correa2006], ajudando as pessoas com dificuldades de aprendizagem a compreender, visualmente, os conceitos. O jogo recorre a marcadores pré-definidos e a uma câmara montada num computador pessoal. Cada marcador representa uma nota musical, podendo estes ser colocados de acordo com o que o professor pretende ensinar. Em [Barreira2012] é apresentado o MOW, nome atribuído ao jogo, em RA, para ensinar palavras em línguas diferentes. As experiências com este jogo foram realizadas com crianças portuguesas durante as aulas de inglês. Os resultados do MOW foram comparados com os métodos de ensino tradicionais e foi possível concluir que as crianças que usaram este jogo revelaram progressos significativos em comparação com aquelas que usaram apenas métodos tradicionais. No ensino da Matemática foram desenvolvidas muitas aplicações. A Construct3D [Kaufmann2003], por exemplo, é uma ferramenta de construção geométrica 3D projetada especificamente para a matemática e educação geométrica. Esta aplicação também recorre a marcadores, permitindo a alunos e professores, o visionamento de figuras geométricas, sólidos, etc.. O projeto Aritmética [Aritmética2012], também relacionado com o ensino de matemática, tem como objetivo principal permitir que as crianças, em fase de alfabetização, possam ver alguns exemplos de operações aritméticas básicas, no sentido de aprimorar a aprendizagem através de marcadores.

São várias as áreas que já dispõem de livros interativos. Um desses exemplos, o AR-Dehaes [Martín-Gutiérrez2010], livro interativo desenvolvido para fornecer modelos 3D virtuais que ajudam os alunos de cursos

de engenharia a realizar tarefas de visualização para promover o desenvolvimento da sua capacidade espacial. O Digilog Book [Ha2011] é outro exemplo de livro interativo que recorre à tecnologia de RA, oferecendo conteúdos multimédia que estimulam os sentidos dos leitores. Na área da Astronomia, foi desenvolvido um livro interativo que recorre a RA, designado por *Live Solar System* [Sin2009]. Esta ferramenta educacional tem como objetivo principal auxiliar o ensino da Astronomia.

Existem outros projetos de livros interativos que recorrem a som e imagem. O projeto LIRA [Lira2012], recorre a um modelo diferente de interação entre o aluno e o computador, pois quando uma marca é exibida, além de surgir o objeto bidimensional ou tridimensional, surge, também, o som correspondente ao objeto. O GeoAR [GeoAR2012], projeto na área da geometria, tem como objetivo principal, complementar o ensino de fórmulas básicas, como o perímetro e a área de figuras e de sólidos geométricos, contemplando, também, exercícios atrativos. De notar que, tanto as figuras como os sólidos ou mesmo as fórmulas e os exercícios, são em RA.

Existem, ainda, alguns projetos disponibilizados *online*, permitindo a professores e a alunos, experimentar aplicações e testes gratuitos de RA. O projeto Ezflar [Ezflar2012] é um desses exemplos, possibilitando que o utilizador escolha o objeto que pretende visualizar em 3D, sendo este carregado no próprio *site* juntamente com o marcador, permitindo a sua visualização.

O aparecimento de um número cada vez mais alargado, de projetos em RA, originou a realização de vários estudos científicos com o objetivo de determinar a mais-valia da utilização da RA no ensino. Um desses estudos, que incidiu em alunos de 10 anos de idade, comparou o uso de RA com os métodos tradicionais de ensino [Kerawalla2006]. A análise do diálogo professor-aluno revelou que os alunos que utilizam RA aprendem mais facilmente do que aqueles que usam os métodos tradicionais. Em contrapartida, Freitas e Campos [Freitas2008] realizaram um estudo sobre a conceção e avaliação da RA para o ensino de segundo grau, nível conceitos. Os resultados indicaram que a RA ajuda a aumentar a motivação entre os alunos, contribuindo, assim, positivamente nas experiências de aprendizagem, especialmente entre os alunos com mais dificuldades. No entanto, a maioria dos estudos realizados com crianças pretendem, apenas, avaliar e promover a motivação e o desempenho dos mesmos. Por exemplo, em [Juan2010a e Juan2010b] um questionário pós-jogo (aplicação) é utilizado para mostrar que as crianças preferem a RA ao método tradicional. Em [Clark2011] defende-se que, para a criação de livros divertidos e educativos, não basta criar conteúdos visualmente estimulantes, mas levar a que os alunos interajam, criem e se expressem.

