



EducAR – Quadrics: Uma Ferramenta de Apoio ao Ensino de Cálculo com Realidade Aumentada

EducAR – Quadrics: A Tool to Aid teaching of Calculus through Augmented Reality

Lidiane Teixeira Pereira
Universidade Federal de Juiz de Fora
lidianepereira@ice.ufjf.br

Douglas Coelho Braga de Oliveira
Universidade Federal de Juiz de Fora
dcoelhobo@gmail.com

Igor Freitas Couto
Universidade Federal de Juiz de Fora
igor.fcouto@gmail.com

Alessandreia Marta de Oliveira
Universidade Federal de Juiz de Fora
alessandreia.oliveira@ice.ufjf.br

Rodrigo Luis de Souza da Silva
Universidade Federal de Juiz de Fora
rodrigoluis@gmail.com

Resumo

A Educação é um campo com grande potencial para o desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada. Tais aplicações podem ajudar no processo de ensino e aprendizagem de estruturas tridimensionais como, por exemplo, as Superfícies Quádricas. Neste trabalho é apresentado o EducAR - Quadrics, um aplicativo de apoio ao ensino e aprendizagem destas superfícies de maneira lúdica e interativa, utilizando como recurso tecnológico a Realidade Aumentada para dispositivos móveis. O aplicativo foi desenvolvido para smartphones e tablets para que os alunos tenham acesso em seus próprios dispositivos, podendo utilizar não somente em sala de aula, mas também em seus estudos individuais. Utilizando o aplicativo, o usuário consegue visualizar as seis principais superfícies quádricas e alterar parâmetros em suas equações. Uma avaliação qualitativa inicial foi realizada após o lançamento da primeira versão e as considerações dos participantes sobre a contribuição do aplicativo foram positivas. A partir disso, uma nova versão foi elaborada e um estudo experimental incluindo uma análise qualitativa e quantitativa foi proposto. Foi possível concluir que o EducAR - Quadrics se mostrou tão eficiente e eficaz quanto à abordagem convencional avaliada, tornando a realização das tarefas, de acordo com os usuários, mais interessante.

Palavras-chave: Realidade Aumentada, Ensino, Mobile, Cálculo

Abstract

Education as a field of research has great potential for the development of Augmented Reality applications. This applications may help in the visualization of tridimensional structures, such as Quadric Surfaces. This work presents EducAR - Quadrics, an app to support the teaching of quadric surfaces in a playful and interactive way, using Augmented Reality as a technological resource for mobile devices. The app was developed for smartphones and tablets so that students have access on their own devices, being able to use not only in the classroom but also in their individual studies. In the app, the user can visualize the six main quadric surfaces and change parameters in their equations. An initial qualitative evaluation was carried out after the launch of the first version and the participants' considerations about the contribution of the tool were positive. A new version of the app was elaborated and an experimental study was proposed with the objective of performing a qualitative and quantitative analysis. It was possible to conclude that EducAR - Quadrics proved to be as efficient and effective as the conventional approach evaluated, making the realization of the tasks, according to the users, more interesting.

Keywords: Augmented Reality, Teaching, Mobile, Calculus



1 Introdução

A educação é um campo com grande potencial para o desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada (RA). A utilização adequada desta tecnologia pode enriquecer os materiais didáticos utilizados em sala de aula, aumentando assim, o interesse dos alunos nestes conteúdos e criando maior interação entre eles. Em assuntos onde a visão tridimensional do objeto de estudo facilita a compreensão do mesmo, como em conteúdos na área de Ciências Exatas e Engenharias, a RA pode ajudar no processo de ensino e aprendizagem. Um exemplo de conteúdo tridimensional comumente ensinado em cursos dessas áreas são as Superfícies Quádricas. Estas superfícies são obtidas a partir de equações de segundo grau e constituem parte do conteúdo da disciplina de Cálculo na graduação. Tais superfícies geralmente são representadas em duas dimensões em materiais didáticos como livros ou *slides*, não transmitindo a adequada noção de profundidade e deformação das mesmas, dificultando sua visualização e compreensão pelos alunos.

Este artigo apresenta o EducAR - Quadrics, um aplicativo de apoio ao ensino e aprendizagem de Superfícies Quádricas de maneira lúdica e interativa utilizando como recurso tecnológico a RA para dispositivos móveis. A maioria das ferramentas de apoio ao ensino e aprendizagem, especialmente com utilização de RA, são desenvolvidas com foco em aplicações *desktop* e nem sempre são disponibilizadas nas faculdades para que possam ser utilizadas nas aulas. Recentes avanços tecnológicos tornaram cada vez mais acessíveis os dispositivos móveis como *smartphones* e *tablets* com alto poder de processamento e boas câmeras integradas. Assim, a utilização de aplicativos de RA para estes dispositivos acaba sendo mais viável do que para os sistemas baseados em *desktops*, visto que a maioria das pessoas têm acesso facilitado a esse tipo de dispositivo. O aplicativo proposto neste trabalho foi desenvolvido para a plataforma móvel Android, considerando que a mesma é amplamente utilizada entre os *smartphones* e *tablets*. Por conta disso, é esperado que os alunos tenham acesso ao aplicativo em seus próprios dispositivos para que possam utilizar, não somente em sala de aula, mas também em seus estudos individuais. No EducAR - Quadrics, o usuário consegue visualizar as seis principais superfícies quádricas e alterar parâmetros em suas equações, sendo as trocas de superfície e as alterações das equações feitas através de botões na interface. O desenvolvimento foi pautado em bibliotecas gratuitas e de código aberto.

Uma avaliação qualitativa inicial do EducAR - Quadrics foi realizada após o lançamento da primeira versão. Nesta ocasião, membros da comunidade acadêmica que utilizaram o aplicativo responderam a um questionário on-line sobre a contribuição do aplicativo para a disciplina e avaliando sua interface e seus recursos. As considerações sobre a contribuição do EducAR - Quadrics foram positivas e o recurso de alteração dos parâmetros foi inserido no aplicativo a partir das sugestões enviadas nessa avaliação. Uma nova versão do aplicativo foi então disponibilizada e um estudo experimental com maior relevância estatística que o primeiro foi elaborado. A partir deste estudo experimental foi feita uma análise qualitativa e quantitativa acerca da eficiência e eficácia do EducAR - Quadrics em comparação com a abordagem tradicional na realização das tarefas propostas. Neste estudo experimental, 32 participantes que já tiveram contato com o conteúdo das Superfícies Quádricas foram divididos em dois grupos e realizaram, em duas etapas, seis tarefas que consistiam na identificação da superfície a partir da equação e criação de um esboço da mesma. A partir dos resultados do estudo experimental, foi possível concluir que o EducAR - Quadrics se mostrou tão eficiente e eficaz quanto à abordagem convencional avaliada na realização dessas tarefas. Além disso, ainda que muitos dos participantes não estivessem



familiarizados com aplicações de RA, a maioria deles considerou que o aplicativo é útil no ensino e aprendizagem de Cálculo e que sua utilização tornou a realização das tarefas mais interessante.

Diante disso, este trabalho está assim organizado: a Seção 2 mostra os trabalhos relacionados e a Seção 3 os conceitos de Realidade Aumentada. A Seção 4 apresenta a definição e as equações das superfícies quádricas implementadas enquanto na Seção 5, o aplicativo proposto é descrito. A Seção 6 mostra uma análise qualitativa da primeira versão do aplicativo e na Seção 7 são apresentados o planejamento, a execução e a análise de resultados quantitativos e qualitativos do estudo experimental realizado. Na Seção 8 foram apresentadas algumas conclusões sobre os dados coletados e uma comparação com os trabalhos relacionados. Por fim, a Seção 9 conclui o trabalho e apresenta propostas de trabalhos futuros.

2 Trabalhos Relacionados

Os principais trabalhos publicados na área de Informática na Educação no Brasil estão presentes nas fontes promovidas pela Comissão Especial de Informática na Educação (CEIE): Revista Brasileira de Informática na Educação (RBIE), Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE) e Workshop de Informática na Escola (WIE), sendo esses dois últimos parte integrante do Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE). Os trabalhos relacionados à utilização de RA na Educação estão presentes em três destas fontes, RBIE, SBIE e CBIE, em publicações a partir de 2011 (Posada, Buchdid, & Baranauskas, 2016). Diante disso, foram realizadas buscas por estes trabalhos com o intuito de identificar propostas relacionadas ao EducAR - Quadrics, também desenvolvidas para dispositivos móveis. Tais propostas são sumarizadas a seguir.

