

PlanetARio – Uso da Realidade Aumentada para Apoiar o Ensino do Sistema Solar

Paulo Henrique da Silva Ferreira, ICT/Unifesp, phenry.ferreira@gmail.com
Ezequiel Roberto Zorzal, ICT/Unifesp, ezorzal@gmail.com

Resumo: Este trabalho apresenta uma aplicação de Realidade Aumentada voltada para apoiar o ensino de conteúdos relacionados ao Sistema Solar, principalmente em situações onde a visualização da diferença de tamanho entre os corpos celestes é importante. A aplicação possui três experimentos para apoiar o ensino: escala dos corpos celestes do Sistema Solar; animação referente à translação e rotação do Sistema Solar e; a apresentação, em tempo real, das informações referentes ao clima do planeta Terra. A aplicação foi utilizada por alunos do 5º ano do Ensino Fundamental e apresentou resultados positivos no teste de usabilidade efetuado. A aplicação está disponível gratuitamente e pode ser executada em smartphones ou tablets utilizando apenas o navegador nativo de Internet.

Palavras-chave: realidade aumentada, aprendizagem móvel, sistema solar, ensino.

PlanetARio – Use of Augmented Reality Application to Support the Teaching of the Solar System

Abstract: This work presents an application of Augmented Reality to support the teaching of contents related to the Solar System, especially in situations where the visualization of the scale between the celestial bodies is essential. The application has three experiments to support the teaching: a scale of the celestial bodies of the Solar System; animation related to the translation and rotation of the Solar System; the presentation, in real time, of information concerning the climate of planet Earth. The application was used by students of the 5th year of elementary school and presented positive results in the usability testing. The application is available for free and can run on smartphones or tablets using only the native Internet browser.

Keywords: augmented reality, mobile learning, solar system, teaching.

1. Introdução

As tecnologias de informação e comunicação estão se desenvolvendo em ritmo acelerado, e cada vez mais fazem parte do cotidiano das pessoas. Diferentes tipos de interfaces têm sido desenvolvidas com a finalidade de aprimorar a interação do usuário na busca de seus objetivos. Atualmente, interfaces com Realidade Aumentada se tornaram comuns e amplamente disponíveis para uso em computadores pessoais, portáteis e inclusive para dispositivos móveis.

A Realidade Aumentada pode ser definida como uma interface capaz de integrar objetos virtuais ao ambiente real do usuário. Para funcionar corretamente, é necessário a utilização de um dispositivo tecnológico que permita a visualização e interação do usuário com a interface em tempo real (Kirner e Kirner, 2007). O uso de técnicas de Realidade Aumentada pode permitir a exploração de todos os sentidos humanos (Azuma et al., 2001) e proporcionar ao usuário uma interação segura, sem necessidade de treinamento, uma vez que ele pode trazer para o seu ambiente real objetos virtuais, incrementando e aumentando a visão que ele tem do mundo real (Kirner e Zorzal, 2005). O sentido de presença em um sistema de Realidade Aumentada não é totalmente controlado pelo sistema, diferentemente da Realidade Virtual, em que o usuário se desloca completamente do mundo real para interagir no ambiente virtual.

As áreas relacionadas ao ensino e treinamento têm sido beneficiadas nos últimos anos com os avanços tecnológicos apresentados pela Realidade Aumentada. Acredita-se

que tais avanços propiciaram um recurso ímpar para tais áreas. Azuma et al. (2001) cita a educação como uma das principais áreas de aplicação da Realidade Aumentada, pois ela pode se aproveitar da capacidade de adicionar camadas de informações sobre objetos e locais, permitindo facilitar o processo de aprendizado.

Atualmente, os telefones inteligentes (smartphones) têm sido muito utilizados como dispositivos suporte para aplicações de Realidade Aumentada. Nestes dispositivos, o sistema utiliza a câmera de vídeo para capturar a cena real. Depois de capturada, a cena real é misturada com os objetos virtuais gerados e apresentada no display (Chatzopoulos et al., 2017). O ponto de vista do usuário normalmente é fixo e depende do posicionamento do smartphone.

Um dos principais benefícios no uso dos smartphones é a possibilidade de adquirir conhecimento a partir da aprendizagem móvel (Mobile Learning). Sabe-se que este modelo de aprendizagem, se aplicado de forma correta, pode proporcionar inúmeras vantagens, tais como: mobilidade, engajamento, flexibilidade, rapidez e facilidade de acesso ao conteúdo.

Becker et al. (2017), por meio do trabalho apresentado no relatório técnico internacional *NMC Horizon Report* de 2017, declaram que a aprendizagem móvel está alterando a maneira como as pessoas interagem com o conteúdo e seu ambiente. Os autores ainda afirmam que esta demanda gera novas oportunidades, com potencial para criação de materiais aprimorados para dispositivos móveis que podem aumentar o acesso à educação.

