

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

JOÃO HERCÍLIO ZUCCHI, BRUNO ROGÉRIO DA SILVA, LARSON KREMER
VICENTE E VICTOR AUGUSTO SCHRAMM PANCRACIO.

AR LAB: APLICATIVO DE REALIDADE AUMENTADA PARA
AUXILIAR NO APRENDIZADO DE QUÍMICA

GASPAR
2019

JOÃO HERCÍLIO ZUCCHI, BRUNO ROGÉRIO DA SILVA, LARSON KREMER
VICENTE E VICTOR AUGUSTO SCHRAMM PANCRACIO.

AR LAB: APLICATIVO DE REALIDADE AUMENTADA PARA
AUXILIAR NO APRENDIZADO DE QUÍMICA

Projeto Integrador apresentado ao
Curso Técnico Integrado em
Informática do Campus Gaspar do
Instituto Federal de Santa Catarina
como requisito parcial para
aprovação na unidade curricular
Projeto Integrador II.

Orientador: Leonardo Ronald Perin Rauta.
Coorientador: Watson Beck Junior.

GASPAR
2019

RESUMO

A tecnologia vem avançando e se tornando mais presente cada vez mais no nosso dia a dia, aumentando sua importância em vários setores, como na educação, onde ela provocou enormes mudanças, permitindo que os alunos leiam livros *online*, façam suas pesquisas na internet e até mesmo realizem trabalhos por computadores e *smartphones*. Uma das tecnologias que vem ganhando espaço nos últimos anos é a Realidade Aumentada, que permite inserir objetos virtuais em uma visualização do mundo real, utilizando, para isso, a câmera e a tela de um dispositivo. Esta forma de interação associada à educação pode aprimorar o ensino nas escolas, principalmente em matérias mais difíceis, como na Química. Com esse cenário em vista, o nosso projeto visa criar um aplicativo que auxilie os alunos de química durante sua aprendizagem, utilizando a técnica de Realidade Aumentada. O software criará um laboratório virtual onde será possível visualizar vidrarias em modelos 3D além de mostrar as finalidades de cada vidraria. Também será possível responder à perguntas envolvendo os instrumentos do laboratório como forma de estudo. Para o desenvolvimento desse projeto foi realizado um estudo sobre a Realidade Aumentada e como aplicá-la na visualização de objetos 3D, bem como, a estrutura de um laboratório de química e seus equipamentos. Além disso, foi realizado uma pesquisa abrangendo as ferramentas para a criação do aplicativo proposto, como um Kit de Desenvolvimento de Software que suporte a implementação de recursos de Realidade Aumentada, uma ferramenta de modelagem 3D e um programa de edição de imagens. Para realizar a validação, o aplicativo será testado por alunos do campus e por professores da área de química e informática. Por fim, é esperado que o aplicativo auxilie no aprendizado de química e que professores o utilizem como ferramenta didática.

Palavras-Chave: Realidade Aumentada; Aplicativo; Educação; Química.

Lista de Figuras

Figura 1: Contínuo de Realidade-Virtualidade.....	10
Figura 2: Jurassic Park.....	10
Figura 3: Exemplo de RA baseado em marcadores.....	11
Figura 4: Pokemon Go.....	12
Figura 5: Aplicativo de manipulação de projetos de arquitetura.....	13
Figura 6: Aplicativo de manutenção de motores.....	14
Figura 7: Figura 7: Óculos inteligente para RA.....	15
Figura 8: Aplicação médica para cirurgia dental.....	16
Figura 9: Unity Asset Store.....	18
Figura 10: Exemplo de aplicação que utiliza o AR ToolKit.....	19
Figura 11: Aplicação do Ground Plane.....	20
Figura 12: Image Target com alta classificação.....	21
Figura 13: Image Target com baixa classificação.....	21
Figura 14: Interface do Blender 2.8.....	22
Figura 15: Chemist.....	25
Figura 16: Vidraria.....	26
Figura 17: QuimicAR.....	27
Figura 18: Diagrama de <i>casos de uso</i> do AR Lab La.....	31
Figura 19: Diagrama de classes.....	32
Figura 20: Diagrama de sequência “Exibição” do AR Lab.....	35
Figura 21: Diagrama de sequência “Questionário” do AR Lab.....	36
Figura 22: À direita: professor dando uma explicação acerca das vidrarias com o AR Lab; À esquerda: aluna visualizando uma vidraria utilizando o software.....	37
Figura 23: Professor apresentando um frasco no laboratório.....	38
Figura 24: A aplicação apresenta as principais vidrarias de laboratório.....	39
Figura 25: O design das vidrarias é fiel ao modelo real.....	35
Figura 26: O aplicativo pode ser um substituto para uma aula sobre vidrarias em laboratório.....	40
Figura 27: O software pode auxiliar no estudo de uma prova sobre vidrarias.....	40
Figura 28: É possível aprender as funções de cada vidraria com o aplicativo.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Requisitos funcionais.....	30
Tabela 2: Requisitos Não Funcionais.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RA – Realidade Aumentada

RV – Realidade Virtual

3D - Três dimensões

INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas

SDK – Pacote de Desenvolvimento de Software

API – Interface de Programação de Aplicativos

UML – Linguagem de Modelagem Unificada

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

GPS – Sistema de Posicionamento Global

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 OBJETIVOS.....	7
1.1.1 Objetivo geral.....	7
1.1.2 Objetivos específicos.....	8
1.2 JUSTIFICATIVA.....	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1 A TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO.....	9
2.2 REALIDADE AUMENTADA.....	9
2.2.1 Aplicações da Realidade Aumentada.....	12
2.2.1.1 Publicidade.....	12
2.2.1.2 Treinamento.....	13
2.3 FERRAMENTAS.....	16
2.3.1 <i>Engines</i>	16
2.3.1.1 <i>Unity 3D</i>	17
2.3.2 SDK para Realidade Aumentada.....	18
2.3.1.2 AR ToolKit.....	18
2.3.1.3 Vuforia.....	19
2.3.2 Ferramenta de modelagem 3D.....	21
2.3.2.1 <i>Blender</i>	21
2.3.3 Ferramenta de Design Gráfico.....	22
2.3.3.1 <i>Corel Draw</i>	22
2.3.3.2 <i>Inkscape</i>	23
2.3.3.3 <i>Photoshop</i>	23
2.3.3.4 <i>Gimp</i>	24
2.4 TRABALHOS CORRELATOS.....	24
2.4.1 <i>Chemist</i>	24
2.4.2 <i>Vidraria</i>	25
2.4.3 Quimic AR.....	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA.....	28
3.3 MÉTODOS.....	29
3.3.1 Requisitos funcionais e não-funcionais.....	29

3.3.2 UML.....	30
3.3.2.1 Diagrama de casos de uso.....	31
3.3.2.2 Diagrama de classes.....	31
3.3.2.3 Diagramas de sequência.....	33
3.4 VALIDAÇÃO.....	34
3.4.1 Resultados.....	36
3.4.1.1 Qualitativa.....	36
4. CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS.....	42
APÊNDICE A - AR LAB: AUGMENTED REALITY APP FOR CHEMISTRY EDUCATION.....	47
APÊNDICE B -	48

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia tem tido grande avanço devido ao seu uso cada vez mais frequente no nosso dia a dia por meio de aparelhos como celulares, *tablets* e computadores. Tais instrumentos são amplamente utilizados pelos jovens, devido à gama de possibilidades oferecidas (TAVARES; SOUZA; CORREA, 2013).

Dentre as possibilidades, está a produção de conteúdo na área educativa, diminuindo os obstáculos para a obtenção de informação e facilitando sua disseminação. Portanto, nos dias de hoje é difícil elaborar um processo de ensino aprendizagem que não inclua recursos tecnológicos à prática educativa (VIEIRA; MEIRELLES; RODRIGUES, 201-).

O *smartphone*, é utilizado por 74% dos estudantes do ensino médio (TIC Educação, 2017), torna-se um meio acessível e adaptável para a criação de métodos de aprendizagem alternativos. Dentre essas estratégias é possível destacar a Realidade Aumentada (RA), tecnologia capaz de inserir objetos virtuais em uma visualização do mundo real utilizando a câmera de vídeo e a tela do dispositivo.

Uma das áreas do conhecimento em que as novas tecnologias estão sendo amplamente utilizadas é a química. De acordo com Lopes e Chavez (2018, p. 136), nota-se que:

[...] o ensino de química é muitas vezes resumido à memorização de fórmulas, nomenclaturas e cálculos matemáticos, ocasionando dessa forma a desvalorização dos aspectos conceituais do aprendizado químico por uma parcela significativa dos alunos.