O aplicativo *What Is Figure?* aplica RA para apoiar o ensino e aprendizagem de língua inglesa (Oliveira, Silva, Fernandes, Oliveira, & Oliveira, 2016). O objetivo é facilitar a assimilação de palavras e melhorar a aquisição de vocabulário para usuários que estudam o nível básico da língua. A aplicação mostra modelos em três dimensões do objeto real correspondente à palavra selecionada pelo usuário. O aplicativo funciona em *smartphones Android* e não necessita de redes móveis para ser executada. A interação existente entre o usuário e o conteúdo em RA consiste na visualização e na mudança dos modelos ao trocar a palavra selecionada. Neste trabalho não foi apresentada uma avaliação do aplicativo.

Foi proposto em (Cavalcante, Fernandes, Lamounier, & Cardoso, 2016) um aplicativo para auxiliar crianças em seus primeiros anos escolares na fixação do conteúdo lecionado. São exibidos modelos 3D de animais, bem como o nome dos mesmos em letras maiúsculas, representando imagens cotidianas vistas pelas crianças que facilitam seu entendimento. No aplicativo, a criança tem acesso a uma lista de animais disponíveis e pode visualizar os modelos 3D alternando entre eles. O aplicativo funciona em *smartphones Android* e não necessita de redes móveis para sua operação. Nenhuma avaliação do mesmo foi apresentada.

Objetivando ajudar crianças com dificuldades no aprendizado escolar e na alfabetização, especialmente crianças autistas, foi desenvolvido o aplicativo de RA apresentado em (Fernandes, Oliveira, & Oliveira, 2016). O aplicativo exibe números, letras, sílabas, palavras, animais e frutas em 3D a fim de facilitar o relacionamento da criança com esse conteúdo no mundo real. O usuário pode visualizar o conteúdo em RA e alternar entre as opções de conteúdo disponíveis.



O aplicativo funciona em *smartphones Android* e não precisa de redes móveis para sua operação. Uma avaliação do mesmo foi proposta como atividade futura.

Apoiar o ensino e aprendizagem de Resistência dos Materiais nos cursos de Engenharia foi o foco do aplicativo apresentado em (Silva, Souza, Sedraz, & Ramos, 2015). Neste aplicativo, os alunos visualizam conteúdo 3D que complementam os roteiros de exercícios, facilitando a visualização das configurações dos objetos. O aplicativo foi desenvolvido para *tablets* e não precisa de redes móveis para funcionar. Uma análise para verificar a aceitação do mesmo foi efetuada com 50 alunos. Eles responderam a um questionário com 18 perguntas. Os resultados foram positivos em relação à utilidade de RA na disciplina e às orientações passadas. Além disso, os alunos não estão acostumados a utilizar os recursos de RA, de acordo com suas respostas.

Um aplicativo de RA para auxiliar a realização de estudo experimental em laboratórios de química é apresentado em (Scotta et al., 2014). No aplicativo, o usuário visualiza em Realidade Aumentada as instruções para a realização do estudo experimental como ordem de manipulação, por exemplo, além de dados sobre os próprios componentes do estudo experimental. Apesar de desenvolvido para *tablets* e *smartphones*, o aplicativo é na verdade uma ferramenta Web que necessita de acesso à Internet para funcionar. Uma avaliação do mesmo não foi apresentada no trabalho.

O projeto ALRA, uma *engine* onde as regras, as interações de usuários e toda a mecânica do jogo são processadas, foi proposto para facilitar o desenvolvimento de jogos com RA no meio educacional (Santos, Prado Rafalski, & Menezes, 2013). Como exemplo, foi construído um jogo no qual o usuário deve se locomover no ambiente real do campus para cumprir as tarefas indicadas por meio de RA no aplicativo e ganhar pontos. É necessário que o dispositivo esteja conectado à Internet para que as missões sejam atualizadas. A *engine* permite que sejam criados jogos para os dispositivos que utilizam a plataforma *Android*. Vale mencionar que no artigo foi apresentado um exemplo de utilização mas sem avaliação experimental.

Uma ferramenta Web para uso em museus, onde o conteúdo virtual consiste de percepções, interpretações e intervenções do público é apresentada em (Silveira, Biazus, & Axt, 2011). O usuário pode através do dispositivo móvel visualizar os conteúdos de áudio e vídeo criados por outros usuários a respeito da obra que está visualizando presencialmente, além de criar seu próprio conteúdo a respeito da obra. Não foi apresentada uma avaliação da ferramenta nesse trabalho.

O EducAR - Quadrics, aplicativo proposto no presente artigo, apoia o ensino e aprendizagem das Superfícies Quádricas, conteúdo específico da Matemática para o ensino superior. Ele se difere dos trabalhos citados nesta seção por apresentar um aplicativo de RA para dispositivos móveis, com interface otimizada para *smartphones*, propiciando um maior poder de investigação das superfícies estudadas, dado que o usuário pode movimentar tanto o objeto real de referência para as projeções (marcador) quanto o dispositivo de visualização. Também pode, em tempo real, não apenas visualizar as superfícies, como alterar seus parâmetros e perceber as consequências das alterações. O aplicativo é gratuito e foi disponibilizado através da *Play Store* para usuários que possuam dispositivos com sistema *Android*. A avaliação do EducAR - Quadrics está detalhada nas Seções 6 e 7.



3 Fundamentação Teórica

Realidade Aumentada pode ser definida como um sistema que combina objetos reais e virtuais em um ambiente predominantemente real de forma interativa e em tempo real, podendo abranger todos os sentidos, incluindo tato, audição e olfato (Azuma et al., 2001).

Para o correto alinhamento dos objetos é necessário um sistema de rastreamento. Um sistema de rastreamento óptico baseado em marcadores pode ser construído através do uso de uma câmera simples, resultando em um sistema de baixo custo e fácil utilização. Um marcador fiducial, semelhante ao ilustrado na Figura 1.(a), foi o objeto real utilizado para calcular a posição na qual será inserido o objeto virtual. Para isso, a imagem do marcador é capturada através da câmera e algoritmos de visão computacional são aplicados para calcular sua posição e orientação.

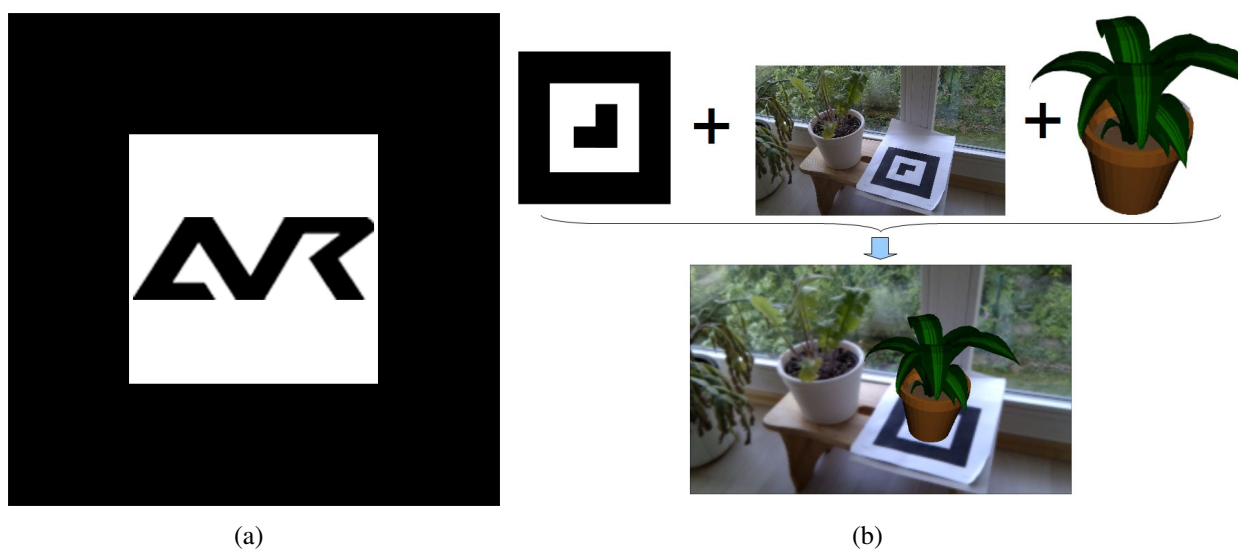


Figura 1: Em (a) o marcador utilizado no funcionamento do aplicativo proposto. Em (b) um exemplo de visualização gerada com recursos de Realidade Aumentada.

Em um sistema de realidade aumentada é necessário haver um *display* capaz de inserir a visualização do objeto virtual entre os olhos do observador e o objeto real que está sendo visto (Bimber & Raskar, 2005).

Dispositivos como *tablets* e *smartphones* pertencem a classe dos *handheld displays*, isto é, são telas de LCD (Liquid Crystal Display) que possuem uma câmera acoplada onde são exibidas imagens do ambiente real. Objetos virtuais são desenhados nas telas dos dispositivos sobrepondo a imagem capturada do ambiente como no exemplo da Figura 1.(b)¹. Desta forma, o *display* funciona como uma camada transparente que proporciona ao observador a visão dos ambientes real e virtual combinados (Azuma et al., 2001).