Neste trabalho, apresenta-se uma aplicação para apoiar o ensino do Sistema Solar utilizando técnicas de Realidade Aumentada. Comumente, as abordagens tradicionais referentes ao Sistema Solar nos materiais didáticos são dispostas por figuras esquemática do mesmo. Ou seja, muitas vezes estas abordagens apresentam o Sol e os planetas desenhados sem uma escala autêntica e sem a possibilidade de interação e manipulação dos corpos celestes, o que pode prejudicar a percepção e o aprendizado do estudante.

Já é sabido que existem trabalhos relacionados que utilizam dispositivos móveis para aproximar estudantes dos conhecimentos produzidos no campo da Astronomia, como o projeto do aplicativo educacional livre Universo Móvel (Neve e Melo, 2014) que apresenta noções conceituais sobre alguns dos principais componentes do Sistema Solar e curiosidades do Universo; e a aplicação de Kadosawa e Makino (2018), que utiliza HMDs (Head-Mounted Display) para visualizar a órbita solar em Realidade Aumentada com o objetivo de ajudar os alunos do ensino médio a promoverem seus conhecimentos sobre a inclinação axial, rotação e revolução da Terra. No entanto, este trabalho pretende utilizar técnicas de Realidade Aumentada para melhorar o engajamento e interação dos estudantes dentro e fora da sala de aula, por meio de aparatos convencionais e de fácil acesso.

A aplicação descrita neste trabalho aborda três tipos de experimentos com Realidade Aumentada para apoiar o ensino do Sistema Solar. A aplicação foi utilizada e testada por alunos do 5º ano do Ensino Fundamental, os resultados obtidos também estão apresentados neste trabalho. A Seção 2 aborda um breve relato sobre o uso da Realidade Aumentada no ensino. Na Seção 3 são descritos os detalhes da aplicação desenvolvida e como ela pode ser utilizada. A Seção 4 mostra a metodologia utilizada no experimento, testes com usuários e os resultados obtidos. Por fim, a Seção 5 apresenta as considerações finais e trabalhos futuros.

2. Realidade Aumentada Aplicada ao Ensino

As aplicações de Realidade Aumentada apresentam grandes potenciais e podem amplificar as capacidades das pessoas avaliarem informações tridimensionais, uma vez que flexibilizam a atuação do usuário no espaço tridimensional e permitem o uso de interações multimodais (Kelner e Teichrieb, 2008).

De acordo com Wu et al. (2013), o uso de aplicações de Realidade Aumentada podem permitir a visualização de conceitos abstratos e relações espaciais complexas, por exemplo: os conceitos e relações espaciais encontrados no campo da química molecular; a experimentação de fenômenos científicos que não são possíveis no mundo real, como experimentos relacionados a astronomia ou a biologia vegetal e; a interação e manipulação com objetos virtuais de duas e três dimensões.

A Realidade Aumentada aplicada ao ensino vem sendo abordada em diversas pesquisas nos últimos anos. Vários trabalhos estão sendo desenvolvidos com o objetivo de implementar sistemas de visualização com Realidade Aumentada para fornecer interfaces acessíveis e de fácil utilização que apoiam o aprendizado e apresentam informações relevantes aos usuários. Alguns exemplos são citados a seguir: o trabalho de De Ravé et al. (2016) que consistiu em desenvolver um sistema para facilitar o aprendizado de geometria, gerando um impacto positivo na habilidade espacial dos estudantes; O trabalho de Herpich et al. (2017) que apresentou o uso da Realidade Aumentada na Geografia. Neste caso, os autores realizaram uma atividade de orientação que auxiliasse o processo de ensino-aprendizagem dos conceitos relacionados à cartografia, orientação e localização, bem como as habilidades espaciais inerentes à atividade, através de uma aplicação lúdica com os participantes utilizando marcadores e Realidade Aumentada; A utilização da aplicação LAYAR (LAYAR, 2018) para criar experimentos de Realidade Aumentada que foram administrados nas aulas de física (Denardin e Manzano, 2017); Os estudos de casos de Galvão e Zorzal (2012) elaborados com Realidade Aumentada para potencializar livros educacionais que envolveu uma história infantil e o aprendizado de Geometria Analítica; O trabalho de Macedo et al. (2016) que apresentou o desenvolvimento do aplicativo AppiRAMide para o estudo de geometria espacial para alunos do ensino médio; Por fim, o trabalho de Angeles (2017) que utilizou a Realidade Aumentada na Biologia para a representação tridimensional e incremento de uma nova dimensão à camada dos dados com o objetivo de melhorar a percepção do espaço de visualização.

Muitos desafios foram identificados nos trabalhos mencionados. Apesar da existência de várias pesquisas e aplicações da Realidade Aumentada no ensino, a inserção efetiva desta tecnologia ainda é considerada um dos maiores desafios da área, devido à dificuldade de integrá-las com os métodos de aprendizagem tradicionais. Além disso, há necessidade da disponibilização gratuita de aplicações para que os usuários finais possam utilizar facilmente os conteúdos em Realidade Aumentada.