Queiroz, Oliveira e Rezende (2015, p. 1) também explicam que “o processo de ensino apenas através de livros e conteúdos registrados no quadro-negro têm-se mostrado ineficiente por não conseguir assegurar a atenção dos alunos”.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um programa, voltado para estudantes, que os ajude a assimilar os equipamentos utilizados em um laboratório de química, e simular algumas das reações mais importantes.

1.1.2 Objetivos específicos

- Implementar os recursos de Realidade Aumentada;
- Utilizar a plataforma *Unity* para o desenvolvimento do aplicativo;
- Modelar os objetos usados em um laboratório de química utilizando o Blender;
- Permitir a visualização dos objetos em 3D;
- Criar um questionário sobre as funções das vidrarias;
- Avaliar a qualidade do produto final;

1.2 JUSTIFICATIVA

Diversos aplicativos já foram desenvolvidos com o intuito de auxiliar estudantes, porém poucos utilizam recursos como a Realidade Aumentada. A vantagem oferecida pela RA é, segundo Queiroz, Oliveira e Rezende (2015) “contribuir na construção do conhecimento através de [...] simulações interativas, permitindo visualização e contato com um material antes demonstrado apenas em figuras planas.” Daqui vem a importância da produção de mais material educativo utilizando dessa tecnologia.

Visto que, segundo dados do INEP (2019), 66% das escolas de ensino médio brasileiras não têm laboratório de ciências, o desenvolvimento de um aplicativo como o proposto possibilitará aos alunos o acesso ao material laboratorial virtualmente, de modo totalmente gratuito.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo serão abordados os principais conceitos propostos neste trabalho, iniciando com o uso da tecnologia no âmbito educacional e prosseguindo para a Realidade Aumentada e suas aplicações. Neste capítulo também serão apresentados os trabalhos correlatos à aplicação proposta.

2.1 A TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO

Especialmente nos últimos 25 anos, o mundo experimentou um rápido avanço tecnológico, processo esse que trouxe grandes impactos sobre como forjamos nossa realidade. Logo, sendo tão marcante, o desenvolvimento tecnológico não poderia deixar de influenciar um setor bastante relevante da nossa realidade: a Educação (RIBEIRO; GRECA, 2003).

Dessa forma, os *smartphones* destacam-se na área educacional por serem acessíveis para grande parte dos jovens (FONSECA, 2013). Podemos destacar além da versatilidade e acessibilidade, outras características que favorecem o uso dos dispositivos móveis (KUKULSKA-HULME et al, 2009), como:

- permanência: os documentos podem permanecer reproduzíveis em múltiplas plataformas;
- rapidez: pode-se obter qualquer informação de forma instantânea, a qualquer momento;
- interatividade: o utilizador mantém uma relação interativa e bijetora;
- facilidade de uso: o usuário consegue, na maioria das vezes, utilizá-los de modo fácil.

2.2 REALIDADE AUMENTADA

A Realidade Aumentada (RA) é uma vertente da Realidade Virtual (RV). Enquanto o propósito da RV é imergir o usuário completamente em um ambiente sintético, na RA, o objetivo é complementar a realidade, adicionando informações virtuais em conjunto com o mundo real. Ou seja, na Realidade Aumentada predominam os elementos do mundo real, mas a percepção do usuário é aumentada por dados virtuais (AZUMA, 1997).

A Figura 1 mostra o contínuo de realidade na computação, partindo do Ambiente Real e do Ambiente Virtual.

Figura 1: Contínuo de Realidade-Virtualidade



Fonte: MILGRAM et al., 1994

Azuma (1997) definiu componentes essenciais que um sistema deve ter para ser considerado de Realidade Aumentada, dentre elas a interatividade em tempo real. Dessa forma, apesar de filmes como *Jurassic Park* (Figura 2) trazerem uma combinação de elementos reais e virtuais, eles não podem ser incluídos na RA por não oferecer ao usuário nenhuma interação.

Figura 2: Jurassic Park



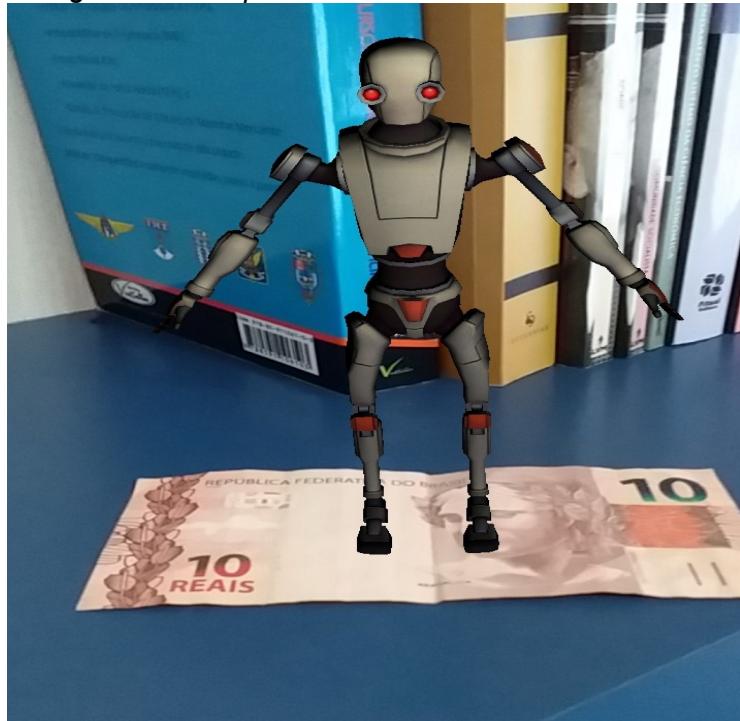
Fonte: O Globo, 2018

<<https://oglobo.globo.com/rioshow/jurassic-park-comemora-25-anos-com-sessoes-em-3d-22747933>>

Um sistema de interação de Realidade Aumentada consiste no reconhecimento, quando o *software* capta pontos de referência e, no rastreamento, quando a mídia desejada é sobreposta ao mundo real, digitalmente. Segundo Amin e Govilkar (2015) é possível dividir esse sistema em:

- Sistema de RA baseado em marcadores: A câmera reconhece pontos de referência físicos (imagens, corpos ou espaços) para que o dispositivo possa estimar a posição, orientação e movimento do objeto virtual. Na Figura 3 é apresentado um sistema de RA que utiliza os pontos de uma cédula de dez reais como marcador.

Figura 3: Exemplo de RA baseado em marcadores



Fonte: Próprios autores

- Sistema de RA sem marcadores: O sistema usa uma combinação de recursos para determinar a posição geográfica e a orientação do dispositivo e permitir que as informações sejam apresentadas de acordo com o programa proposto.

É popular em *smartphones* pois possuem recursos como compassos, acelerômetros e GPS.

Um dos exemplos mais bem-sucedidos de aplicativo de Realidade Aumentada sem marcadores é o jogo Pokémon Go (ver Figura 4). O jogo consiste em procurar no ambiente real por animais (pokémons) virtuais. Quando o usuário filma o mundo com a câmera de seu celular um pokémon pode aparecer e, neste caso, pode ser capturado. Desde seu lançamento, em 2016, o jogo já faturou 2,2 bilhões de dólares, podendo chegar aos 3 bilhões até o final de 2019 (SENSOR TOWER, 2019).

Figura 4: Pokemon Go



Fonte: Portal de Notícias G1, 2016
<<http://g1.globo.com/tecnologia/games/noticia/2016/07/pokemon-go-vira-sensacao-pelo-mundo-ao-juntar-varias-geracoes.html>>

2.2.1 Aplicações da Realidade Aumentada

2.2.1.1 Publicidade

A Realidade Aumentada é muito usada por empresas e lojas como forma de promover serviços e produtos. Em vez de construir protótipos caros e que estão

sujeitos a constantes mudanças, as companhias apostam cada vez mais em tecnologias como a RA para impulsionar produtos recém-lançados, evitando custos e complicações adicionais (CARMIGNIANI, 2010).

Um dos setores que explora amplamente a RA é o imobiliário. Algumas empresas desenvolvem aplicativos que permitem customizar interiores, alterando a mobília e a estrutura do ambiente, e ter a visualização do produto final (AUGMENT, 2015). A Figura 5 mostra um aplicativo de RA para arquitetura que permite visualizar os cômodos de uma residência a partir da planta baixa, que foi empregado como marcador na aplicação.