Atualmente dispositivos móveis contam com alto poder de processamento e câmeras de boa qualidade e baixo custo. Sendo assim, o desenvolvimento de aplicações de RA para esses aparelhos tem se tornado cada vez mais viável.

¹<https://code.google.com/archive/p/andar/> [On-line; acessado em: 13/04/2019]



4 Superfícies Quádricas

Superfícies Quádricas são aquelas que podem ser descritas na forma apresentada pela Equação 1, onde $a, b, c, d, e, f, g, h, i, j \in \mathbb{R}$, com a, b, c, d, e, f não simultaneamente nulos (Santos, 2010). O EducAR - Quadrics apresenta seis superfícies quádricas que são listadas na Tabela 1.

$$ax^2 + by^2 + cz^2 + dxy + exz + fyz + gx + hy + iz + j = 0 \quad (1)$$

Tabela 1: Equações da superfícies quádricas disponibilizadas.

Quádrlica	Equação
Elipsoide	$+\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1; a, b, c \in \mathbb{R}; a, b, c > 0$
Hiperboloide de Uma Folha	$+\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1; a, b, c \in \mathbb{R}; a, b, c > 0$
Hiperboloide de Duas Folhas	$-\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1; a, b, c \in \mathbb{R}; a, b, c > 0$
Paraboloide Elíptico	$+\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = cz; a, b, c \in \mathbb{R}; a, b > 0$
Paraboloide Hiperbólico	$-\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = cz; a, b, c \in \mathbb{R}; a, b > 0$
Cone	$+\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = z^2; a, b \in \mathbb{R}; a, b > 0$

As Superfícies Quádricas são objetos em três dimensões, geralmente apresentadas aos alunos através de imagens em duas dimensões, por meio de livros e apostilas, causando em alguns casos dificuldade na visualização devido à falta de noção de profundidade.

A utilização de objetos manipuláveis como ferramentas de ensino e aprendizagem propicia aos estudantes maior interação e motivação na sala de aula, resultando na maior retenção do conhecimento.

A exposição dessas superfícies aos alunos através da RA permite a visualização em três dimensões e garante ainda o manuseio das mesmas, potencializando o aprendizado ao acrescentar conteúdo virtual que enriquece o material físico. Logo, ela reúne os benefícios de aprendizado da manipulação física e virtual de objetos (Bujak et al., 2013).

5 Aplicativo Proposto

Nesta seção são apresentadas a arquitetura, a plataforma, a linguagem e as bibliotecas utilizadas. As principais classes da arquitetura também são apresentadas explicitando as relações entre elas. A seguir, o funcionamento do aplicativo é demonstrado através da exibição de suas principais telas.

5.1 Arquitetura

O EducAR – Quadrics foi desenvolvido com foco na plataforma *Android* tendo em vista o objetivo da mobilidade. Para tanto, utilizou-se a biblioteca de RA denominada *AndAR*². Esta biblioteca

²<https://code.google.com/archive/p/andar/> [On-line; acessado em: 13/04/2019]



open source é baseada na *ARToolkit* e implementada em Java, que é a linguagem utilizada no desenvolvimento para a plataforma *Android*. A biblioteca é responsável pela identificação do marcador e cálculo da orientação e posição do objeto virtual. A renderização dos objetos virtuais é realizada separadamente por uma biblioteca gráfica. A plataforma *Android* traz, a partir da versão 2.3, uma implementação nativa da biblioteca *OpenGL ES 2.0 (OpenGL for Embedded Systems)*. Trata-se de uma versão da biblioteca *OpenGL* otimizada para dispositivos móveis³. Visando a reprodutibilidade do aplicativo, foi disponibilizado um diagrama representando a arquitetura de software do aplicativo desenvolvido neste trabalho⁴.

Cada tela em um aplicativo *Android* é uma *Activity*. No aplicativo desenvolvido existem três *Activities* principais: *Splash* correspondente a *Splash Screen*; *AndarActivity* responsável por abrir a câmera e exibir as imagens capturadas por ela, além da detecção dos marcadores; e *CustomActivity* que é a tela principal do aplicativo onde são criados e exibidos os menus de alterações das superfícies e de manipulações dos parâmetros.

Para que seja possível identificar um marcador é necessário registrar um objeto *ARObject* em uma instância da *ARToolkit*. Essa instância é criada na classe *AndarActivity* e retornada através do método *getARToolkit()*. É declarado então um objeto da classe abstrata *SurfaceObject*, que é especializado de acordo com a escolha da superfície feita pelo usuário. Após a escolha, o objeto é registrado para a *ARToolkit* e pode ter seu marcador reconhecido. Por padrão, ao iniciar o aplicativo, um objeto Elipsoide é registrado e desenhado na tela se o marcador estiver visível. Cada uma dessas subclasses da *SurfaceObject* é responsável por desenhar sua respectiva superfície através de comandos do *OpenGL ES*. Para isso, inicialmente são gerados os pontos e preenchidos os *buffers* que armazenam a posição, a cor e o vetor normal de cada ponto através do método *buildSurface()*. A classe *SurfaceBuffers* foi criada para auxiliar a manipulação desses *buffers*, isto é, preenchê-los com dados de um vetor passado como parâmetro que pode conter dados de posição, cor ou normal, e retornando os *buffers* resultantes. A junção dessas informações e a montagem do modelo final acontece no método *draw()*.

A classe *ARRenderer* implementa a interface *OpenGL Renderer* necessária para desenhar objetos 3D através do *OpenGL ES*. Ela define parâmetros de inicialização e configuração do *OpenGL* que são aplicados a todos os objetos. Um exemplo é a utilização ou não do *backface culling*, que faz a remoção de faces não visualizáveis de modo a otimizar a renderização. Por fim, a classe *AndarGLES20Renderer* implementa configurações semelhantes para o padrão específico da versão 2.0 do *OpenGL ES*.

5.2 Apresentação do Aplicativo

O EducAR - Quadrics está disponível para *download* através da *Play Store* e é compatível com qualquer dispositivo com câmera integrada e sistema operacional *Android* 2.3 ou superior. Ao iniciar o aplicativo, o usuário visualiza a *Splash Screen* ilustrada pela Figura 2.(a). Na primeira execução será exibida uma tela de instruções como na Figura 2.(b). Por padrão, essa tela será exibida em toda inicialização, porém o usuário pode optar pela não exibição, marcando o *checkbox* “Não mostrar novamente”.

³<https://www.khronos.org/api/opengles/> [On-line; acessado em: 13/04/2019]

⁴<http://bit.ly/ArquiteturaEducAR> [On-line; acessado em: 13/04/2019]

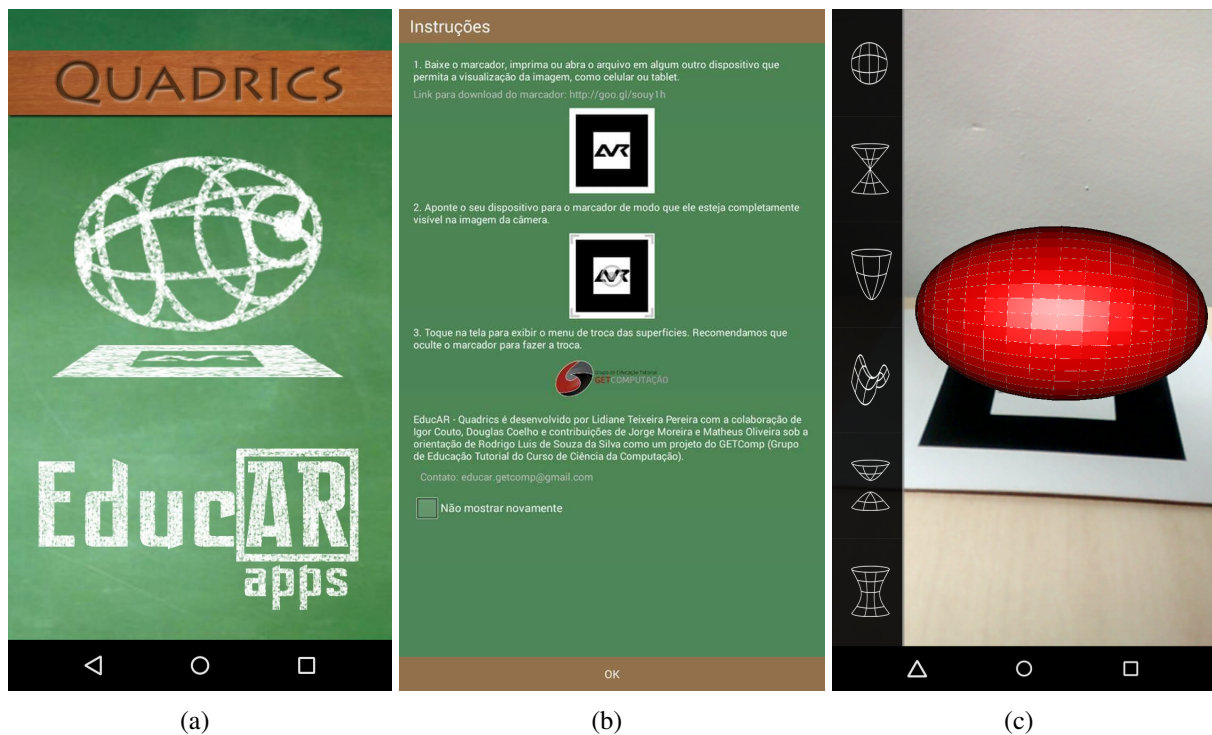


Figura 2: Execução inicial do aplicativo EducAR – Quadrics. Em (a) a tela de inicialização do aplicativo, em (b) a tela de instruções e em (c) a apresentação do menu de troca das superfícies.