3. Metodologia da aplicação desenvolvida

A aplicação desenvolvida (PlanetARio) é composta por uma página Web e nove marcadores que representam os corpos celestes presentes no Sistema Solar. A página Web foi criada utilizando a linguagem JavaScript e uma biblioteca chamada AR.js, voltada para o desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada para Web (Etienne, 2018).

A AR.js é uma biblioteca escrita em Javascript que permite a criação e execução de conteúdo em Realidade Aumentada diretamente na Web. Idealizada por Etienne (2018) e mantida pela comunidade Open Source, a AR.js possibilita a implementação de conteúdos de Realidade Aumentada sem a necessidade de instalação de qualquer outro componente. A AR.js aprovisiona aplicações otimizadas para que até mesmo dispositivos móveis com baixo desempenho possam executar os conteúdos de forma satisfatória. Para alcançar seus objetivos, a AR.js utiliza diversos recursos já consolidados no Javascript. A renderização tridimensional na AR.js é realizada a partir da biblioteca/API Three.js. Para o reconhecimento e rastreamento de marcadores, a AR.js utiliza o algoritmo adaptado da ferramenta ARToolKit (Kato, Billinghurst e

Poupyrev, 2000), possibilitando com isso o uso de diversas funcionalidades já conhecidas da ferramenta com comandos em Javascript.

O conjunto de marcadores criados e utilizados na aplicação, bem como o QR Code contendo o endereço para o sítio eletrônico onde o código está sendo executado pode ser visualizado na Figura 1.

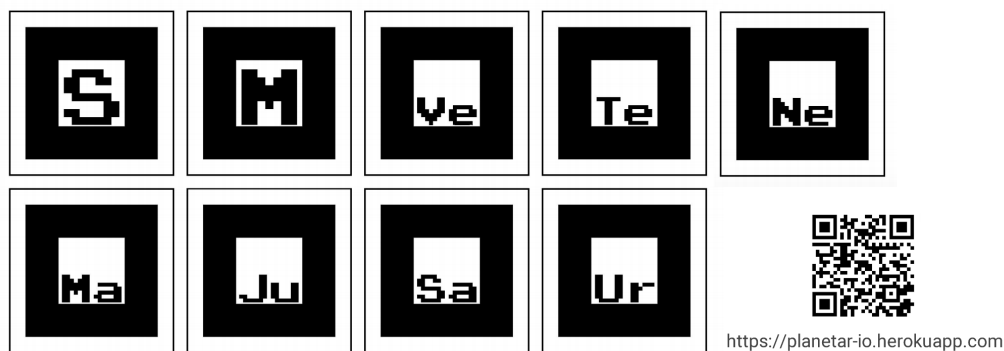


Figura 1. Marcadores utilizados na aplicação.

Para testar a funcionalidade da aplicação, foram utilizados vários tipos de dispositivos com diferentes sistemas operacionais. Nos testes realizados, todos os experimentos da aplicação funcionaram corretamente, inclusive em situações onde os dispositivos operavam com o padrão 3G para a transferência dos dados. Cabe ressaltar que a aplicação também pode ser executada utilizando computadores de mesa com webcams convencionais.

Para a utilização, basta acessar o endereço da aplicação utilizando um navegador nativo para Internet, imprimir os marcadores disponíveis, escolher o experimento e começar a experiência. A aplicação irá captar as imagens recebidas pela câmera do dispositivo e analisar se um dos marcadores cadastrados está sendo apresentado. Quando um marcador entra no campo de visão da câmera e seu padrão é detectado, são separadas as informações a serem posicionadas sobre a marca. Com essas informações prontas, a biblioteca AR.js calcula, baseando-se na escala e na rotação do marcador detectado, como as informações serão posicionadas. Por fim, essas informações são renderizadas sobre o marcador e apresentadas no dispositivo do usuário. Todos os passos para a execução dos experimentos estão detalhados no sítio eletrônico da aplicação.

Na aplicação desenvolvida é possível realizar três tipos de experimentos, a saber: 1) Inicialmente, foi desenvolvido um experimento que pudesse representar completamente o Sistema Solar no formato tridimensional com simulações das rotações e translações dos corpos celestes. Neste experimento, o usuário pode utilizar um único marcador para realizar a interação com o ambiente gerado; 2) No segundo experimento criado, além de fornecer a visualização da informação e dos modelos tridimensionais dos corpos celestes, a aplicação também pode mostrar a diferença de tamanho entre eles. Para isso, basta adicionar mais de um marcador ao campo de visão da câmera. Quando a aplicação detecta mais de um marcador ao mesmo tempo, ela determina qual dos marcadores visíveis representa o maior corpo celeste, baseando-se para isso na informação do diâmetro real de cada corpo celeste. Assim, o modelo tridimensional do maior corpo celeste se torna referência para o reajuste automático das escalas dos demais modelos em cena; 3) Por fim, o terceiro experimento é referente à visualização de algumas condições relacionadas ao clima no planeta Terra, como o posicionamento de nuvens, o nível de precipitação, a temperatura, etc. Essas informações são captadas, em tempo real, do serviço OpenWeatherMaps que oferece previsões e dados meteorológicos atuais para desenvolvedores Web. Na parte inferior da tela do

dispositivo, o usuário poderá definir no seletor de camadas as informações que deseja visualizar sobre o globo terrestre.