3. O GARBOOK

O GARBook é um livro interativo com RA desenvolvido, em colaboração com professores de matemática, para o ensino da geometria a alunos do 10.º ano. A finalidade deste livro é complementar o ensino de uma parte específica da geometria contida no currículo escolar português

de matemática, mais especificamente, as secções no cubo. O GARBook é formado por duas componentes, uma física (o próprio livro) e outra digital (a aplicação de RA).

3.1 O livro

O livro é constituído por uma capa descritiva (Figura 1), um glossário, que apresenta uma descrição das palavras-chave utilizadas, e uma breve descrição dos conceitos de geometria e de RA onde se apresentam as mais-valias decorrentes da utilização destes dois conceitos em simultâneo. A parte do livro que contém os sólidos geométricos e as secções no cubo, além da breve descrição, apresenta, também, marcadores que vão permitir a sua visualização em RA. Em anexo, o livro dispõe de um marcador auxiliar, em que, quando utilizado em conjunto com os marcadores das secções, fará aparecer um dos poliedros gerados, a rodar em torno de si mesmo (ver exemplo apresentado na Figura 6).

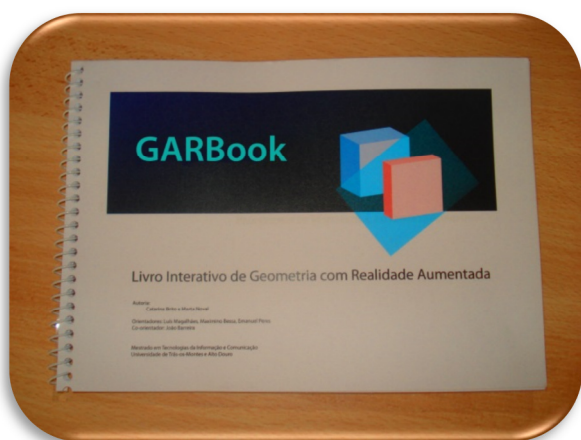


Figura 1: Imagem do GARBook, o livro interativo que servirá de apoio à visualização dos sólidos geométricos e secções no cubo.

3.2 Aplicação de RA

O GARBook foi desenvolvido usando o ARToolkit [ARToolKit2012a] e a biblioteca OpenGL no programa Microsoft Visual Studio 2008. Através de técnicas de visão computacional, o ARToolkit permite identificar e calcular rapidamente a posição dos marcadores de referência e da câmara real. O programador pode, assim, acrescentar objetos virtuais sobre estes marcadores no mundo real [ARToolKit2012b].

Para que a visualização dos objetos virtuais seja possível, o ARtoolkit transforma a imagem capturada em valores binários, examinando, em seguida, a imagem para encontrar regiões quadradas. Quando encontradas, para cada quadrado, a imagem no interior do marcador é comparada com outras guardadas e associadas à aplicação em formato PATT. Caso exista similaridade, o ARToolkit considera encontrado um dos marcadores de referência. Então, quando conhecido o tamanho do quadrado e a orientação do padrão encontrado, é calculada a posição real da câmara em relação à posição real do marcador. Uma matriz 3x4 é usada para calcular a posição das coordenadas da câmara virtual. Esta matriz advém do mundo real, pois conterá as coordenadas reais da câmara em relação ao marcador. O objeto virtual é desenhado sobre o marcador

quando as coordenadas virtuais e reais da câmara forem as mesmas. O funcionamento do ARToolkit é apresentado na Figura 2 [ARToolKit2012b]. No caso do livro interativo, o objeto desenhado é um sólido geométrico ou uma secção.

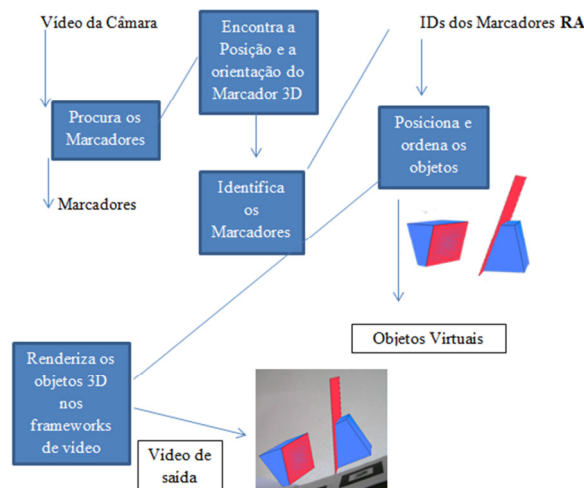


Figura 2: Diagrama de funcionamento da aplicação de RA, que utiliza o ARToolkit [ARToolKit2012b].