Por fim a tela principal é carregada e a imagem da câmera apresentada. Para exibir uma superfície é necessário apontar a câmera para o marcador e a mesma será desenhada. Com um toque na tela, pode-se alternar entre as superfícies através do menu lateral contendo as opções de visualização de cada uma das seis superfícies como na Figura 2.(c).

A troca da superfície será realizada ao clicar no ícone correspondente. O usuário pode então manipular tanto o marcador quanto o dispositivo móvel de forma a observar a superfície por diferentes ângulos e escalas. Para cada superfície são exibidos o seu modelo 3D, a sua equação com os parâmetros que podem ser alterados e uma barra de progresso onde o usuário altera os valores dos parâmetros. A Figura 3 apresenta no canto superior direito a equação do Elipsoide e na parte inferior da imagem a barra de alteração do parâmetro selecionado (neste caso, o parâmetro a). A Figura 4 ilustra a representação gráfica de todas as superfícies disponíveis no EducAR - Quadrics.

A Figura 5 apresenta o funcionamento da alteração de parâmetros para cada superfície. É possível visualizar a alteração de um ou mais parâmetros das equações da Tabela 1 das superfícies Cone, Parabolóide Elíptico, Hiperbolóide de uma folha, Hiperbolóide de Duas Folhas, Parabolóide Hiperbólico e Elipsoide, respectivamente.

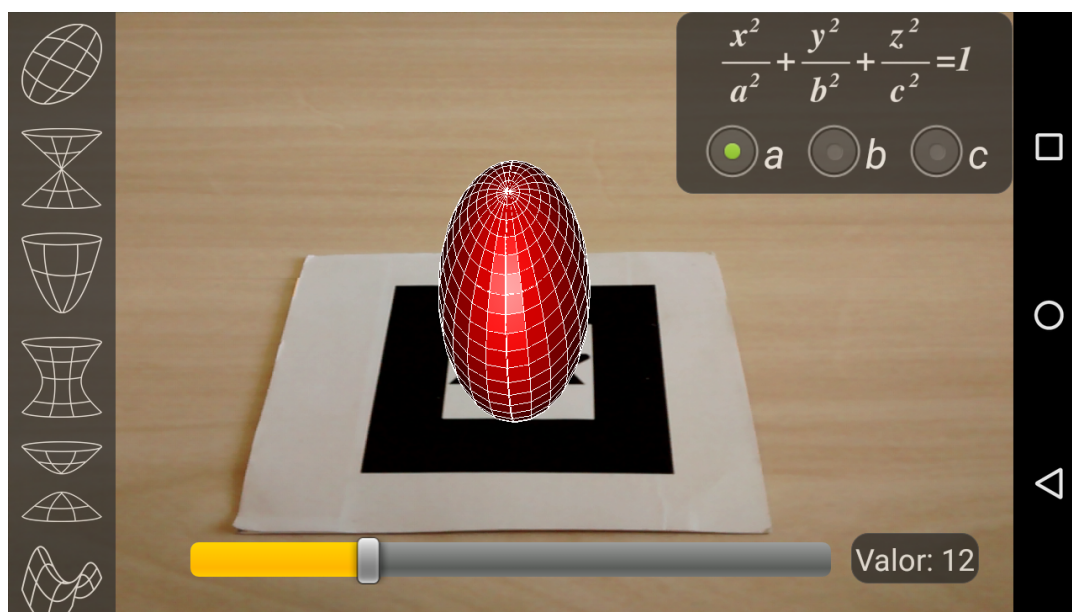


Figura 3: Interface de alteração de parâmetro da superfície Elipsoide.

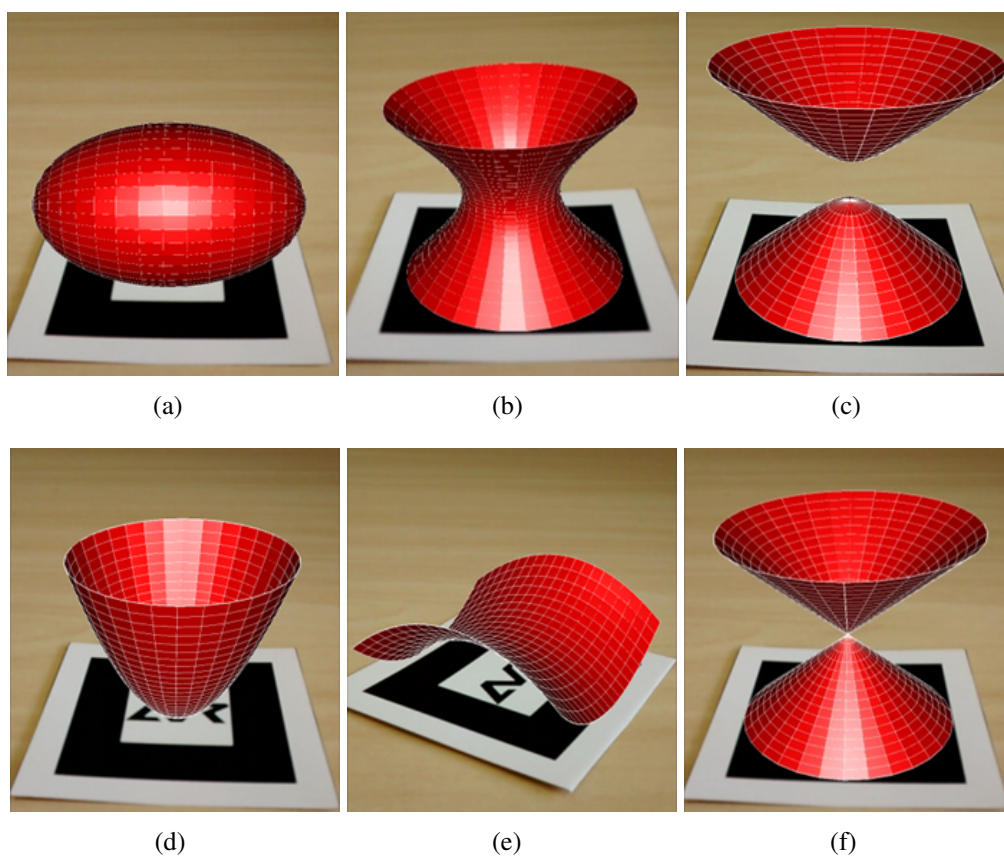


Figura 4: Representação gráfica de todas as superfícies disponíveis no aplicativo: (a) Elipsoide, (b) Hiperboloide de uma folha, (c) Hiperboloide de Duas Folhas, (d) Paraboloides Elíptico, (e) Paraboloides Hiperbólico e (f) Cone.