Cabe ressaltar que o usuário pode utilizar gestos para interagir com os modelos virtuais dos experimentos, tais como o toque para obter maiores informações do corpo celeste, arrastar para rotacionar o modelo sobre o próprio eixo e o gesto de pinça para aumentar ou diminuir proporcionalmente o tamanho dos corpos celestes. A Figura 2 apresenta a interface da aplicação e seus respectivos experimentos.

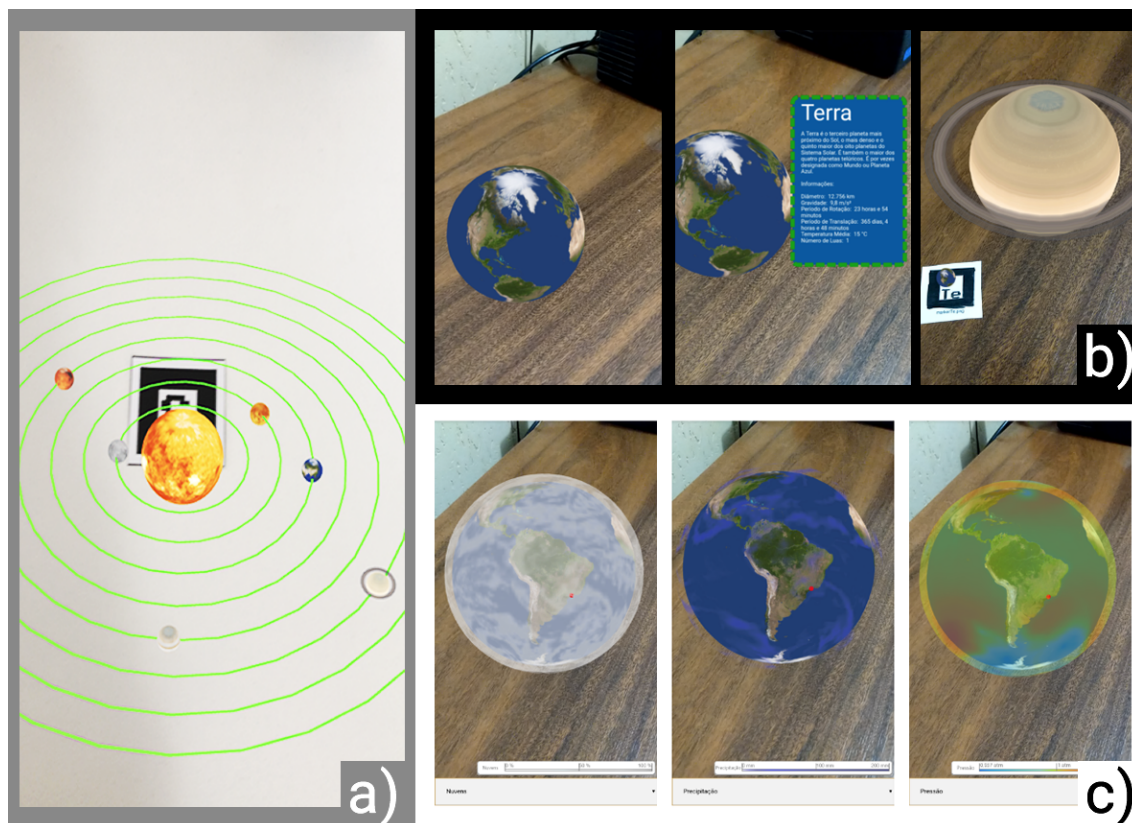


Figura 2. Interface da aplicação e experimentos do PlanetARio. a) Experimento para representar completamente o Sistema Solar. b) Experimento para visualizar informações e os corpos celestes em escalas. c) Experimento para visualização das condições relacionadas ao clima no planeta Terra.

4. Testes e resultados

A satisfação do usuário na interação com o sistema é um dos fatores decisivos a ser considerado no momento da escolha e utilização de uma aplicação para apoiar o ensino. Estes fatores são regulados pelos padrões das normas internacionais de usabilidade (ISO/DIS 9241-11, European Usability Support Centres). De acordo com estas normas, a usabilidade é definida como uma medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto particular de uso.