Figura 5: Aplicativo de manipulação de projetos de arquitetura



Fonte: Augment, 2015

<<https://www.augment.com/blog/key-benefits-augmented-reality-architecture-projects/>>

2.2.1.2 Treinamento

É de interesse das indústrias possuir técnicos capazes de realizar tarefas como manutenção e montagem. Porém, esse processo pode mostrar-se difícil por ser muito complexo ou por falta de experiência. Dado isso, vem a importância de sistemas de treinamento eficientes que acelerem a aquisição de novas habilidades.

Esse tipo de treinamento pode ser obtido da RA, que oferece ao técnico uma interação com objetos do mundo real com informação digital para guiá-lo (WEBEL et al, 2013). A Figura 6 mostra um aplicativo de manutenção de motores, que exibe informações importantes para o processo a ser realizado.

Para aprimorar a experiência do usuário com esse tipo de aplicativo, podem ser usados óculos inteligentes voltados para realidade aumentada, que tiram a necessidade de segurar um *smartphone* ou *tablet*, deixando o usuário com as mãos livres. Na Figura 7, está representado um óculos inteligente para RA.

Figura 6: Aplicativo de manutenção de motores



Fonte: QBIT TECHNOLOGIES, 2018
<https://www.qbittech.com/index.php/component/k2/item/53-augmented-reality-training>

Figura 7: Figura 7: Óculos inteligente para RA



Fonte: Epson, 2016

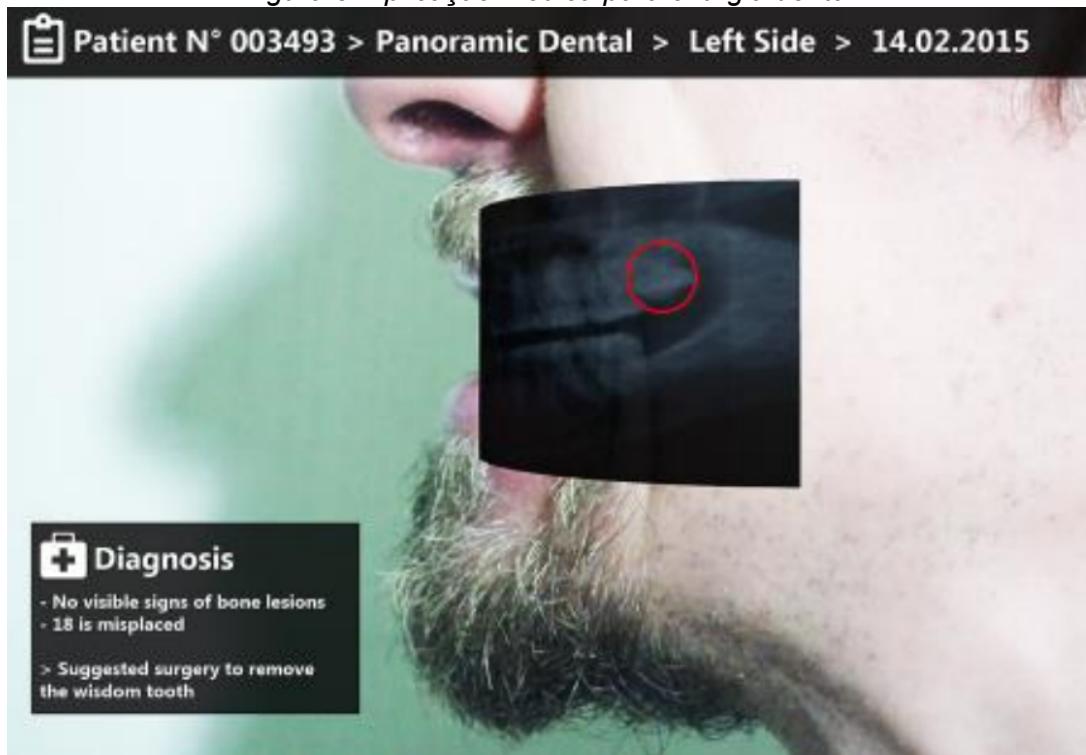
<<https://epson.com/For-Work/Wearables/Smart-Glasses/Moverio-BT-300-Smart-Glasses-%28AR-Developer-Edition%29-/p/V11H756020>>

2.2.1.3 Medicina

Uma das áreas da medicina em constante evolução é a Imagiologia médica, que “utiliza processos e técnicas para reproduzir imagens do corpo humano, a fim de auxiliar médicos no diagnóstico clínico” (AMBRA SAÚDE, 2017). Esse avanço trouxe uma grande quantidade de informações do paciente, como dados anatômicos e funcionais. Nesse ponto a RA pode entrar como aliada dos médicos, ajudando a realizar diagnósticos e até cirurgias. É importante ter em mente que muitas operações cirúrgicas requerem precisão milimétrica para reduzir riscos ao paciente, e, portanto, um sistema de RA usado para esse propósito precisa representar as informações digitais exatas (MANURI; SANNA, 2016).

A Figura 8 é um exemplo da aplicação da RA na cirurgia dentária que mostra o registro médico do paciente e sobrepõe a radiografia no rosto.

Figura 8: Aplicação médica para cirurgia dental



Fonte: MANURI; SANNA, 2016

2.3 FERRAMENTAS

É preciso estabelecer as tecnologias a serem utilizadas no processo de desenvolvimento. Será escolhido um motor gráfico, um Kit de Desenvolvimento de Software (SDK) que suporte a implementação de recursos de RA, uma ferramenta de modelagem 3D e um programa de edição de imagens.

2.3.1 Engines

As *engines* (motores gráficos) foram criadas com o propósito de facilitar o desenvolvimento de aplicações com renderização de gráficos em tempo real (como jogos). Ela une, em um único software, vários recursos como renderização de gráficos 2D e 3D, simulação da física e suporte a sons, animações, inteligência artificial, etc.

Antigamente, os desenvolvedores de jogos faziam seus próprios motores gráficos utilizando as APIs (*Application Programming Interface*). Uma API é um conjunto de bibliotecas que oferece ao programador funcionalidades para serem utilizadas no desenvolvimento de algum projeto. Porém, devido ao alto custo para a produção das *engines* por parte dos desenvolvedores de jogos, algumas empresas se especializaram na construção desse tipo de software que, desde então, vem sendo cada vez mais importante quando falamos em jogos digitais. Hoje *engines* como a Unity 3D, *CryEngine* e a *Unreal Engine* são bastante utilizadas (WARD, 2008).

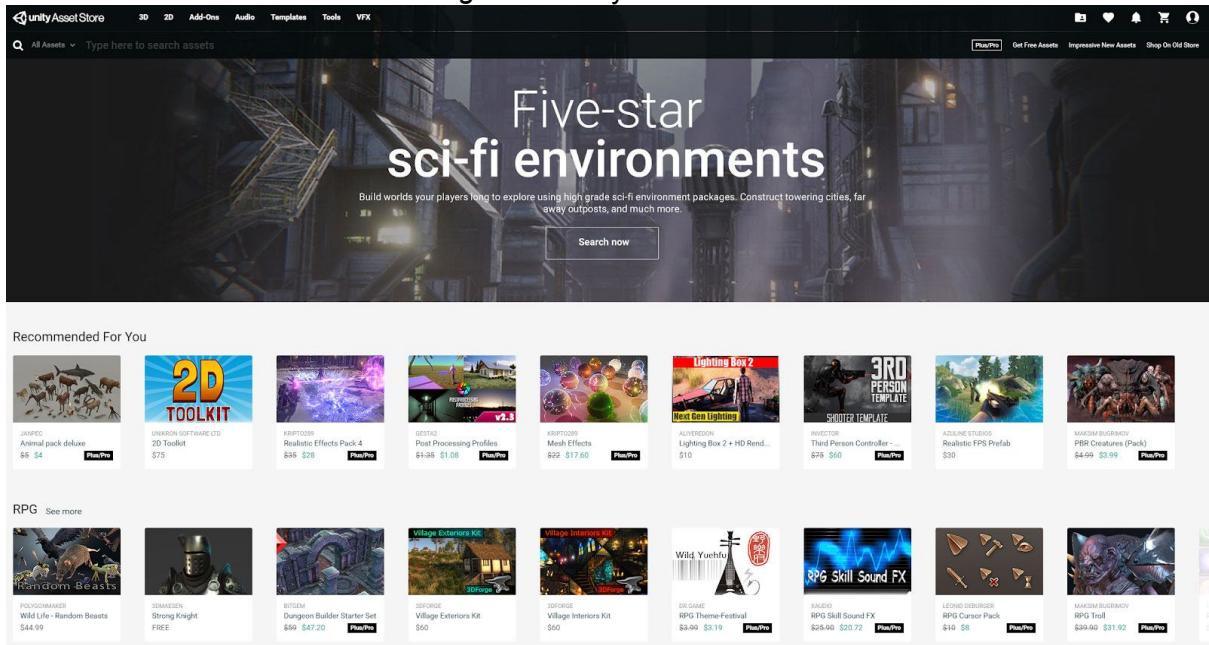
2.3.1.1 *Unity 3D*

O Unity 3D é um motor gráfico criado por David Helgason, Joachim Ante e Nicholas Francis e lançado inicialmente em 2006. Seu objetivo era tornar a indústria de jogos acessível para desenvolvedores amadores, sem deixar de ter os recursos de uma ferramenta profissional (HAAS, 2014).