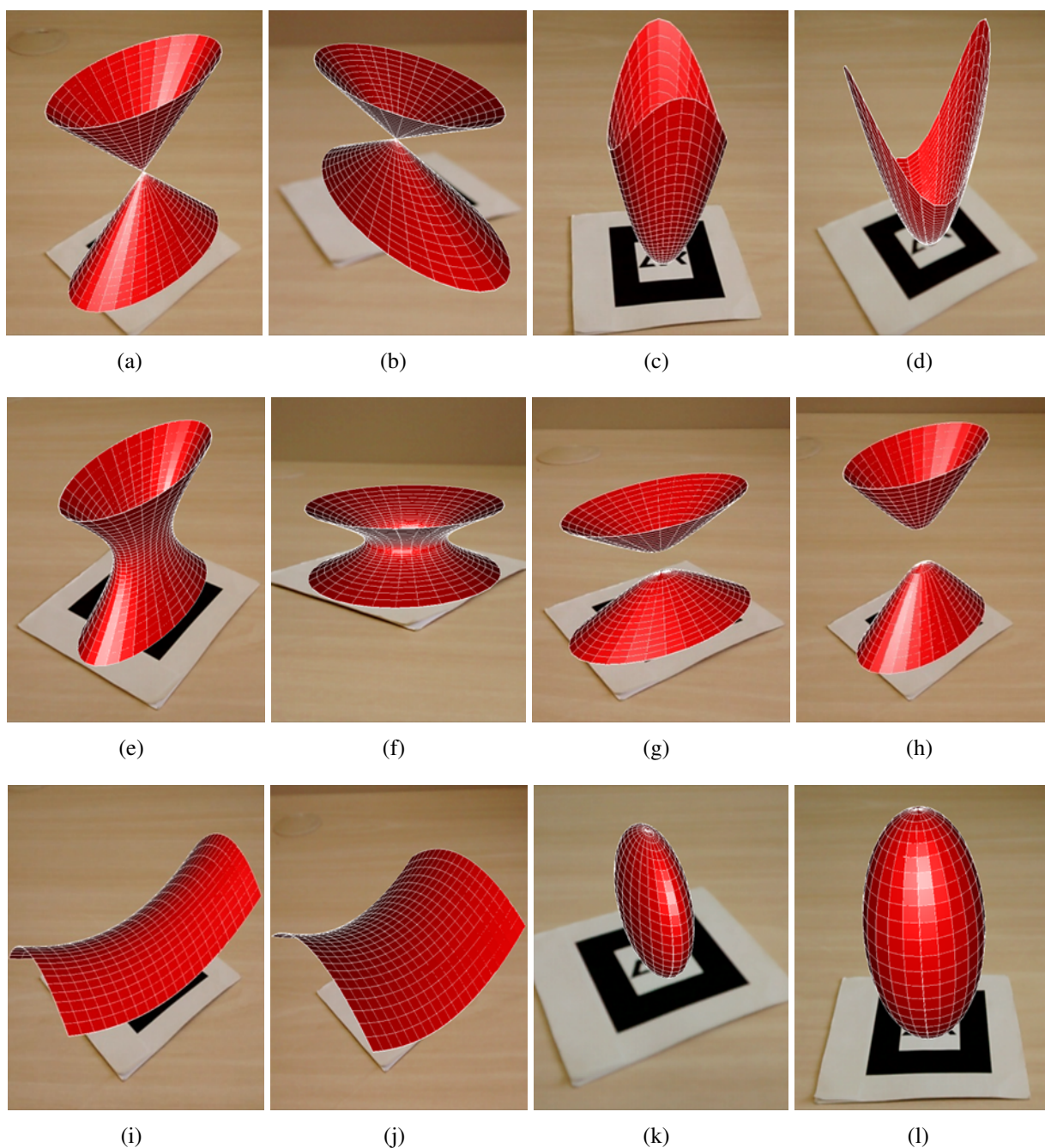


Figura 5: Em (a) a (b), modificação de parâmetros da superfície Cone. Em (a), os parâmetros são $a = 2$ e $b = 1$ e em (b), $a = 1$ e $b = 3$. Em (c) e (d), modificação de parâmetros para o Parabolóide Elíptico. Em (c), os parâmetros são $a = 5$ e $b = 3$ e em (d), $a = 4$ e $b = 5$. Em (e) e (f), modificação de parâmetros no Hiperbolóide de uma folha. Em (e), $a = 18$, $b = 8$ e $c = 15$ e em (f), $a = 18$, $b = 16$ e $c = 6$. Em (g) e (h), modificação de parâmetros no Hiperbolóide de duas folhas. Em (g), $a = 9$, $b = 5$ e $c = 5$ e em (h), $a = 9$, $b = 5$ e $c = 10$. Em (i) e (j), modificação de parâmetros para o Parabolóide Hiperbólico. Em (i), os parâmetros são $a = 16$ e $b = 7$ e em (j), $a = 16$ e $b = 14$. Em (k) e (l), modificação de parâmetros da superfície Elipsoide. Em (k), $a = 25$, $b = 25$ e $c = 45$ e em (l), $a = 9$, $b = 25$ e $c = 25$.



6 Estudo Preliminar

Sistemas educacionais, como o EducAR – Quadrics, têm por objetivo auxiliar o processo de aprendizagem dos alunos. Portanto, é importante coletar informações dos usuários a fim de identificar se o aplicativo cumpre seu objetivo e se existem pontos a serem melhorados de modo que o usuário possa ter uma melhor experiência de utilização.

Inicialmente foi desenvolvida uma primeira versão do EducAR - Quadrics e uma análise de caráter qualitativo foi realizada. O método escolhido para a realização desta análise foi a aplicação de questionário que é um método de baixo custo, fácil de ser aplicado e que efetivamente possibilita a obtenção de informações a respeito de interface e usabilidade (Root & Draper, 1983). Também foi levada em conta a massiva utilização dessa técnica de avaliação em grande parte dos trabalhos encontrados na literatura, como é o caso dos citados na Seção 2.

O questionário⁵ foi disponibilizado por meio do *Google Forms* e foram convidados para utilizar o aplicativo e responder ao questionário alunos dos cursos de Exatas e Engenharias, através de e-mail institucional e divulgação em uma das turmas de Cálculo 2. Os alunos responderam questões sobre seus perfis, sobre o aplicativo e a utilização da RA no ensino e aprendizagem de forma geral. Os participantes instalaram o aplicativo para verificar seu funcionamento e todos já haviam cursado ou estavam cursando Cálculo 2, onde as Superfícies Quádricas são apresentadas. Participaram 35 alunos dos cursos do Instituto de Ciências Exatas e Engenharias.

Quando foram questionados se consideravam que o aplicativo facilitaria a compreensão do conteúdo, 28 responderam “Sim”, 6 “Talvez” e 1 “Não”, conforme mostrado na Figura 6.(a). A seguir, foram questionados se relacionavam ou não a dificuldade apresentada por outros colegas sobre determinados conteúdos à falta de ferramentas de apoio ao ensino e aprendizagem. À essa pergunta 26 responderam “Sim”, 6 “Talvez” e 3 “Não” (Figura 6.(b)). Por fim, avaliaram o aplicativo quanto à interface, facilidade de uso e recursos oferecidos em uma escala de 5 níveis. Sobre a interface do aplicativo 23 alunos avaliaram como "Muito Bom", 9 "Bom" e 3 como "Regular". Sobre a facilidade de utilização do aplicativo 29 avaliaram como "Muito Bom" e 6 como "Bom". Sobre os recursos oferecidos pelo aplicativo 11 avaliaram como "Muito Bom", 13 como "Bom" e 11 como "Regular". Esse resultado pode ser visto na Tabela 2. Havia ainda no questionário um campo para envio de sugestões caso o participante tivesse interesse em fazê-lo.

Tabela 2: Avaliação da interface, facilidade de utilização e recursos oferecidos.

	Interface	Utilização	Recursos
Muito Bom	23	29	11
Bom	9	6	13
Regular	3	0	11
Ruim	0	0	0
Muito Ruim	0	0	0

Após a análise das respostas, iniciou-se o desenvolvimento da segunda versão. Foi levada em conta a avaliação dos recursos oferecidos e foi criada a funcionalidade de alteração dos parâmetros das superfícies sugerida através do formulário por participantes que usaram a primeira versão. Esta segunda versão foi usada no estudo experimental da seção seguinte.

⁵<http://bit.ly/FormularioPreliminar> [On-line; acessado em: 13/04/2019]

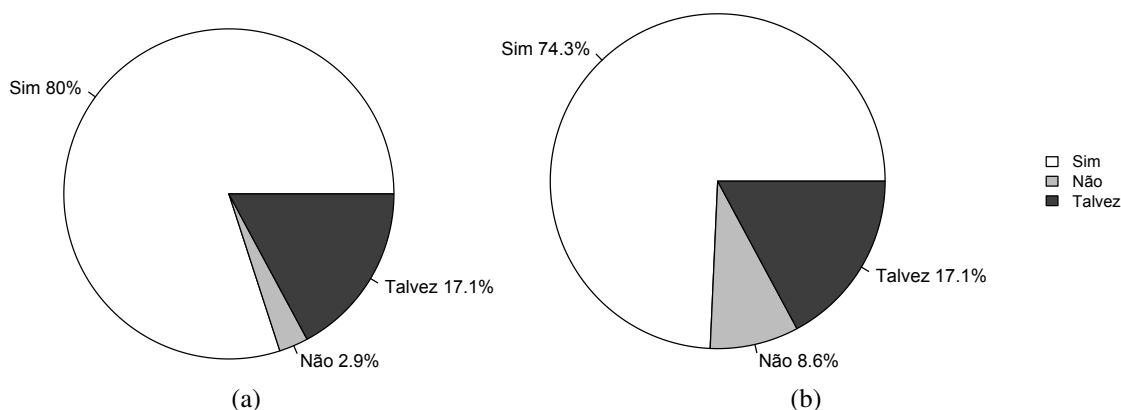


Figura 6: Em (a) o gráfico dos participantes que consideram que o aplicativo facilitará a compreensão do conteúdo. Em (b) o gráfico dos participantes que relacionam dificuldade à falta de ferramentas de apoio ao ensino e aprendizagem.