Os testes de usabilidade permitem avaliar as características gerais dos sistemas em termos de eficácia, eficiência e satisfação da ferramenta, não apenas no que diz respeito ao funcionamento do produto e à conformidade com as normas do padrão ISO 9241-11, mas também acerca das opiniões dos usuários sobre as suas explorações no sistema.

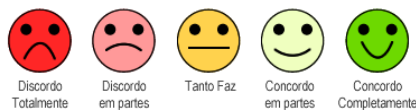
Para avaliar a aplicação desenvolvida, optou-se por utilizar o teste de usabilidade SUS (System Usability Scale). O SUS é um teste normalizado da Digital Equipment Corporation, constituído por apenas 10 itens, porem apresenta bons resultados de

fidelidade mesmo em amostras de pequena dimensão (Tullis e Stetson, 2004). Além disso, o SUS é disponibilizado gratuitamente, é simples de usar e fornece, para cada questionário, uma pontuação entre 0 e 100. Cada item do SUS compreende diferentes aspectos da reação do usuário com o sistema.

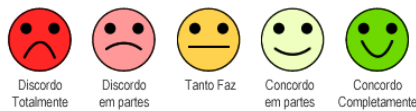
Após realizar algumas entrevistas com profissionais da educação e com os responsáveis pelos alunos que seriam avaliados, percebeu-se a necessidade de fazer algumas adaptações no teste SUS. Como o teste seria aplicado à alunos do 5º ano do Ensino Fundamental, com idades entre 10 à 12 anos, optou-se por reestruturar os textos referentes às perguntas e adaptar o questionário das respostas combinando a escala de cores e de Likert (Likert, 1932) com a técnica das Faces de Chernoff (Chernoff, 1973). Cabe ressaltar que mesmo com as adaptações realizadas para o público alvo, a essência e a legitimidade do teste SUS se mantiveram preservadas. Antes de serem aplicados aos alunos, os testes foram revisados e validados pelos profissionais da educação e pelos responsáveis dos alunos. O teste SUS adaptado para este trabalho pode ser visualizado na Figura 3.

MARQUE O SMILE CORRESPONDENTE À SUA OPINIÃO:

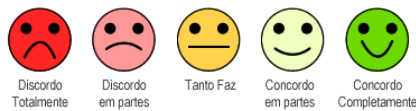
1. Eu gostaria de usar esta aplicação com frequência



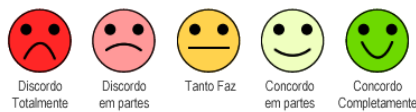
2. Eu acho que a aplicação poderia ser menos complicada



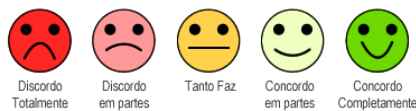
3. Eu acho a aplicação fácil de usar



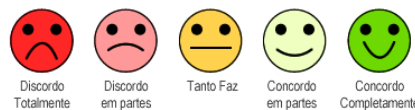
4. Eu preciso de ajuda para usar a aplicação



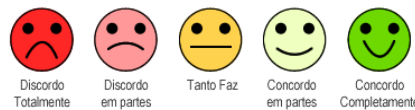
5. Eu acho que as funcionalidades da aplicação estão bem associadas



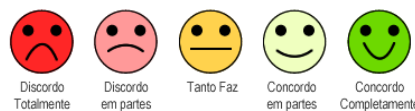
6. Eu acho que existem muitas contradições na aplicação



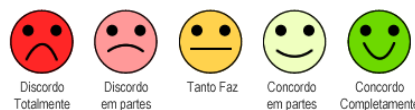
7. Eu imagino que muitas pessoas poderiam aprender a usar a aplicação rapidamente



8. Eu acho a aplicação muito complicada de usar



9. Eu me senti muito confiante com a aplicação



10. Eu precisaria aprender muitas coisas antes de usar a aplicação

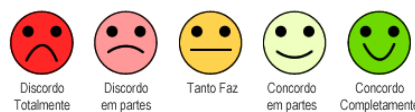


Figura 3. Teste SUS adaptado com escala de cores e Faces de Chernoff utilizado para avaliar o PlanetARio.

O objetivo inicial do experimento foi verificar como os alunos reagiam a aplicação desenvolvida com Realidade Aumentada para apoiar o ensino do Sistema Solar. Para realização deste, foram selecionadas 32 crianças do 5º ano do Ensino Fundamental de uma escola particular da cidade de São José dos Campos - SP. Inicialmente, foram explicados os objetivos da pesquisa e os princípios dos aspectos éticos aos participantes. A pesquisa seguiu o princípio da autonomia que envolve o consentimento livre e esclarecido dos indivíduos e a proteção a grupos vulneráveis e aos legalmente incapazes. Também foi assegurado que os participantes teriam o direito e a liberdade de recusar ou desistir de participar da pesquisa a qualquer momento.