As APIs oferecidas pelo Unity são: Direct3D, *OpenGL*, *OpenGL ES* e *WebGL*, possibilitando ao usuário criar aplicações para computadores *desktop*, dispositivos móveis e consoles (UNITY, 2019).

Um dos fatores que popularizou o Unity é a Unity *Asset Store*, a loja oficial da *engine*. Lá, o desenvolvedor pode usar elementos, como modelos 3D, texturas, sons e até scripts criados por outras pessoas, sendo eles gratuitos ou pagos. A Figura 9 mostra a aba principal da *Unity Asset Store*.

Figura 9: Unity Asset Store



Fonte: Unity, 2019

<<https://docs.unity3d.com/Manual/AssetStore.html>>

2.3.2 SDK para Realidade Aumentada

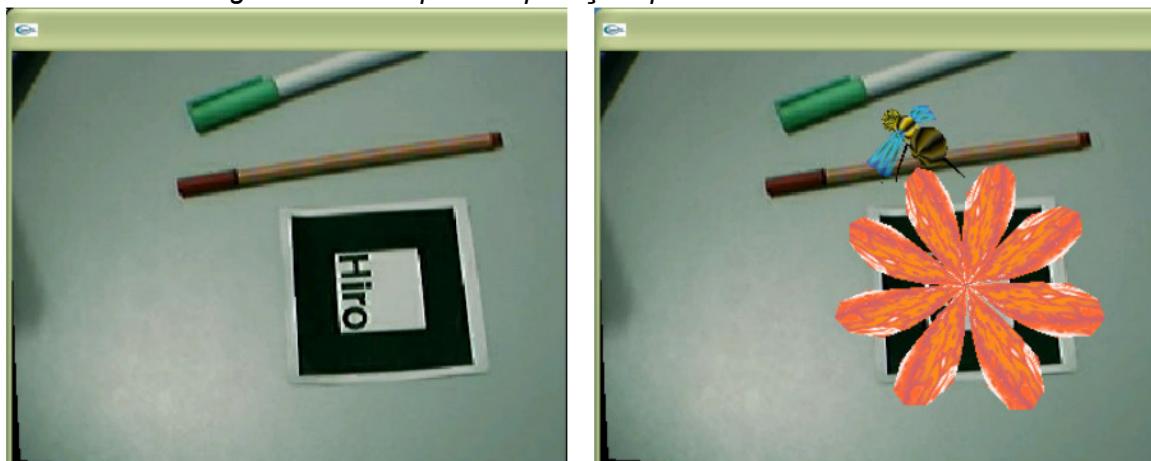
Para tornar o desenvolvimento de aplicações de RA mais simples foram criados SKDs. Esses kits de desenvolvimento oferecem ao programador ferramentas essenciais para o funcionamento da RA, como reconhecimento e rastreamento (AMIN; GOVILKAR, 2015).

2.3.1.2 AR ToolKit

O *AR ToolKit* é um SDK de Realidade Aumentada de código aberto desenvolvido pelo Dr. Hirokazu Kato em 1999 (ARTOOLKIT, 20--), que usa algoritmos para estimar a posição e a orientação do objeto virtual baseado em um marcador fiduciário. Ele também oferece uma ferramenta *online* para a criação de marcadores (AMIN; GOVILKAR, 2015). É amplamente utilizado por permitir o desenvolvimento de aplicações de RA com baixo custo computacional (LEPETIT; FUA, 2005).

Uma das desvantagens desse SDK é a ineficiência do cálculo da posição do objeto virtual, dependendo de como a câmera está posicionada, ou se o marcador está obstruído (ARTOOLKIT, 20--) (WANG, QIN, ZHANG, 2015). Porém, por ser distribuído livremente, os usuários são livres para ler, corrigir e adaptar os códigos disponíveis de acordo com suas necessidades (SANTIN; KIRNER, 2008). Já foram desenvolvidas ferramentas com o intuito de criar marcadores de alta qualidade, o que também ajuda na melhora do processo de *tracking* (rastreamento) (KHAN et al, 2018). A Figura 10 ilustra um exemplo de aplicação utilizando o *AR ToolKit*.

Figura 10: Exemplo de aplicação que utiliza o AR ToolKit.



Fonte: Cardoso; Lamounier, 2004

2.3.1.3 Vuforia

Desenvolvido pela Qualcomm e adquirido posteriormente pela PTC (PTC, 2015), o Vuforia é um SDK de RA e RV voltado para *smartphones* e outros tipos de dispositivos móveis (IBAÑEZ; FIGUERAS, 2013). Sua lógica de funcionamento é semelhante ao *AR Toolkit*, porém o Vuforia não precisa de uma imagem fiducial para realizar o *tracking*. Ele compara a imagem obtida pela câmera com um *target* que está em um banco de dados chamado *Target Manager* (SANTOS; DOURADO; BEZERRA, 2016).

O *Vuforia Target Manager* é um serviço online de criação de *targets*, onde o usuário pode escolher criar uma série de marcadores tais como: *image target*

(imagens planas), *cylinder targets* (formas cilíndricas e cônicas) e *model targets* (modelos 3D). O Vuforia também oferece o *Ground Plane*, que permite ao sistema identificar superfícies planas, como chãos e mesas, e sobrepor informações digitais sobre elas (VUFORIA ENGINE, 201-). A Figura 11 demonstra uma aplicação do *Ground Plane*.

Figura 11: Aplicação do Ground Plane

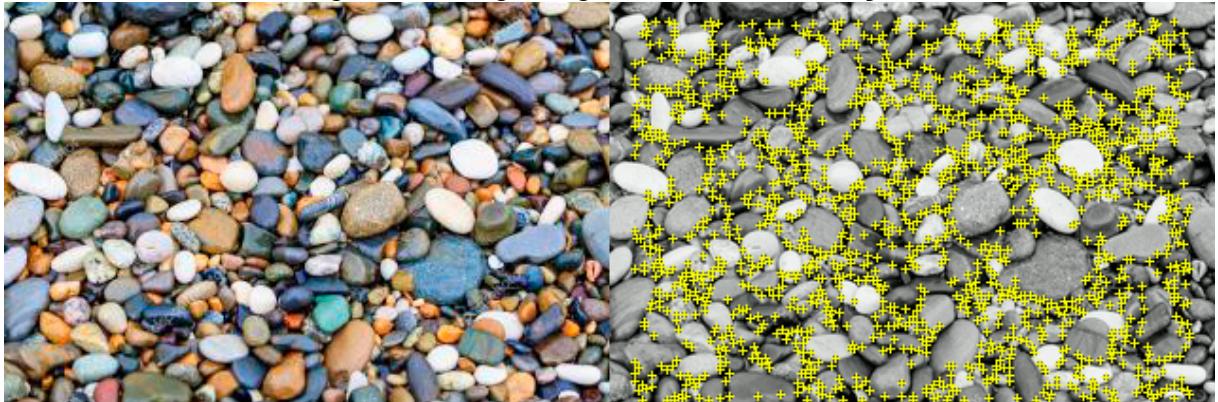


Fonte: Vuforia Developer Library
[<https://library.vuforia.com/articles/Training/ground-plane-guide.html>](https://library.vuforia.com/articles/Training/ground-plane-guide.html)

Para criar um *image target*, o usuário deve submeter uma imagem de formato png ou jpeg. Depois, o *Target Management System* classifica a imagem quanto a sua capacidade de ser detectada em uma escala de um a cinco estrelas. Os desenvolvedores recomendam uma classificação de pelo menos três estrelas para garantir um bom *tracking* (IBAÑEZ; FIGUERAS,2013).