3.2.1 Construção de sólidos geométricos

Os sólidos geométricos são classificados como poliedros ou não poliedros. Os não poliedros, no caso do cone, esfera e cilindro, foram desenvolvidos com a biblioteca *Glut*. Esta biblioteca tem funções predefinidas para a construção dos sólidos, por exemplo *glutSolidSphere*, no caso da esfera.

Os sólidos classificados como poliedros foram todos construídos da mesma forma, recorrendo ao OpenGL para construção face a face. Trata-se de uma construção mais complexa, pois é necessário atribuir coordenadas aos vértices dos sólidos. Uma vez que os sólidos são entidades tridimensionais, teremos de usar um trio de coordenadas (x, y, z). Após atribuídas as coordenadas aos vértices do objeto, será necessário definir os índices de cada vértice das faces que constituem o sólido. A Figura 3 apresenta a matriz do cubo que indica os índices dos vértices de cada face. O cubo é constituído por seis faces quadradas, possuindo, estas, quatro vértices cada, originando uma matriz de 4x6.

$$\begin{bmatrix} 3 & 2 & 0 & 3 & 1 & 4 \\ 2 & 6 & 1 & 0 & 2 & 5 \\ 1 & 7 & 5 & 4 & 6 & 6 \\ 0 & 3 & 4 & 7 & 5 & 7 \end{bmatrix}$$

Figura 3: Matriz que indica os índices dos vértices de cada face para a construção do cubo.

Quando as faces do sólido forem todas iguais, usa-se apenas uma matriz, contudo, quando os sólidos tiverem faces diferentes serão necessárias duas matrizes.

Posto isto, para cada face, são utilizadas as coordenadas correspondentes ao índice da matriz. Isto dá-se em funções específicas do OpenGL que desenharam as faces. No

caso do cubo as faces são quadrados, pelo que a função usada é GL_QUADS.

Na **Figura 4** é possível observar um paralelepípedo, sólido semelhante ao cubo na sua construção, distinguindo-se pelas suas faces retangulares. É também possível visualizar mais do que um sólido, pois a aplicação está preparada para detetar mais do que um marcador. Na **Figura 4** pode ser visualizado apenas um sólido, porque, devido ao facto de o livro estar no formato A5, apenas é colocado um marcador por página.

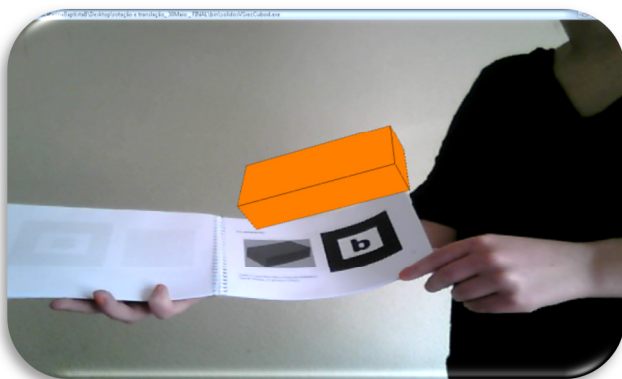


Figura 4: Visualização do paralelepípedo utilizando o GARBook.

3.2.2 Construção de secções do cubo

A intersecção de um cubo, ou outro poliedro, com um plano (**Figura 5**) resulta num polígono denominado secção. As secções mais abordadas na geometria são as do cubo, o que justificou a sua implementação no GARBook.

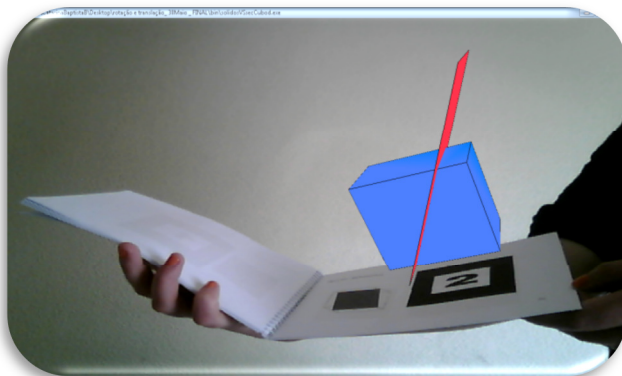


Figura 5: Visualização de um plano oblíquo a intersecar um cubo que originará uma secção retangular, utilizando o GARBook.