Após as explicações, o grupo de estudantes recebeu orientações sobre a utilização da aplicação por um período aproximado de 10 minutos. Em seguida, cada participante teve a oportunidade de utilizar livremente todos os experimentos da aplicação, por meio de um ensaio de interação. A Figura 4 apresenta algumas fotos dos participantes utilizando os diferentes experimentos da aplicação desenvolvida.

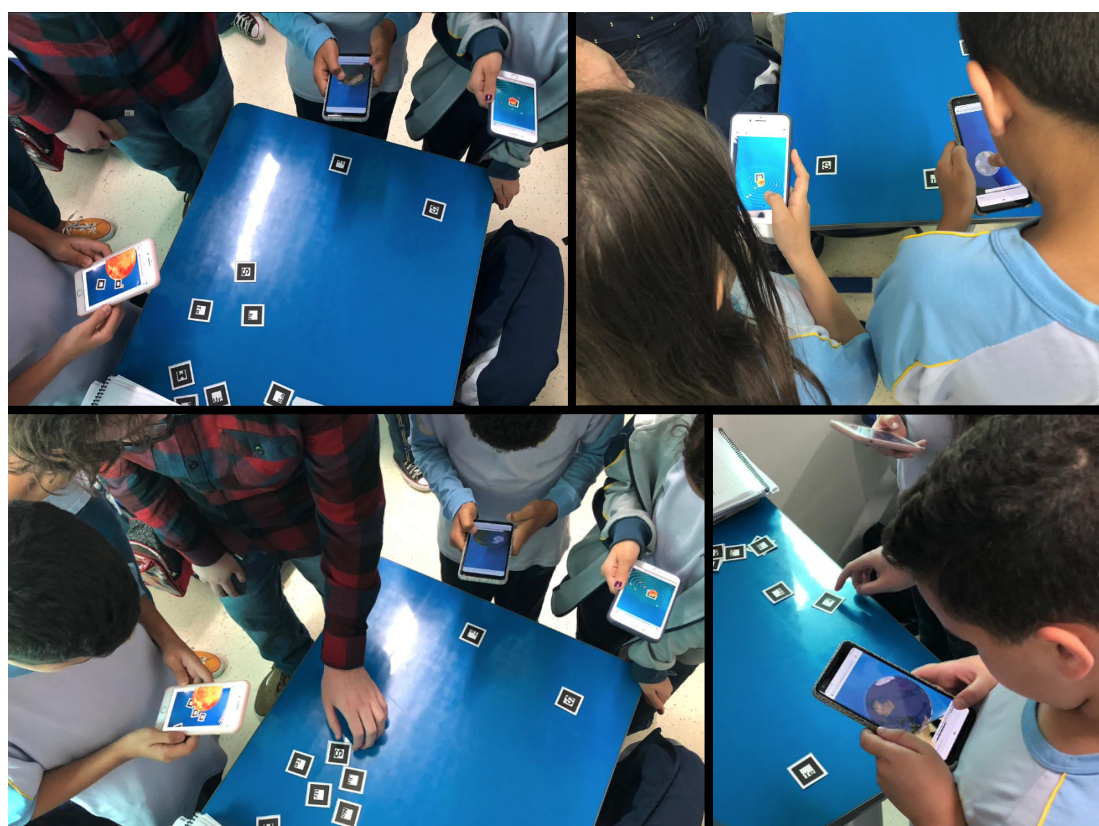


Figura 4. Participantes utilizando os experimentos antes da realização dos testes de usabilidade.

Após o ensaio de interação, todos os alunos responderam os questionários de usabilidade a eles aplicados. Ao analisar as respostas, observou-se que dois questionários estavam incompletos, sendo eles retirados do processo final da análise. A média da pontuação obtida nas pesquisas realizadas, a partir dos 30 participantes efetivos, para a escala do SUS foi de 82,08%. Este resultado pode ser considerado satisfatório, uma vez que a pontuação da escala do SUS considera zero (0) como o valor mais baixo para o nível de usabilidade e cem (100) como o valor mais alto. A Figura 5 mostra a distribuição das pontuações obtidas na escala de usabilidade do SUS.

Percebe-se, na Figura 5, que os resultados individuais da escala de usabilidade dos testes SUS pertinentes à 40% dos participantes foram iguais ou maiores que 90%. Pode-se deduzir que para estes participantes a aplicação apresentou efetividade,

eficiência e satisfação. Ou seja, estes usuários conseguiram completar seus objetivos com baixo esforço e com experiência satisfatória. Por outro lado, o aspecto motivador da introdução de uma nova tecnologia no ambiente de aprendizado pode ter contribuído para os resultados apresentados nesta pesquisa.