Ao escolher imagens sem contraste ou com áreas transparentes, o sistema pode não funcionar corretamente. Por isso, é importante selecionar imagens com traços distintos e que distribuídos por toda a imagem (IBAÑEZ; FIGUERAS,2013). As Figuras 12 e 13 mostram, respectivamente, um exemplo de *image target* com alta classificação e outra com baixa classificação. As características que serão reconhecidas pelo sistema estão representadas como cruzes amarelas.

Figura 12: Image Target com alta classificação



Fonte: Próprios autores

Figura 13: Image Target com baixa classificação



Fonte: Próprios autores

2.3.2 Ferramenta de modelagem 3D

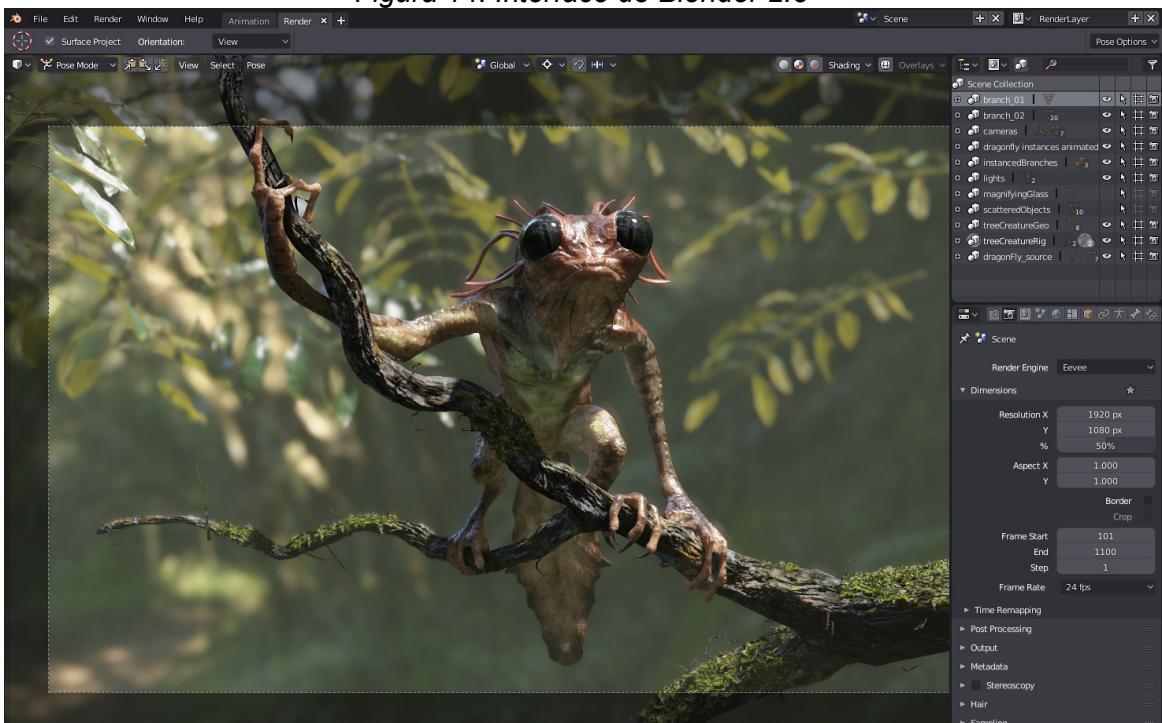
Ferramentas de modelagem 3D são usadas para manipulação de pontos no espaço virtual (vértices) para representar qualquer superfície ou objeto (PETTY, 201-). São empregadas em várias áreas como engenharia, arquitetura, filmes e desenvolvimento de jogos (SLICK, 2018).

2.3.2.1 *Blender*

Blender é uma ferramenta de modelagem 3D desenvolvida originalmente por Ton Roosendaal em 1998. É amplamente utilizado por estúdios independentes por ser gratuito e de código aberto, possibilitando aos programadores manipular o

código de acordo com suas necessidades. O *Blender* oferece diversas funcionalidades como modelagem, manipulação, animação, renderização e rastreamento de objetos 3D (*BLENDER*, 201-). A Figura 14 mostra a interface do *Blender*.

Figura 14: Interface do Blender 2.8



Fonte: *Blender*, 2019

<<https://www.blender.org/2-8/>>

2.3.3 Ferramenta de Design Gráfico

São ferramentas necessárias para a criação de rótulos e metragens das vidrarias e de outros componentes visuais do aplicativo, como botões.

2.3.3.1 Corel Draw

Lançado primeiramente em 1989, o *Corel Draw* é um programa de edição vetorial usado para ilustração vetorial e edição de textos, fotos e desenhos. É um aplicativo com baixo custo computacional e que permite criar projetos a nível

profissional. Está disponível para as plataformas *Windows* e *Mac* (CARVALHO, 2015).

Possui uma interface de simples e intuitiva de usar, o que atrai muitos designers, mesmo sendo um *software* pago. Além disso, o Corel é ideal para trabalhar com imagens no formato JPEG como nenhum outro programa (IPED, 2015).

2.3.3.2 *Inkscape*

O *Inkscape* é um editor de gráficos vetoriais de código aberto e gratuito, de qualidade profissional, disponível para *Windows*, *Mac OS X* e *GNU/Linux*. O grande diferencial do *Inkscape* a outros programas de edição vetorial é a utilização do SVG (*Scalable Vector Graphics*), um *standard W3C* baseado no *standard XML* como formato nativo. Foi pensado para ser modificável, permitindo aos usuários instalar extensões para personalizar suas funcionalidades. Com ele, é possível exportar para o formato PNG e importar arquivos com formatos *bitmap* e vetoriais, como TIFF, GIF, JPG, AI, PDF, PS, etc. Possui uma grande e crescente comunidade, o que fornece a usuários iniciantes um bom suporte (INKSCAPE, 2017).

2.3.3.3 *Photoshop*

O *Photoshop* foi desenvolvido em 1987, por Thomas Knoll e John Knoll, e é um *software* pago desenvolvido para edição de imagens do tipo *bitmap* pela Adobe Systems. É considerado o líder no mercado dos editores de imagem profissionais. Possui diversas ferramentas e *plug-ins* para uma edição avançada, como criação de gráficos, redimensionamento de fotos, alteração de cores, combinação de imagens utilizando camadas, filtros e remoção de partes indesejadas diversos espaços de cor como sRGB, RGB, Lab e CMYK. Suas opções de formatos são: PSD, GIF, JPG, PNG e TIF (OFICINA DA NET, 2008).

2.3.3.4 Gimp

O GIMP é um programa de código aberto voltado para criação e edição de imagens *bitmap*, criado em 1995 por Spencer Kimball e Peter Mattis como uma alternativa livre ao *Adobe Photoshop*. Possui uma interface simples e intuitiva que possui cerca de 40 ferramentas que possibilitam a criação de gráficos, logotipos, redimensionamento de fotos, alteração de cores, combinação de imagens utilizando camadas, remoção de partes indesejadas e conversão de arquivos entre diferentes formatos de imagem digital, sendo eles XCF que é o original do próprio aplicativo e outros como GIF, JPG, PNG e TIF (GIMP, 2007).

2.4 TRABALHOS CORRELATOS

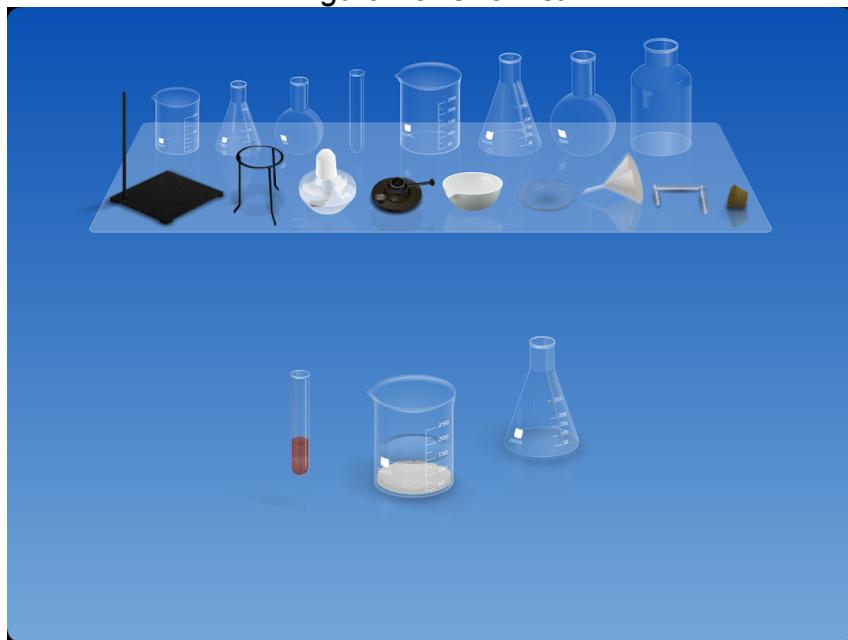
Nesta seção serão apresentados os trabalhos relacionados à este projeto.