No caso do cubo, as secções podem ter muitas formas, nomeadamente, triangulares, quadrangulares, pentagonais e hexagonais [Norberto3d2012].

Para a criação das secções resultantes de um plano que interseja um cubo, é necessário determinar a intersecção do plano e as arestas do sólido geométrico de forma a criar a secção que represente a figura geométrica pretendida. Nesta fase, os pontos de intersecção do plano com o cubo são definidos, podendo ser geridos de acordo com as especificações do programador.

Por definição, um plano é um objeto geométrico infinito a duas dimensões, como tal, ao longo do livro, pode-se

observar a simulação do corte do cubo através de um plano, que imaginariamente terá um início e um fim. Esses início e fim foram definidos através da atribuição de coordenadas aos vértices do plano. Para fazer esta atribuição de coordenadas será necessário determinar os pontos que pertencem ao plano e que posteriormente definem um retângulo que simulará o plano.

Após a criação dos sólidos geométricos, realiza-se uma translação e uma rotação para que estes possam ser visualizados a rodar em qualquer perspetiva. Nas secções também se atribui uma translação inicial. Uma nova translação e rotação são atribuídas a uma marca auxiliar que, quando detetada em simultâneo com uma marca da secção, coloca um dos poliedros originados a rodar, permitindo ao utilizador uma melhor visualização da secção originada. Na **Figura 6** é possível verificar dois poliedros relativamente afastados. O poliedro da esquerda sofreu uma translação e uma rotação quando a câmara detetou o marcador auxiliar em simultâneo com o marcador da secção.

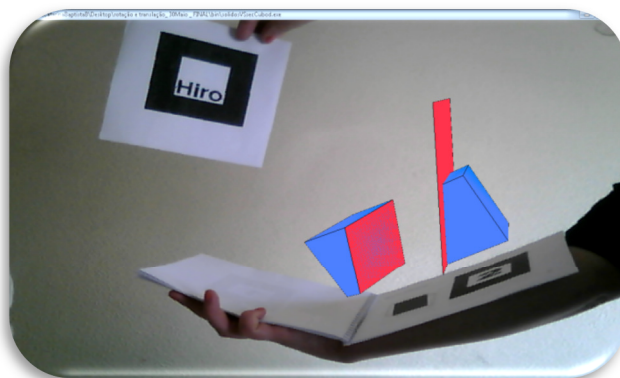


Figura 6: Visualização da secção retângulo em movimento, utilizando o GARBook.

4. TESTES EXPERIMENTAIS E RESULTADOS

Nesta secção apresentam-se as experiências realizadas com a versão mais recente do GARBook. Estas experiências foram conduzidas com setenta alunos do ensino profissional, com idades compreendidas entre os 15 e 20 anos, naturais, maioritariamente, de Celorico de Basto, Portugal. Todas as experiências, e respetivas avaliações, foram realizadas na Escola Profissional de Fermil, em Celorico de Basto. Através dos testes experimentais foi possível avaliar o grau de satisfação, relativamente ao GARBook e à sua eficácia pedagógica, mais concretamente, até que ponto a utilização do GARBook se revelou vantajosa em relação ao método tradicional.

4.1 Procedimento dos testes experimentais

Para comparar o impacto do GARBook sobre o método tradicional, os alunos foram separados em dois grupos, correspondendo, cada um desses grupos, a duas turmas. No primeiro grupo, utilizou-se o método tradicional de ensino e, no segundo, o GARBook. Devido à incompatibilidade de horários, a experiência decorreu em dois dias, no horário das quatro turmas destinado à disciplina de Matemática.

A experiência foi planeada para ser realizada em aulas com a duração de noventa minutos. Para determinar o

nível inicial de conhecimento dos alunos na temática da geometria, nomeadamente, as secções no cubo, foram realizados um teste diagnóstico e um teste formativo.