7 Estudo Experimental

O estudo experimental desenvolvido pretende caracterizar a visualização de Superfícies Quádricas, do ponto de vista de usuários que já estudaram esse conteúdo, através de duas abordagens para obtenção de um esboço destas superfícies. A primeira abordagem consiste no EducAR - Quadrics. A segunda abordagem consiste na utilização de material didático impresso contendo o esboço e as equações de cada uma das quádricas. O propósito aqui é comparar os resultados obtidos com respeito à eficácia e à eficiência na visualização e reprodução de um esboço das superfícies com usuários já familiarizados com essas estruturas. A eficácia é calculada em termos do número de acertos obtidos em cada tarefa. Já a eficiência é calculada em termos do total de acertos por segundo (verdadeiros positivos por tempo de execução). O objetivo desse estudo é responder às seguintes questões de pesquisa:

- QP1 - A identificação da superfície e a criação de um esboço da mesma utilizando o EducAR-Quadrics como material de apoio é mais eficaz que a abordagem que utiliza somente o material impresso?
- QP2 - A identificação da superfície e a criação de um esboço da mesma utilizando o EducAR-Quadrics como material de apoio é mais eficiente que a abordagem que utiliza somente o material impresso?

7.1 Definição e Planejamento

Inicialmente, um treinamento relacionado às Superfícies Quádricas foi elaborado. Também foi feita, nesse treinamento, uma contextualização do estudo experimental a partir da realização de uma tarefa exemplo, similar às que seriam executadas pelos participantes durante o estudo.

Foram elaboradas três tarefas diferentes para serem usadas em cada uma das duas etapas do estudo experimental. As seis tarefas apresentavam equações das principais Superfícies Quádricas para serem identificadas e esboçadas.



Para a QP1, a quantidade de acertos na realização das tarefas foi utilizada. Já para apoiar a análise da QP2, foi registrado também o tempo de execução de cada tarefa do estudo experimental, em cada etapa. Vale mencionar que houve um monitoramento sobre as atividades dos participantes durante o estudo experimental.

Antes da execução do estudo experimental, um projeto piloto com esta mesma estrutura foi realizado com dois participantes. A proposta era detectar possíveis problemas no material planejado para o estudo experimental, bem como na sua execução, permitindo que este material fosse aprimorado antes de sua utilização. Além disso, durante a execução houve um cuidado por parte dos aplicadores do estudo experimental para isolar as tarefas e fornecer somente os dados e ferramentas necessários ao participante em cada etapa.

7.2 Execução do Estudo Experimental

Inicialmente o convite para participação no estudo experimental foi enviado para aproximadamente 100 alunos, dos diversos cursos da área de exatas da instituição, que já haviam cursado a disciplina Cálculo 2. Destes convidados, 43 preencheram um questionário de caracterização disponibilizado on-line⁶ sendo que, efetivamente, 37 convidados participaram do estudo experimental, divididos em 3 sessões, em função da disponibilidade de horário.

No início de cada sessão do estudo experimental, os participantes preencheram o formulário de consentimento de participação do mesmo⁷. Em seguida receberam o treinamento e participaram da contextualização do estudo experimental. Em cada uma das 3 sessões, a execução do estudo experimental foi dividida em 2 etapas e os participantes em 2 grupos. As respostas do questionário de caracterização serviram para efetuar a divisão dos participantes em grupos mais homogêneos. O critério considerado foi o ano de ingresso no curso.

Para este estudo foi definido um quadrado latino de dois tratamentos (material impresso e EducAR-Quadrics). As 6 tarefas foram divididas em duas etapas, denominadas Etapa 1⁸ e Etapa 2⁹. O primeiro grupo executou a Etapa 1 e suas respectivas tarefas utilizando o EducAR-Quadrics como abordagem de apoio, enquanto o segundo grupo utilizou o material impresso. Em um segundo momento, os participantes receberam novas tarefas (Etapa 2), que foram executadas com a abordagem diferente da utilizada na primeira etapa.

Para finalizar, os participantes responderam a um questionário de encerramento¹⁰ incluindo a percepção e as considerações dos mesmos sobre a aplicação das abordagens material impresso e EducAR-Quadrics, para a obtenção de informações acerca do estudo experimental realizado.

7.3 Caracterização dos Participantes

Os participantes do estudo experimental são alunos da UFJF no nível de graduação (em sua maioria) e mestrado. Todos os participantes já cursaram a disciplina Cálculo 2. Dado o número de

⁶http://bit.ly/form_caracterizacao [On-line; acessado em: 13/04/2019]

⁷http://bit.ly/TCLE_EducAR [On-line; acessado em: 13/04/2019]

⁸<http://bit.ly/AtividadeEtapa1> [On-line; acessado em: 13/04/2019]

⁹<http://bit.ly/AtividadeEtapa2> [On-line; acessado em: 13/04/2019]

¹⁰http://bit.ly/form_avaliacao [On-line; acessado em: 13/04/2019]



participantes maior que 30 foi possível realizar uma análise estatística mais aprimorada (Juristo & Moreno, 2013).

A Tabela 3 mostra a alocação dos participantes nas sessões realizadas. Dos 37 participantes, 15 utilizaram o EducAR-Quadrics como abordagem de apoio na Etapa 1 do estudo experimental e o material impresso na Etapa 2. De outro lado, 17 participantes utilizaram o material impresso como abordagem de apoio na Etapa 1 e o EducAR-Quadrics, na Etapa 2. Em cada sessão, procurou-se manter o mesmo número de participantes utilizando cada abordagem. No entanto, na sessão 1 quatro participantes não utilizaram a abordagem correta indicada na folha de atividades e por isso foram descartados. Na sessão 2, um participante não registrou o tempo de duração de uma atividade e, portanto, foi também descartado. Restaram assim 32 participantes que executaram as atividades de acordo com as orientações.

Tabela 3: Distribuição dos participantes nas sessões.

Sessão	Etapa 1	Etapa 2	Participantes
1	Aplicativo	Material	1 2 3
	Material	Aplicativo	4 5 6 7 8 9
2	Aplicativo	Material	10 11 12 13 14 15 16
	Material	Aplicativo	17 18 19 20 21 22 23 24
3	Aplicativo	Material	25 26 27 28 29
	Material	Aplicativo	30 31 32

7.4 Avaliação da Eficácia e da Eficiência

Para esta avaliação, foi utilizado o ambiente de *software* livre R¹¹ e a IDE *RStudio*¹². Inicialmente foi realizado o teste de Shapiro-Wilk (Conover, 1999) para verificar o pressuposto de normalidade dos dados com um intervalo de confiança de 95%, isto é, α -value = 0,05 (Royston, 1995). Considerou-se que no estudo experimental foi realizada uma única tarefa, a identificação de Superfícies Quádricas, através de abordagens diferentes e repetidas vezes, porém com o mesmo nível de dificuldade e o mesmo propósito em cada execução. A Tabela 4 apresenta o *p-value* obtido após a realização dos testes. A suposição da normalidade foi violada para a variável Acerto nas duas abordagens, visto que p -value < α -value. Também foi violada para a variável Duração na abordagem Material Impresso. Conclui-se então que a amostra não possui distribuição normal.

Tabela 4: *P-value* para o teste de normalidade das variáveis Acerto e Duração.

Acerto		Duração	
EducAR - Quadrics	Material Impresso	EducAR - Quadrics	Material Impresso
0.005285	0.006796	0.611	0.00000009552

Foi então realizado o teste não-paramétrico Mann-Whitney (Wilcoxon, 1945) para duas amostras independentes a fim de realizar a análise estatística dos dados. Inicialmente, foi testada a hipótese de que existia diferença entre a população que utilizou o aplicativo e a que não usou. Os valores do *p-value* obtidos foram Acerto= 0.7146 e Duração= 0.2888. Assim, não se pode afirmar que existe diferença estatística (p -value > α -value). Em seguida, foi testada a hipótese de

¹¹<https://www.r-project.org> [On-line; acessado em: 13/04/2019]

¹²<https://www.rstudio.com> [On-line; acessado em: 13/04/2019]



que existia diferença entre os grupos de participantes e também não foi possível afirmar devido aos valores obtidos no teste de Mann-Whitney que se encontram na Tabela 5.

Tabela 5: Teste Mann-Whitney para as variáveis Acerto e Duração.

Acerto		Duração	
EducAR - Quadrics	Material Impresso	EducAR - Quadrics	Material Impresso
0.8777	0.2534	0.7658	0.8816

O gráfico de barras empilhadas da Figura 7 analisa o número de acertos obtidos na realização da tarefa para cada uma das abordagens. Para a pontuação foi considerado também meio-certo. Através desse gráfico pode-se verificar que as pontuações foram muito similares entre as duas abordagens, justificando os valores obtidos no teste de Mann-Whitney.