2.4.1 *Chemist*

O aplicativo da Figura 15 simula um laboratório químico virtualmente, o aplicativo é pago, está disponível apenas para aparelhos *Android*. *Chemist* utiliza modelos 3D permitindo realizar experiências químicas e observar suas reações, utilizando diversos instrumentos e reagentes diferentes. Porém oferece compras dentro do próprio aplicativo o que acaba tornando-o limitado.

Para utilizar este aplicativo é necessário ter um conhecimento prévio de química, ele oferece tanto as vidrarias quanto os elementos, entretanto, não há um guia ou roteiro de como utilizá-los.

Figura 15: Chemist



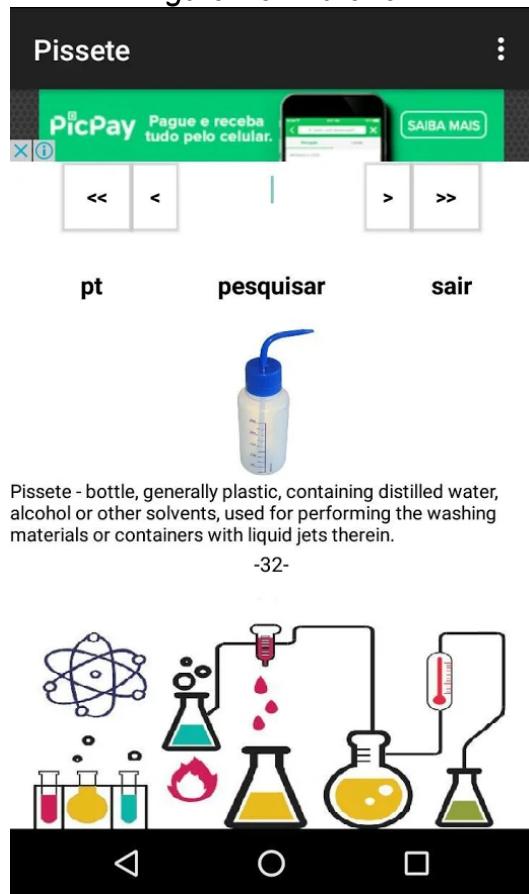
Fonte: Google Play Store

<https://play.google.com/store/apps/details?id=air.thix.sciencesense.chemist&hl=pt_BR>

2.4.2 Vidraria

O aplicativo da Figura 16, lançado em maio de 2017, com finalidade educacional e gratuito, oferece imagens e um texto sobre as vidrarias mais utilizadas nos laboratórios de química. No texto é possível encontrar como e quando cada uma delas deve ser utilizada. Entretanto este aplicativo ainda é muito limitado, pois demonstra apenas imagens e textos das vidrarias, o usuário apenas passa as imagens, a interface não possui boa usabilidade, o que acaba dificultando o uso do aplicativo, contém anúncios e é disponível apenas para aparelhos Android.

Figura 16: Vídraria



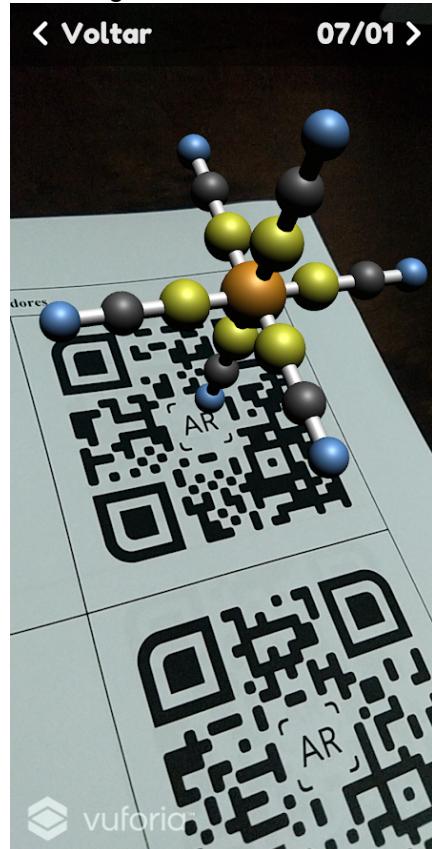
Fonte: Google Play Store, [20--], não paginado.

<https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_fisicaemtablets.glassware>

2.4.3 Quimic AR

O aplicativo da Figura 17 é semelhante ao projeto proposto, com finalidade educacional, apenas para aparelhos Android, feito no Unity e utilizando o Vuforia. Oferece uma apostila com sete roteiros de aulas práticas básicas de química, nestes roteiros é disponibilizado o passo a passo da aula prática junto com um marcador, que é utilizado para a visualização das estruturas moleculares e vidrarias pelo aplicativo. Também oferece um modo para pessoas com daltonismo.

Figura 17: QuimicAR



Fonte: Silva (2019)
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Scota.QuimicAR>

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção será explicado as etapas do estudo realizado, dando ênfase aos dados coletados, o modo como foram coletados, os instrumentos utilizados e a maneira como foram analisados.

3.1 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA

Esta proposta visa um aplicativo que auxilie no aprendizado de química aos alunos de escolas sem laboratório de química a conhecerem as principais vidrarias e suas finalidades em um laboratório de química, utilizando a tecnologia de Realidade Aumentada (RA) na qual o modelo de vidraria estará visível em 3D.

3.2 MATERIAIS

Como motor gráfico, será utilizado o Unity 3D por ser gratuito e relevante na comunidade de jogos e aplicativos para smartphones. Além disso, os autores já possuem experiência nessa engine por conta das aulas de Programação para Jogos, o que é um fator importante.

Para implementar a RA no aplicativo, será usado o Vuforia SDK. Ele oferece uma API em C++ através de uma extensão para o Unity 3D, o que permite facilmente implementar os recursos de RA para sistemas Android, que é um dos objetivos do projeto (IBAÑEZ; FIGUERAS,2013). Além disso, o Vuforia está em constantes atualizações e possui uma grande comunidade de usuários, o que garante um bom suporte aos problemas encontrados durante o desenvolvimento do aplicativo.

O Blender 3D será a ferramenta de modelagem 3D escolhida pois é totalmente gratuito e possui as ferramentas necessárias para a modelagem das

vidrarias. Além disso, o Blender possui uma excelente usabilidade, o que facilita o aprendizado dos autores.

Como o IFSC Câmpus Gaspar disponibiliza softwares pagos de design gráfico, como o Adobe Photoshop e o Corel Draw, estes serão utilizados para a criação de elementos gráficos da interface do aplicativo e para a criação dos rótulos das vidrarias pois oferecem vantagem quanto à menor curva de aprendizado, em comparação com as alternativas gratuitas

3.3 MÉTODOS

A análise de requisitos consiste na coleta de todos os requisitos para o software que será desenvolvido. Com ela é possível construir uma compreensão sobre o funcionamento dos processos e dos dados manipulados, que é fundamental para um projeto de software bem sucedido (TONSIG,2008).

De acordo com Sommerville (2011, p. 57), os requisitos de um sistema podem ser definidos como:

[...] as descrições do que o sistema deve fazer, os serviços que oferece e as restrições a seu funcionamento. Esses requisitos refletem as necessidades dos clientes para um sistema que serve a uma finalidade determinada, como controlar um dispositivo, colocar um pedido ou encontrar informações.

Dentro da análise de requisitos existem duas abordagens a serem consideradas: os requisitos funcionais e os não-funcionais.

3.3.1 Requisitos funcionais e não-funcionais

Os requisitos funcionais de um sistema referem-se aos serviços que o sistema deve fornecer e como o sistema deve reagir a entradas e situações específicas. Resumidamente os requisitos funcionais descrevem o que o sistema deve fazer (SOMMERVILLE, 2011).

Na Tabela 1 são listados os requisitos funcionais do software deste projeto.

Tabela 1: Requisitos funcionais

Requisitos Funcionais
RF01 — Permitir a visualização da interface do menu principal
RF02 — Permitir o uso da câmera do aparelho
RF03 — Associar o marcador físico com o objeto virtual
RF04 — Permitir a visualização em 3D das principais vidrarias de laboratório
RF05 — Exibir a explicação da aplicação de cada recipiente
RF06 — Possuir perguntas sobre a aplicação de cada vidraria

Fonte: Próprios autores

Já os requisitos não-funcionais não estão diretamente ligados aos serviços oferecidos pelo sistema. Eles definem restrições às funções do *software*, ou seja, os requisitos não-funcionais estabelecem as limitações sobre a implementação do sistema (SOMMERVILLE, 2011).