Os alunos foram agrupados em quatro ou cinco elementos para aprenderem as secções no cubo, devidamente explicadas pelo professor. Em duas turmas, esta fase de aprendizagem realizou-se com o método tradicional (Figura 7) e nas restantes com o livro interativo (Figura 8), onde os alunos podiam ver e experimentar a aplicação através do GARBook. Após a aula, os alunos resolveram individualmente o teste formativo para avaliar a evolução dos conhecimentos e um questionário de satisfação. Ressalva-se que os testes efetuados foram os mesmos para as quatro turmas, embora a sua elaboração tenha sido organizada pelos docentes, de acordo com as normas de ensino. Os padrões de avaliação foram, também, estabelecidos pelo professor responsável. A coordenar a experiência estiveram duas professoras tendo ficado cada uma com duas turmas, uma com o método tradicional e a outra com o GARBook.



Figura 7: Imagem obtida na experiência com o método tradicional (desenhos no quadro), realizada na Escola Profissional de Fermil, em Celorico de Basto



Figura 8: Imagem obtida na experiência com RA realizada na Escola Profissional de Fermil, em Celorico de Basto.

4.2 Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a evolução média dos alunos, verificada através da experiência realizada. Analisando os

resultados do teste diagnóstico verificou-se que os dois grupos partiram de um nível de conhecimento muito baixo e sensivelmente igual (5%). Por outro lado, os alunos das duas turmas tiveram, em média, uma classificação final do 9º ano semelhante e ligeiramente inferior ao nível 3: 2,71 para os alunos sujeitos ao método tradicional e 2,94 para os alunos que usaram o GARBook. Após terem realizado a tarefa exploratória, os alunos realizaram o teste formativo para avaliar a evolução individual, em função do método de ensino utilizado. Analisando os resultados do teste formativo, verificou-se, como seria de esperar, que ambos os grupos progrediram no seu conhecimento. No entanto, como se pode ver na Tabela 1, os alunos que fizeram a sua aprendizagem recorrendo ao método tradicional tiveram um progresso médio de 59 pontos sendo, este progresso, de 79 pontos quando os alunos utilizaram o GARBook. Para aferir se esta diferença entre os progressos médios é significativa, recorreu-se a um teste *t*, considerando-se, como hipótese nula, que as médias dos progressos dos dois grupos são iguais. Dado o nível de significância ($p=0,00886$) ser inferior a 0,05, rejeita-se a hipótese nula, isto é, as duas médias são significativamente diferentes. Assim, pode concluir-se que o ensino interativo proporcionou resultados significativamente melhores (20 pontos em média) face aos resultados obtidos recorrendo ao método de ensino em ambiente de sala de aula.

	Teste diagnóstico	Teste formativo	Evolução
Método tradicional	5%	63%	59%
GARBook	5%	84%	79%

Tabela 1: Média das classificações obtidas pelos alunos no teste diagnóstico e no teste formativo, para cada um dos grupos, e a evolução verificada.

Os alunos foram, ainda, convidados a dar a sua opinião, através de um questionário, sobre a experiência realizada e o método utilizado. Uma das questões levantadas no questionário era relativa às dificuldades sentidas na identificação das secções, apresentando, as Figuras 9 e 10, os resultados. Em suma, os alunos que utilizaram o método tradicional confessaram ter mais dificuldade na visualização das secções.

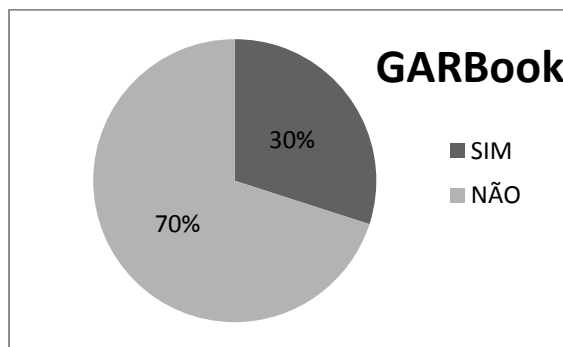


Figura 9: Gráfico referente à resposta dos alunos na pergunta: "Sentiu dificuldade na identificação das secções obtidas?" (GARBook).