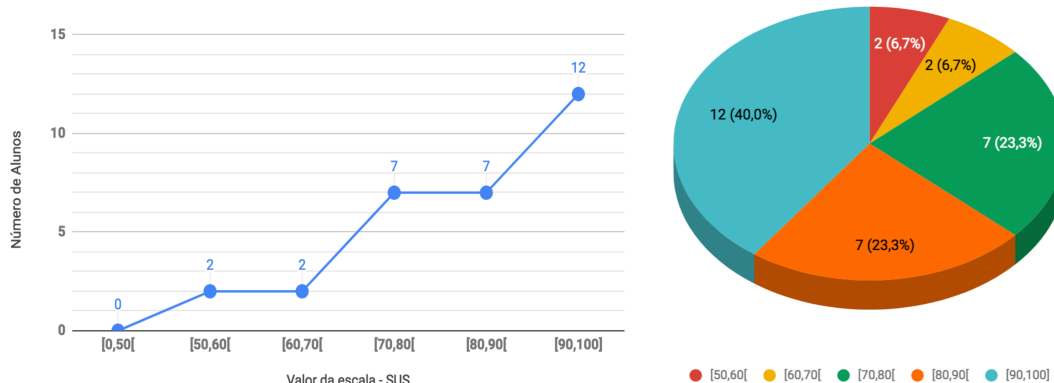


Figura 5. Escala de usabilidade SUS.

Os participantes também foram convidados a exporem suas opiniões e sugestões à respeito da aplicação e experimentos. Em geral, os participantes demonstraram-se interessados no projeto e apresentaram opiniões positivas à respeito. Algumas sugestões relevantes foram identificadas nesta fase, tais como: necessidade de aumentar o tamanho da fonte e adicionar uma legenda na aplicação referente ao clima do planeta Terra. Compete ressaltar que todas as sugestões exequíveis dos participantes estão sendo implementadas para as atualizações futuras da aplicação.

Cabe mencionar que a menor nota da escala de usabilidade obtida nos testes realizados foi de 50%. Após analisar as respostas deste teste, notou-se que a participante permaneceu neutra na maioria das questões e concordou que precisava de conhecimentos prévios e ajuda para utilizar a aplicação. No entanto, a participante não relatou nenhuma opinião ou sugestão que pudesse ser levada em consideração para melhorias da aplicação.

4. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

A aplicação desenvolvida está disponível na Internet para acesso ao público e exposta no Parque de Ciência e Tecnologia da Instituição dos autores. Esse Parque está abrigado em espaços de livre acesso do campus e recebe diversos alunos da rede pública e privada. Cabe ressaltar que todos os diâmetros, bem como as texturas dos corpos celestes utilizados na aplicação foram obtidas no sítio eletrônico oficial da NASA (National Aeronautics and Space Administration - NASA.org).

No estudo relatado, observa-se uma população de alunos cada vez mais adaptados aos dispositivos eletrônicos e sedentas de material educacional tão atrativo quanto esta aplicação. Acredita-se que o aspecto motivador da introdução de uma nova tecnologia no ambiente de aprendizado contribuiu para os resultados apresentados nesta pesquisa. Pretende-se, como trabalho futuro, a avaliação da contribuição da aplicação para o processo pedagógico dos alunos, por meio do acompanhamento em sala de aula com o auxílio de um professor da área. Esta avaliação poderia ser executada a partir da separação aleatória dos alunos em dois grupos, sendo que um grupo teria aulas com o auxílio da aplicação e o outro grupo teria as mesmas aulas, porém sem o auxílio da aplicação. Após esta etapa, os dois grupos seriam avaliados quanto aos conhecimentos obtidos com as aulas. Por fim, com apoio de especialistas, seria feito um estudo para identificar se houve algum progresso nos alunos que utilizaram a aplicação como ferramenta de apoio durante as aulas.

Espera-se também avaliar a aplicação utilizando outras metodologias para avaliação voltadas para o público infantil. Pode-se citar o uso do MAQSEI - Metodologia de Avaliação de Qualidade de Software Educacional Infantil (Atayde et al., 2003), que propõe abranger o aspecto técnico e o pedagógico. O aspecto técnico é concentrado na avaliação da usabilidade e o aspecto pedagógico concentra-se na avaliação da conveniência e da viabilidade de utilização da aplicação em situações educacionais.

Uma limitação da aplicação é que a AR.js só oferece suporte para Realidade Aumentada com o auxílio de marcadores fiduciais, enquanto outras soluções não-web fornecem suporte a Realidade Aumentada com qualquer tipo de imagem, ou até mesmo sem nenhuma imagem (markerless). Apesar desses problemas, a biblioteca ainda cumpre as necessidades exigidas para a implementação da aplicação proposta. Para trabalhos futuros pretende-se também criar outros métodos de interação com os objetos virtuais, além de utilizar a geolocalização para visualizar os corpos celestes sem marcadores diretamente no espaço.