Na Tabela 2 são listados os requisitos não-funcionais do software deste projeto.

Tabela 2: Requisitos Não Funcionais

Requisitos Não Funcionais
RF01 — Ser desenvolvido para plataforma Android
RF02 — Ser totalmente em Português Brasileiro
RF03 — Reproduzir arquivos multimídia
RF04 — Possuir interface de fácil utilização

Fonte: Próprios autores

3.3.2 UML

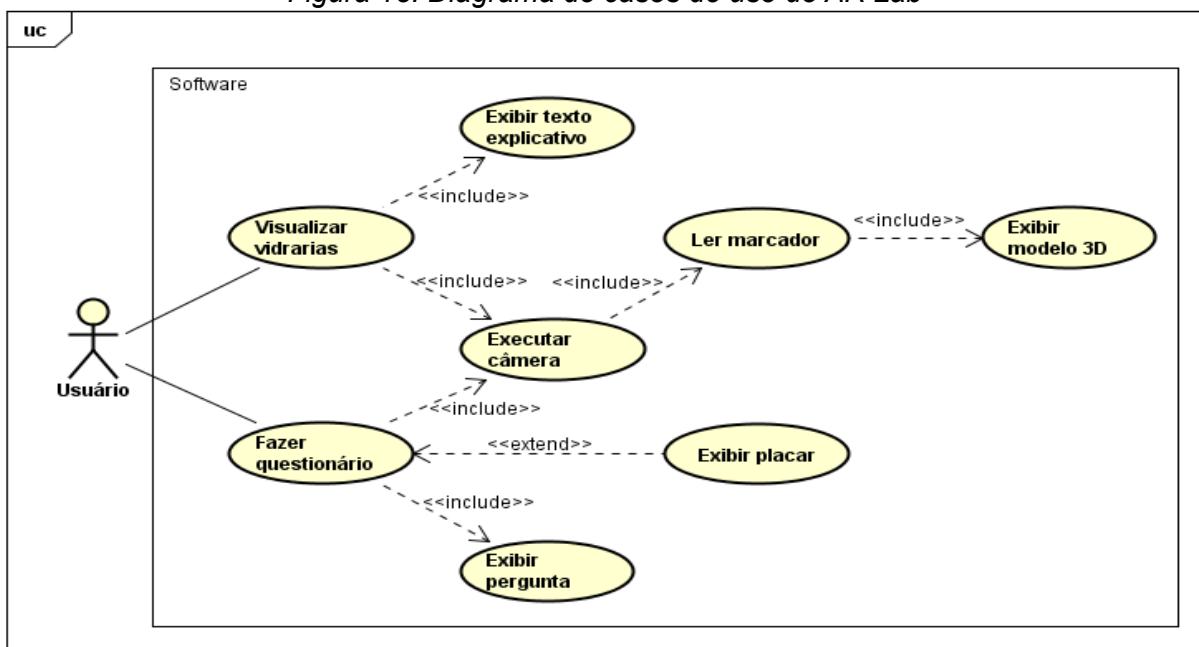
A Linguagem de Modelagem Unificada (UML) foi criada por Garby Booch, Ivar Jacobson e James Rumbaugh. A UML tem como objetivo ser uma linguagem visual que permite a modelagem de sistemas orientados a objetos. Ela possui elementos gráficos que permitem construir diagramas que representam visões diferentes de um sistema (BEZERRA, 2007). Cada um desses diagramas possui uma perspectiva sobre o sistema. A seguir serão apresentados o diagrama de casos de uso (Figura

18), diagrama de classes (Figura 19) e os diagramas de sequência (Figuras 20, 21, 22 e 23) para melhor entendimento do projeto.

3.3.2.1 Diagrama de casos de uso

Este diagrama documenta todos os casos de uso presentes no sistema. Os casos de uso são interações que ocorrem entre os atores e o sistema que são descritas nos requisitos do sistema. Os atores, que podem ser usuários ou outros sistemas, são representados como bonecos-palito, já as interações são representadas por elipses. As linhas fazem a ligação entre os atores e a interação (SOMMERVILLE, 2011).

Figura 18: Diagrama de casos de uso do AR Lab



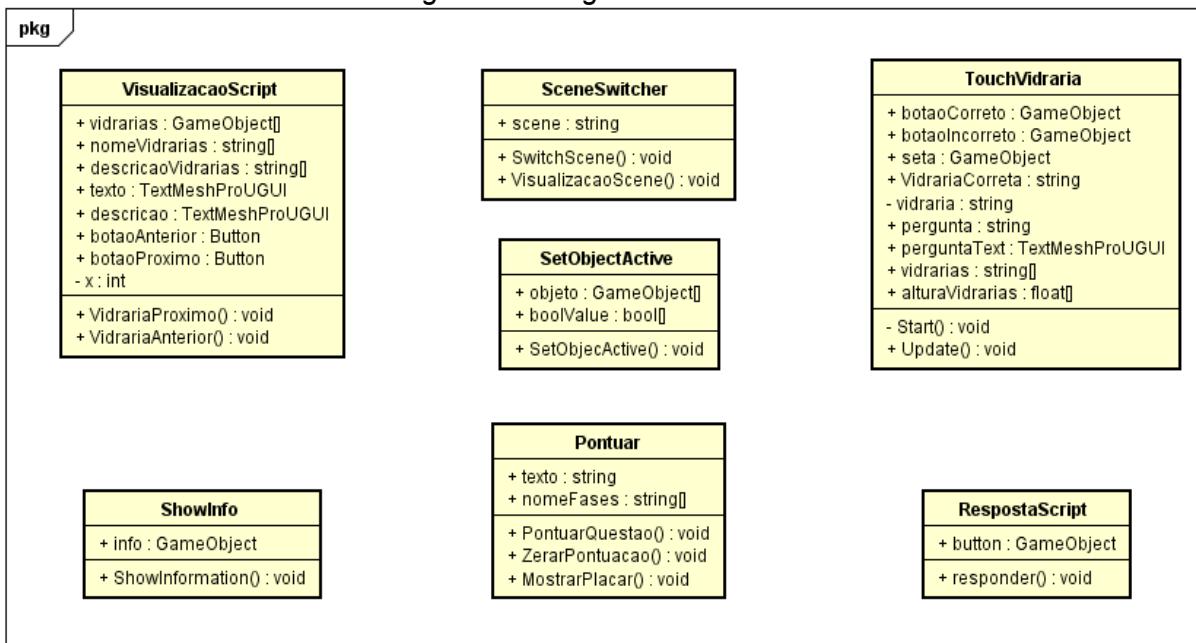
Fonte: Próprios autores

3.3.2.2 Diagrama de classes

Os diagramas de classe são utilizados durante o desenvolvimento de um sistema para mostrar suas classes e suas associações. Uma classe descreve características de um tipo de objeto do sistema. Uma associação é uma relação entre classes que indica alguma conexão (SOMMERVILLE, 2011).

Sommerville (2011, p. 513) define o diagrama de classes como: “Um tipo de diagrama UML mostra as classes de objetos em um sistema e seus relacionamentos”.

Figura 19: Diagrama de classes



Fonte: Próprios autores

Este diagrama apresenta todas as classes e objetos do nosso projeto, porém devido à natureza do Unity, no qual foi desenvolvido o AR Lab, elas não tem nenhum tipo de relacionamento ou cardinalidade.

A classe “SetObjectActive” ativa os objetos na tela, como os botões e a “SceneSwitcher” ativa a tela que o usuário escolheu. Se o usuário selecionar o botão de visualizar vidrarias a classe “VisualizacaoScript” mostrará as vidrarias, suas descrições e os botões de avançar e voltar. Mas se o usuário selecionar o botão de realizar questionário a classe “TouchVidraria” mostrará as vidrarias que você pode escolher para responder o questionário, a “ShowInfo” mostrará as perguntas, a “RespostaScript” exibe o botão de resposta e a classe “Pontuar” contabiliza as questões que foram respondidas corretamente e as erradas, mostrando o placar ao final.