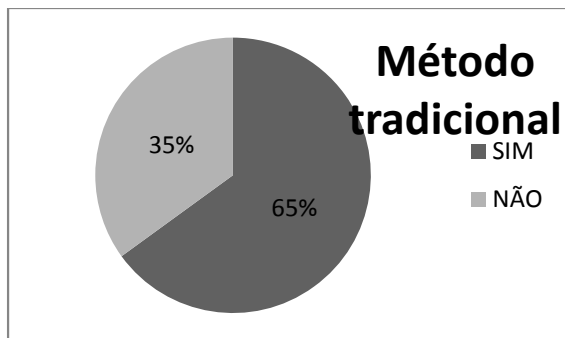


Figura 10: Gráfico referente à resposta dos alunos na pergunta: “Sentiu dificuldade na identificação das secções obtidas?” (método tradicional).

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho apresenta-se um livro interativo (GAR-Book), desenvolvido para auxiliar a aprendizagem de uma área fundamental da geometria: as secções. O livro interativo, constituído pelo livro e pela aplicação de RA permite uma melhor visualização e percepção das secções no cubo, como ficou comprovado através das experiências realizadas.

A aplicação pode ser executada em qualquer computador, desde que possua uma câmara, permitindo que o processo de aprendizagem decorra em qualquer ambiente (contexto de sala de aula ou em casa).

O GARBook foi testado em 70 alunos da uma Escola Profissional de Fermil, Celorico de Basto; Portugal e os resultados indicam que os alunos que o utilizaram apresentaram um progresso superior (79%) aos alunos que aprenderam com o método tradicional (59%). Este resultado é reforçado pelo facto de, no caso dos alunos que usaram o GARBook durante as aulas, existir um menor número que refere como uma grande dificuldade, a identificação das secções no cubo. Estes resultados indicam que o GARBook pode ser um bom auxiliar no ensino das secções no cubo, pois poderá permitir ultrapassar a dificuldade que existe na sua identificação. Desta forma, acredita-se que a RA será, a curto prazo, uma ferramenta importante nas atividades em contexto de sala de aula em várias áreas da educação. Para além dos alunos, também os professores poderão usufruir das vantagens do recurso a estas ferramentas de RA.

Porém, as experiências foram realizadas numa única escola, sendo necessário, no futuro, fortalecer os resultados obtidos, replicando o estudo noutras escolas, nomeadamente, do ensino regular. Será expectável que, se o nível de conhecimentos dos alunos na área da Matemática, à partida para o estudo, for superior, a diferença entre os resultados dos alunos de cada grupo seja atenuada. É, no entanto, inegável que, no caso de alunos com carências de aprendizagem na área da Matemática, os resultados apontam para uma vantagem clara da utilização do GARBook em relação ao método tradicional.

De salientar, ainda, o facto de as experiências terem sido realizadas em dias diferentes, o que poderá ter contribuído para um enviesamento dos resultados, pois terá de ser sempre considerada a possibilidade de ter existido alguma interação entre os alunos das diferentes turmas. No

entanto, só essa interação não seria suficiente para justificar os resultados obtidos. De qualquer forma, em experiências futuras, este aspeto deverá ser minimizado.

Finalmente, a mudança da rotina provocada pela introdução de um protótipo como o GARBook, pode, por si só, explicar parte dos resultados positivos, pois poderá ter resultado num aumento motivacional para a participação dos alunos. Será, por isso, importante, em experiências futuras, adicionar um terceiro grupo de alunos que utilizará conteúdos multimédia convencionais sem recurso à RA, o que permitirá eliminar o efeito surpresa (aula diferente com introdução de tecnologia digital) e determinar o verdadeiro impacto da utilização da RA no ensino, neste caso, da matemática.

No futuro, e dado os resultados animadores obtidos com este estudo, pretende-se alargar a utilização do livro interativo a outras áreas, tanto da geometria ou da matemática em geral como do ensino de outras unidades curriculares.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de deixar um agradecimento público ao corpo docente, aos funcionários e aos alunos da Escola Profissional de Fermil, em Celorico de Basto. Sem a sua disponibilidade e a sua dedicação, não teria sido possível realizar este estudo.

Este trabalho foi parcialmente suportado pelo Governo Português através da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e pela União Europeia (COMPETE, FEDER) através do projeto PTDC/EIA-EIA/114868/2009 intitulado “ERAS-Expeditious Reconstruction of Virtual Cultural Heritage Sites”.