A combinação de interfaces inteligentes com Realidade Aumentada deverá ser objeto de estudo para as futuras aplicações. As interfaces desenvolvidas com essa combinação poderão se adaptar a diferentes tipos de usuários, fazendo com que os mesmos possam reorganizar os módulos apresentados na interface da forma que acharem mais agradável para o uso. A ideia desta abordagem é oferecer aplicações inteligentes capazes de reconhecer os objetivos e metas dos usuários. A inteligência das interfaces fará as aplicações se adaptarem aos usuários, tirar suas dúvidas, apresentar informações integradas e compreensíveis utilizando vários modos de visualização e comunicação.

5. Referências Bibliográficas

ANGELES, J. M., CALANDA, F. B., BAYON-ON, T. V. V., MORCO, R. C., AVESTRO, J., e CORPUZ, M. J. S. AR Plants. In Proceedings of the 2017 International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence - CSAI 2017. ACM Press. 2017.

ATAYDE, A. P. R.; TEIXEIRA, A. B. M.; PÁDUA, C. I. P. S. MAQSEI – uma Metodologia de Avaliação de Qualidade de Software Educacional Infantil. **XIV - Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - NCE - IM/UFRJ**, Rio de Janeiro, RJ; 2003.

AZUMA, R., BAILLOT, Y., BEHRINGER, R., FEINER, S., JULIER, S., and MACINTYRE, B. (2001). Recent advances in augmented reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, 21(6):34–47.

BECKER, S.A., CUMMINS, M., DAVIS, A., FREEMAN, A., HALL GIESINGER, C., e ANANTHANARAYANAN, V. (2017). **NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition**. Austin, Texas: The New Media Consortium. 2017.

CHATZOPOULOS, D., BERMEJO, C., HUANG, Z., and HUI, P. (2017). Mobile augmented reality survey: From where we are to where we go. **IEEE Access**, 5:6917–6950.

CHERNOFF, H. (1973). "The Use of Faces to Represent Points in k-Dimensional Space Graphically." **Journal of the American Statistical Association** 68(342): 361 - 368.

DE RAVÉ, E. G., JIMÉNEZ-HORNERO, F. J., ARIZA-VILLAVARDE, A. B., and TAGUAS-RUIZ, J. (2016). DiedricAR: a mobile augmented reality system designed for

- the ubiquitous descriptive geometry learning. **Multimedia Tools and Applications**, 75(16):9641–9663.
- DENARDIN, L., MANZANO, R. C. Desenvolvimento, utilização e avaliação da realidade aumentada em aulas de física. **RENOTE**, 15(2). 2017.
- ETIENNE, J. Ar.js: Efficient augmented reality for the web. Disponível em: <<https://github.com/jeromeetienne/AR.js>>. Acesso em 17 ago. 2018.
- GALVÃO, M.A. e ZORZAL, E.R. Aplicações móveis com realidade aumentada para potencializar livros. **RENOTE**, 10(1). 2012.
- HERPICH, F., NUNES, F. B., VOSS, G. B., SINDEAUX, P., TAROUÇO, L. M. R., DE LIMA, J. V. Realidade Aumentada em Geografia: uma atividade de orientação no ensino fundamental. **RENOTE**, 15(2). 2017.
- KADOSAWA M., MAKINO M. An AR-based support system for self-study of solar orbit. **2018 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)**, Honolulu, HI, 2018, pp. 1-4.
- KATO, H.; BILLINGHURST, M.; POUPYREV, I. **ARToolKit version 2.33 Manual**, Novembro. 2000.
- KELNER J. e TEICHRIEB, V. “Técnicas de interação para ambientes de realidade virtual e aumentada.” **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações**, p. 53, 2008.
- KIRNER, C. e KIRNER, T. G. Virtual reality and augmented reality applied to simulation visualization. In **Simulation and Modeling: Current Technologies and Applications**, pages 391–419. 2007.
- KIRNER, C. e ZORZAL, R. E. Aplicações educacionais em ambientes colaborativos com realidade aumentada. **XVI SBIE2005 - Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**. 2005.
- LAYAR**. Augmented Reality | Interactive Print. Disponível em: <www.layar.com/>. Acesso em 29 out. 2018.
- LIKERT, R. "A Technique for the Measurement of Attitudes". **Archives of Psychology** 140: 1.55. 1932.
- MACEDO, A. DE C., DA SILVA, J.A. e BURIOL, T.M., Usando Smartphone e Realidade aumentada para estudar Geometria espacial. **RENOTE**, 14(2). 2016.
- NEVE, B. G. B., MELO, R. S. O Universo no bolso: tecnologias móveis de apoio didático-pedagógico para o ensino da Astronomia. **RENOTE** 12 (1). 2014.
- TULLIS, T. S., STETSON, J. N. A Comparison of Questionnaires for Assessing Website Usability. **Usability Professionals' Association - UPA**, Minneapolis, Minnesota. 2004.
- WU, H.-K., Lee, S. W.-Y., CHANG, H.-Y., and Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. **Computers & Education**, 62:41 – 49.