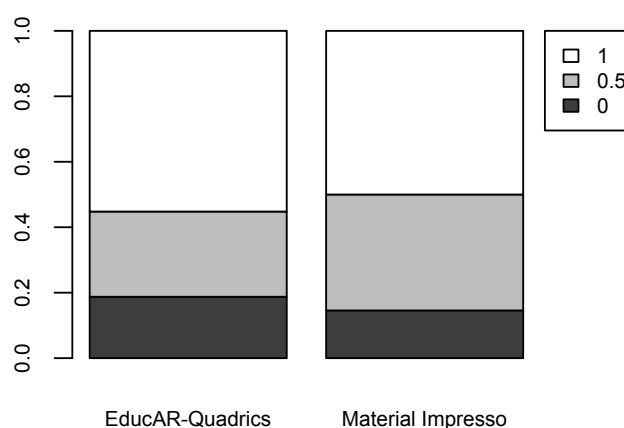


Figura 7: Análise da variável acerto.

A Tabela 6 mostra uma análise sobre a corretude da tarefa realizada para as duas abordagens. Apesar do valor final das pontuações ficar muito próximo para as duas abordagens, nota-se que a quantidade de acertos foi maior quando se utilizou o aplicativo.

Tabela 6: Distribuição de acertos pelo total de participantes em cada etapa.

	Etapa 1		Etapa 2	
	EducAR - Quadrics	Material Impresso	EducAR - Quadrics	Material Impresso
1	57.8%	54.9%	52.9%	44.4%
0.5	20%	33.3%	31.4%	37.8%
0	22.2%	11.8%	15.7%	17.8%

Na Figura 8 são apresentados os *boxplots* das distribuições das variáveis Duração e Acerto. Percebe-se que os valores foram muito próximos para as duas abordagens.

Após a realização dos testes e análise dos gráficos percebeu-se que, diferente do esperado, os resultados foram muito parecidos. Isso pode estar relacionado ao tamanho da amostra que, apesar de relevante, é ainda pequeno. O conhecimento prévio das superfícies também pode ter influenciado. Acredita-se que para alunos em processo de aprendizado do conteúdo exista uma diferença significativa no uso das duas abordagens combinadas.

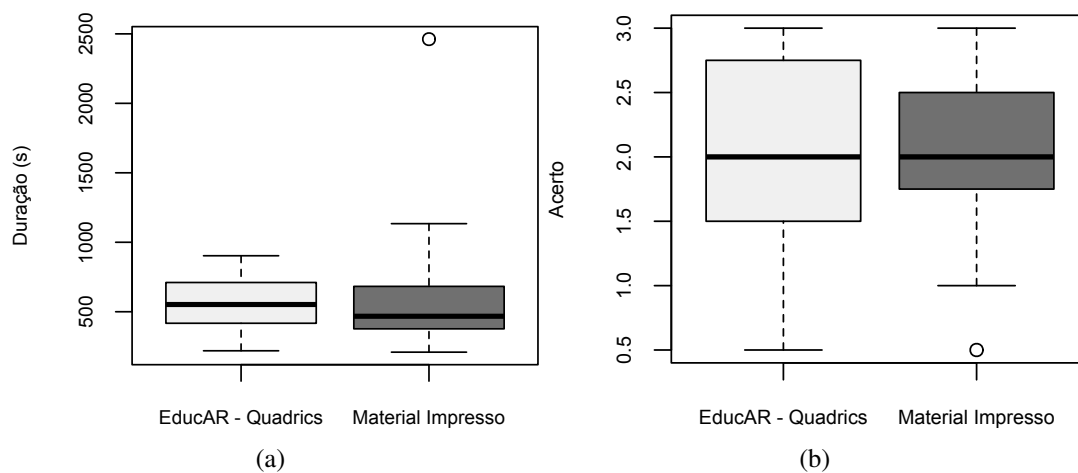


Figura 8: Análise das variáveis duração (a) e acerto (b).

7.5 Ameaças à Validade

Durante o planejamento deste estudo experimental, buscou-se minimizar ameaças que pudessem impactar ou limitar a validade dos resultados obtidos (Wohlin et al., 2000). No entanto, não é possível garantir que tais ameaças não tenham afetado os resultados. Desta forma, as ameaças identificadas no contexto deste estudo experimental são descritas a seguir.

O estudo experimental não foi executado em um único dia por todos os participantes, em função da disponibilidade dos mesmos. Isto pode ter influenciado os resultados, já que não é possível confirmar que as circunstâncias eram as mesmas nas ocasiões em que cada participante executou o estudo experimental. Contudo, o mesmo roteiro e o mesmo ambiente computacional foram utilizados com a intenção de minimizar esta ameaça.

Conforme descrito na seção de planejamento, a execução do estudo experimental consistiu de duas etapas. Embora o estudo tenha sido projetado para evitar o efeito de aprendizado dos participantes (fornecendo tarefas diferentes a cada etapa), não é possível confirmar que este efeito tenha sido totalmente eliminado.

O entendimento dos participantes sobre as questões dos formulários é influenciado pela forma como as questões foram elaboradas. A análise dos instrumentos utilizados (inclusive os formulários) a partir de um projeto piloto visou reduzir esta interferência.

Considerando o número razoável de participantes e por não se tratar de um estudo de observação, assumiu-se que os mesmos seguiram as instruções e a ordem das atividades. Para minimizar esta ameaça, somente depois que o participante concluiu a primeira etapa, é que foi apresentada a segunda etapa do estudo experimental. Adicionalmente, não é possível confirmar se a duração informada pelos participantes durante as tarefas está correta.

O tamanho da amostra é limitado, o que não é ideal do ponto de vista estatístico. Desta forma, os resultados do estudo experimental não são conclusivos: somente fornecem indícios. No entanto, o número de participantes superior a 30 é considerado alto (Juristo & Moreno, 2013), o que aumenta a validade estatística das conclusões obtidas.



7.6 Avaliação Qualitativa

Os participantes preencheram o formulário de encerramento conforme mencionado anteriormente. Neste formulário foi adotada a escala *Likert* de cinco pontos (Likert, 1932) dada sua adequabilidade para medir a opinião dos participantes e facilidade de análise dos resultados.

O formulário foi dividido em quatro seções: Treinamento, Realidade Aumentada, Utilidade de aplicativos de RA e o aplicativo EducAR – Quadrics. Responderam ao formulário todos os 37 participantes de forma anônima. Assim, os participantes que foram descartados no estudo experimental foram considerados na análise apresentada na Tabela 7. Foi possível concluir em caráter qualitativo que o EducAR - Quadrics foi bem avaliado e do ponto de vista de alunos que já cursaram a disciplina tem potencial para apoiar o ensino e aprendizagem do conteúdo das quádricas e incrementar o aprendizado.

Tabela 7: Resultados da avaliação qualitativa.

Afirmção	DC	DP	N/I	CP	CC
As orientações do treinamento foram adequadas.	0	0	0	3	34
Minhas dúvidas no treinamento foram adequadamente esclarecidas.	0	0	2	0	35
Não é necessário treinamento para utilizar aplicativos de RA.	1	8	2	20	6
Estou acostumado(a) a utilizar aplicativos de RA.	6	8	4	13	6
O uso de aplicativos de RA pode melhorar a compreensão do conteúdo.	0	0	0	9	28
Estou motivado(a) a utilizar os recursos de RA.	0	0	5	14	18
Gostaria que as disciplinas do meu curso adotassem ferramentas de RA.	0	0	3	12	22
Foi mais interessante identificar as superfícies utilizando o EducAR - Quadrics.	0	2	1	9	25
O EducAR - Quadrics é útil para o estudo do conteúdo da disciplina Cálculo II.	0	0	2	7	28
O aplicativo é intuitivo.	0	1	2	25	9
O tamanho dos botões permite a correta manipulação do aplicativo.	0	2	1	12	22
Os números e letras no aplicativo possuem tamanho adequado.	1	5	0	7	24
O aplicativo apresenta uma interface visualmente agradável.	0	0	2	22	13

Escala: DC - Discordam completamente, DP - Discordam parcialmente, N/I - Não sabem / Indiferentes, CP - Concordam parcialmente, CC - concordam completamente.

8 Discussão

Pode-se observar a partir das respostas do formulário de encerramento que os alunos consideram que existe potencial no EducAR - Quadrics para apoiar o ensino e aprendizagem de Cálculo, dado que a maioria das avaliações foi positiva nesse aspecto. Um número significativo de participantes inclusive relaciona a dificuldade apresentada por alguns alunos à falta de materiais de apoio. Isso pode ser consequência de algumas ferramentas existentes necessitarem de um *hardware* mais complexo para serem utilizadas, como um computador que disponha de acesso à Internet e uma *webcam*, por exemplo. O uso do *smartphone* como plataforma torna o uso em sala de aula possível, visto que muitos dos alunos já possuem o hardware necessário à utilização e já estão familiarizados com o mesmo. Também foi possível constatar que os participantes avaliaram a facilidade de uso de forma muito positiva, o que pode estar relacionado ao fato de que a aplicação foi utilizada em *smartphones*, plataforma onde os usuários já estavam adaptados à utilização.