7. REFERÊNCIAS

- [Aritmética2012]
<http://www.ckirner.com/claudio/?PROJETOS:SICARA:Aritm%E9tica>
- [ARtoolkita2012a]
<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>
- [ARTollKit2012b]
http://realidadeaugmentada.com.br/home/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=28
- [Azuma2001] Azuma, R., *et al.*, Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Comput. Graph. Appl., 2001. 21(6): p. 34-47.
- [Barreira2012] Barreira, J., Bessa, M., Pereira, L., Adão, T., Peres, E. and Magalhães, L. MOW: Augmented Reality Game to Learn Words in Different Languages, in Second Iberian Workshop on Serious Games and Meaningful Play. 2012.
- [Billinghurst2001] Billinghurst, M., Kato, H., and Poupyrev, I. The MagicBook\—Moving Seamlessly between Reality and Virtuality. IEEE Comput. Graph. Appl., 2001. 21(3): p. 6-8.
- [Clark2011] Clark, A., *et al.* An interactive augmented reality coloring book, in SIGGRAPH Asia 2011 Emerging Technologies. 2011, ACM: Hong Kong, China. p. 1-1.

- [Coller2009a] Coller, B.D. and M.J. Scott, Effectiveness of using a video game to teach a course in mechanical engineering. *Computers & Education*, 2009. 53(3): p. 900-912.
- [Coller2009b] Coller, B. D. and Shernoff, D.J. Video Game-Based Education in Mechanical Engineering: A Look at Student Engagement. *International Journal of Engineering Education.*, 2009(25(2)): p. 308-318.
- [Correa2007] Correa, A.G., Ficheman, M., Lopes, I. and Deus, R. Genvirtual: an augmented reality musical game for cognitive and motor rehabilitation. *Proceedings of the Virtual Rehabilitation*, 2007: p. pp. 1-6.
- [Ezflar2012].
http://ezflar.com/home/show_home.
- [Fisher2004] Fischer, J., Bartz, D. and Stra, W. Occlusion handling for medical augmented reality using a volumetric phantom model, in *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*. 2004, ACM: Hong Kong. p. 174-177.
- [Freitas2008] Freitas, R. and Campos, P. SMART: a System of Augmented Reality for Teaching 2nd grade students, in *Proceedings of the 22nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Culture, Creativity, Interaction - Volume 2*. 2008, British Computer Society: Liverpool, United Kingdom. p. 27-30.
- [GeoAR2012]
<http://www.youtube.com/watch?v=7-kCkZVd-KY>
- [Ha2011] Ha, T., Lee, Y. and Woo, W. Digilog book for temple bell tolling experience based on interactive augmented reality. *Virtual Real.*, 2011. 15(4): p. 295-309.
- [Jogos2012] <http://www.eyepet.com/fun-and-games/>.
- [Juan2010a] Juan, C.M., et al., Learning Words Using Augmented Reality, in *Proceedings of the 2010 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. 2010, IEEE Computer Society. p. 422-426.
- [Juan2010b] Juan, C.M., et al., Tangible Cubes Used as the User Interface in an Augmented Reality Game for Edutainment, in *Proceedings of the 2010 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. 2010, IEEE Computer Society. p. 599-603.
- [Kaufmann2003] Kaufmann, H. and Schmalstieg, D. Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *Computers & Graphics*, 2003. 27(3): p. 339-345.
- [Kerawalla 2006] Kerawalla, L., et al., Making it real: exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. *Virtual Real.*, 2006. 10(3): p. 163-174.
- [Lira2012]
<http://www.ckirner.com/filmes/paginas/pag-video-5.htm>
- [Martín-Gutiérrez2010] Martín-Gutiérrez, J., et al., Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 2010. 34(1): p. 77-91.
- [Mayo2007] Mayo, M.J., Games for science and engineering education. *Commun. ACM*, 2007. 50(7): p. 30-35.
- [Norberto3d2012]
<http://norberto3d.wordpress.com/2010/02/12/livro-interativo-com-realidade-aumentada/>.
- [Sin2009] Sin, A.K. and Zaman, H.B. Tangible Interaction in Learning Astronomy through Augmented Reality Book-Based Educational Tool, in *Proceedings of the 1st International Visual Informatics Conference on Visual Informatics: Bridging Research and Practice*. 2009, Springer-Verlag: Kuala Lumpur, Malaysia. p. 302-313.
- [Squire2004] Squire, K., et al., Electromagnetism supercharged!: learning physics with digital simulation games, in *Proceedings of the 6th international conference on Learning sciences*. 2004, International Society of the Learning Sciences: Santa Monica, California. p. 513-520.
- [Zugara2012] <http://www.zugara.com/>