Em relação aos recursos oferecidos, os usuários consideraram que apenas a visualização e



a troca das superfícies eram insuficientes, mas avaliaram positivamente a modificação em tempo real das superfícies virtuais. Esse recurso não é comum em outras aplicações de RA no meio educacional, sendo inclusive um diferencial do EducAR - Quadrics.

A Tabela 8 compara as características do EducAR - Quadrics em relação aos trabalhos correlatos. Na primeira coluna são listados os trabalhos. Na segunda coluna o público alvo da aplicação. Na terceira coluna relacionou-se o tipo de interação existente entre o usuário e os objetos virtuais apresentados nas aplicações. Na quarta coluna foi avaliado se o aplicativo precisa de redes móveis para funcionar, Internet ou *bluetooth* por exemplo. Na última coluna foi indicado se foi apresentada alguma avaliação do aplicativo.

Tabela 8: Comparação entre os trabalhos relacionados e o EducAR - Quadrics.

Trabalho	Público-alvo	Interação	Rede	Avaliação
(Oliveira et al., 2016)	Estudantes de nível básico de Inglês	V, T	Não	Não
(Cavalcante et al., 2016)	Crianças dos primeiros anos escolares	V, T	Não	Não
(Fernandes et al., 2016)	Crianças com necessidade especiais	V, T	Não	Não
(Silva et al., 2015)	Graduandos em Engenharia	V	Não	Sim
(Scotta et al., 2014)	Graduandos em Química	V	Sim	Não
(Santos et al., 2013)	Desenvolvedores de jogos em RA	V	Sim	Não
(Silveira et al., 2011)	Público de museus em geral	V	Não	Não
EducAR - Quadrics	Graduandos em Exatas e Engenharia	V, T, A	Não	Sim

Modos de Interação: V - Visualização, T - Troca entre modelos, A - Alteração de modelos.

9 Conclusão

Este trabalho é uma extensão de (Pereira, Oliveira, Couto, Oliveira, & Silva, 2017) e apresenta o EducAR – Quadrics, um visualizador de superfícies quádricas para dispositivos móveis como apoio ao ensino e aprendizagem de Cálculo em cursos de graduação. O desenvolvimento foi pautado no uso da plataforma *Android* e foi apoiado pela biblioteca *AndAR*. Foi apresentada à comunidade acadêmica uma versão preliminar do aplicativo e a avaliação desta versão foi feita através de um questionário. A partir da análise das respostas dessa primeira avaliação, concluiu-se que os alunos acreditam que o uso de aplicativos baseados em RA pode facilitar a compreensão dos conteúdos estudados e possibilitar maior interesse nas disciplinas.

Inicialmente, um número significativo de alunos ressaltou que o EducAR - Quadrics deixava a desejar na quantidade de recursos. A maioria sugeriu que fossem implementadas novas funções além da visualização, como alteração de parâmetros das superfícies, desenho a partir de uma equação fornecida pelo usuário e rotação das superfícies sobre o marcador. Dessa forma, foi criada uma nova versão onde foi adicionada a função de alteração dos parâmetros das superfícies.

Nessa segunda versão foi elaborado um estudo experimental de maior relevância estatística, onde foi comparada a eficiência e a eficácia do EducAR - Quadrics em relação a outro método de ensino e aprendizagem do conteúdo. Para a análise dos dados coletados, foi utilizado o teste de Mann-Whitney e, a partir dos resultados, concluiu-se que não há diferença estatística entre o grupo que utilizou o aplicativo e o que não utilizou. Acredita-se que esse resultado pode ser decorrente do conhecimento prévio dos alunos sobre o assunto apresentado pelo aplicativo e que



para o caso de alunos que estejam tendo o primeiro contato com o assunto, o EducAR - Quadrics se mostre uma melhor opção de ensino e aprendizagem.

Foi também realizado nesse estudo experimental, uma avaliação qualitativa e os resultados foram muito positivos. A maioria dos alunos acredita que o EducAR - Quadrics é útil para o estudo do conteúdo alvo e também acredita que o uso de aplicativos de RA pode melhorar a compreensão do conteúdo.

Como trabalhos futuros, considerando a aceitação dos alunos, pretende-se realizar algumas melhorias na usabilidade e inclusão de novos recursos. Também pretende-se expandir o uso da RA na educação com aplicativos similares para outras áreas apresentadas na graduação.

Referências

- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34–47. [GS Search]
- Bimber, O., & Raskar, R. (2005). *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. Natick, MA, USA: A. K. Peters, Ltd. [GS Search]
- Bujak, K. R., Radu, I., Catrambone, R., Macintyre, B., Zheng, R., & Golubski, G. (2013). A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom. *Computers & Education*, 68, 536–544. doi: 10.1016/j.compedu.2013.02.017 [GS Search]
- Cavalcante, R. S., Fernandes, F. G., Lamounier, E., & Cardoso, A. (2016). Aplicação de realidade aumentada móvel para apoio ao ensino de crianças. *Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, 5(1), 691. doi: 10.5753/cbie.wcbie.2016.691 [GS Search]
- Conover, W. (1999). Practical nonparametric statistics. *John Wiley & Sons, Inc., New York*, 130–133. [GS Search]
- Fernandes, F. G., Oliveira, L. C., & Oliveira, E. C. (2016). Aplicação de realidade aumentada móvel para apoio à alfabetização de crianças com autismo. *Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, 5(1), 1374. doi: 10.5753/cbie.wcbie.2016.1374 [GS Search]
- Juristo, N., & Moreno, A. M. (2013). *Basics of software engineering experimentation*. Springer Science & Business Media. [GS Search]
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*. [GS Search]
- Oliveira, R. C., Silva, D., Fernandes, F. G., Oliveira, L. C., & Oliveira, E. C. (2016). Aplicativo de aprendizagem móvel utilizando realidade aumentada para ensino de língua inglesa. *Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, 5(1), 731. doi: 10.5753/cbie.wcbie.2016.731 [GS Search]
- Pereira, L., Oliveira, D., Couto, I., Oliveira, A., & Silva, R. L. S. (2017). Uma ferramenta de apoio ao ensino de cálculo com realidade aumentada. In *Simpósio brasileiro de informática na educação* (Vol. 28, p. 595). doi: 10.5753/cbie.sbie.2017.595 [GS Search]
- Posada, J. E. G., Buchdid, S. B., & Baranauskas, M. C. C. (2016). Informatics in education: what the works published in brazil reveal. *Brazilian Journal of Computers in Education*, 24(1), 142. doi: 10.5753/rbie.2016.24.1.142 [GS Search]



- Root, R. W., & Draper, S. (1983). Questionnaires as a software evaluation tool. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 83–87. doi: [10.1145/800045.801586](https://doi.org/10.1145/800045.801586) [GS Search]
- Royston, P. (1995). Remark as r94: A remark on algorithm as 181: The w-test for normality. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 44(4), 547–551. doi: [10.2307/2986146](https://doi.org/10.2307/2986146) [GS Search]
- Santos, O. L., Prado Rafalski, J., & Menezes, C. S. (2013). Uma game engine para aventuras pedagógicas locativas em realidade aumentada. In *Brazilian symposium on computers in education (simpósio brasileiro de informática na educação-sbie)* (Vol. 24, p. 396). doi: [10.5753/cbie.sbie.2013.396](https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2013.396) [GS Search]
- Santos, R. J. (2010). *Matrizes vetores e geometria analítica*. Imprensa UFMG. [GS Search]
- Scotta, A., Hüttner, V., Machado, K. S., Pinto, I., Couto, Z., & Espíndola, D. B. (2014). Uma aplicação da realidade aumentada em laboratórios mistos para ensino de química. *Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, 3(1), 564. doi: [10.5753/cbie.wcbie.2014.564](https://doi.org/10.5753/cbie.wcbie.2014.564) [GS Search]
- Silva, J., Souza, F. F., Sedraz, L., & Ramos, J. L. C. (2015). Adoção de realidade aumentada no ensino de resistência dos materiais. *Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, 4(1), 1198. doi: [10.5753/cbie.wcbie.2015.1198](https://doi.org/10.5753/cbie.wcbie.2015.1198) [GS Search]
- Silveira, A. L. M., Biazus, M. C. V., & Axt, M. (2011). Diálogos na arte: Sistema de autoria em realidade aumentada. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 1(1). doi: [10.5753/cbie.sbie.2011.%25p](https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2011.%25p) [GS Search]
- Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics bulletin*, 1(6), 80–83. doi: [10.2307/3001968](https://doi.org/10.2307/3001968) [GS Search]
- Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M. C., Regnell, B., & Wesslén, A. (2000). *Experimentation in Software Engineering: An Introduction*. Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers. [GS Search]