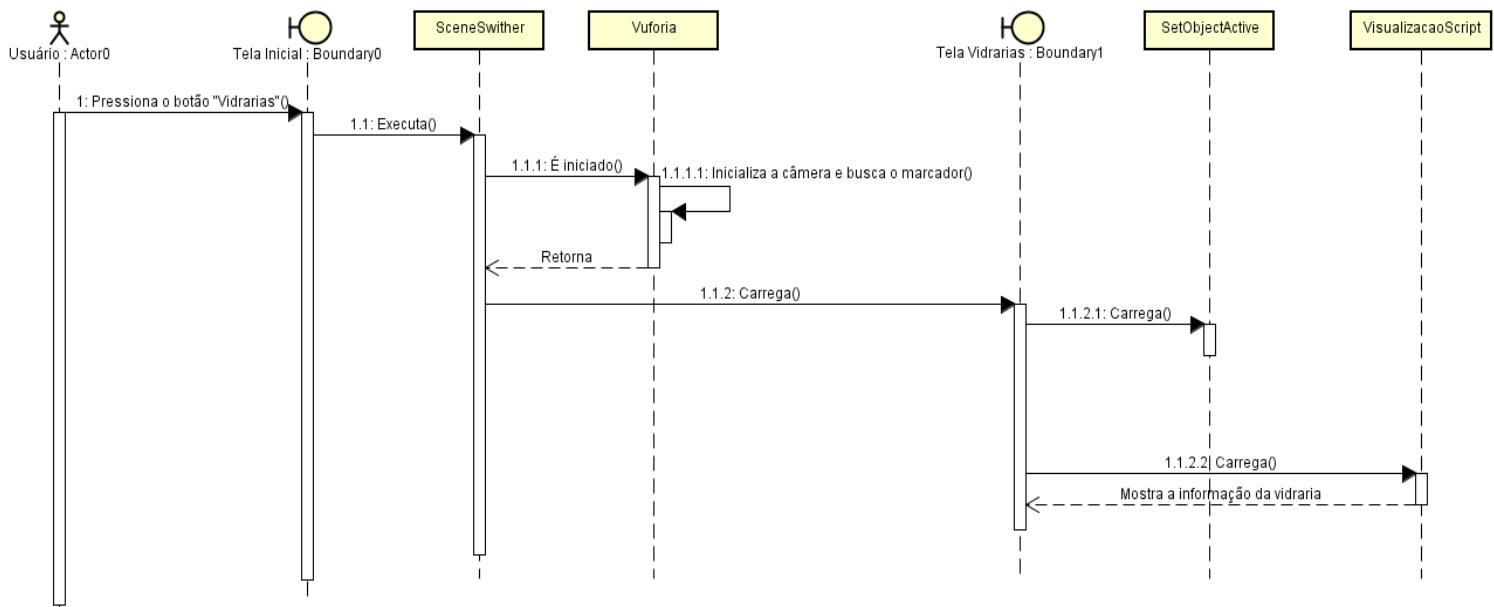
3.3.2.3 Diagramas de sequência

A UML possui uma ampla estrutura para a modelagem de diagramas de sequência, além disso esse diagrama mostra a sequência de interações que ocorrem durante um caso de uso em particular, ou seja, em uma funcionalidade do sistema (SOMMERVILLE, 2011).

Segundo Sommerville (2011, p. 514) o diagrama de sequência em UML pode ser definido como: “diagrama que mostra a sequência de interações requeridas para completar alguma operação. Em UML, diagramas de sequência podem estar associados com casos de uso”.

Fonte: Próprios autores

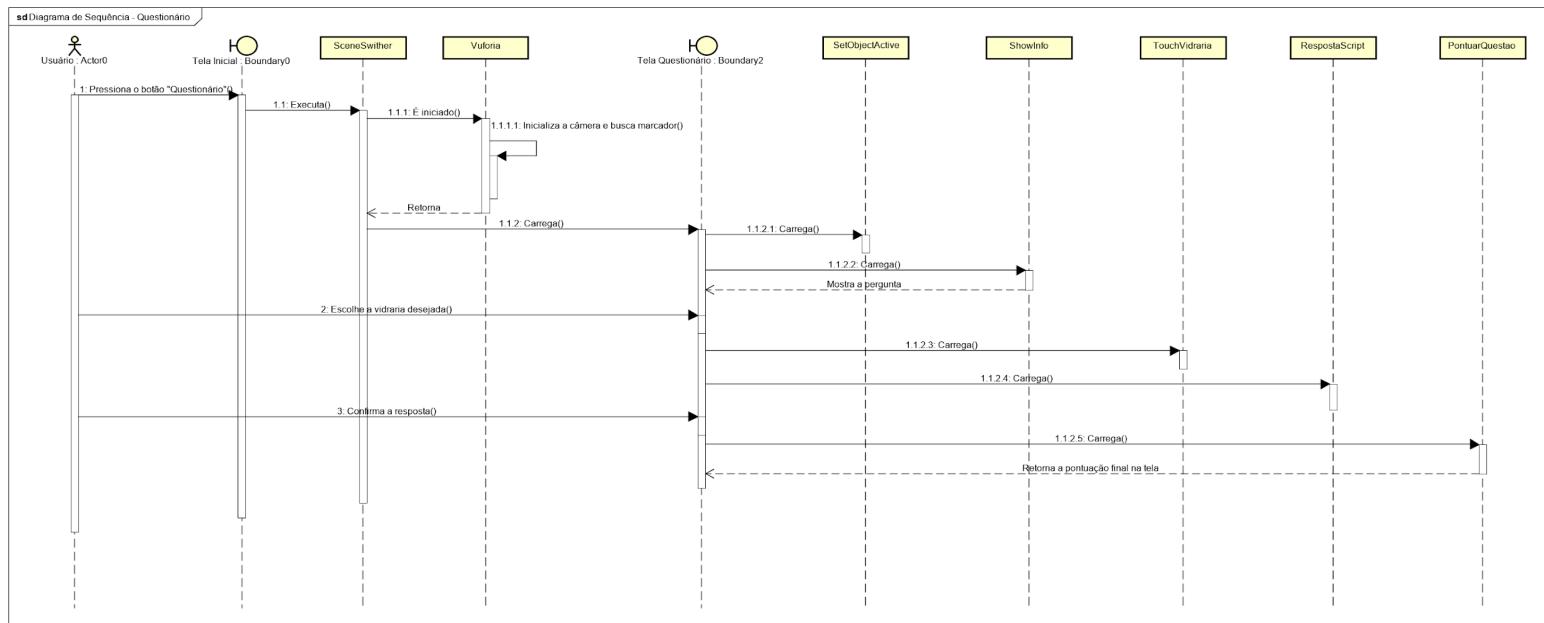
Figura 20: Diagrama de sequência “Exibição” do AR Lab



Fonte: Próprios autores

O diagrama acima apresenta a sequência de eventos necessários para a visualização das vidrarias. O usuário deve selecionar esta opção no menu principal, em seguida, o script “SceneSwitcher” substitui a tela atual pela tela das vidrarias. Logo após, o Vuforia se encarrega de identificar o marcador e por último, os scripts para a visualização e troca das vidrarias na tela são carregados.

Figura 21: Diagrama de sequência “Questionário” do AR Lab



Fonte: Próprios autores

O diagrama acima segue o mesmo padrão do anterior, porém os scripts relacionados às vidrarias diferem. “SetObjectActive” continua presente, mas agora o script “ShowInfo” mostra as perguntas na tela, “TouchVidraria” permitirá que o usuário selecione a vidraria desejada, o “RespostaScript” vai habilitar o botão de resposta e o “PontuarQuestão” contabilizará os acertos e erros, mostrando o resultado final na tela após o término das questões.

3.4 VALIDAÇÃO

A validação do aplicativo foi feita com alunos do IFSC Campus Gaspar, dos cursos de Química e Informática, da primeira e segunda fase. Por conta de estarem aprendendo sobre vidrarias e não terem um contato frequente com laboratórios.

Um total de 80 alunos participaram desta etapa, 43 do curso de informática e 37 de química. Todos possuíam smartphones, porém alguns tiveram que pedir emprestado para outros colegas pelo fato do aplicativo estar disponível apenas para o sistema Android.

Aqueles que concordaram participar foram divididos aleatoriamente em dois grupos, A e B. Aqueles no grupo A tiveram instruções sobre o aplicativo em uma sala, enquanto aqueles no grupo B foram ao laboratório de química.

Figura 22: À direita: professor dando uma explicação acerca das vidrarias com o AR Lab; À esquerda: aluna visualizando uma vidraria utilizando o software



Fonte: Próprios autores

Figura 23: Professor apresentando um frasco no laboratório



Fonte: Próprios autores

Após as aulas, foram aplicados testes para ambos os grupos. O mesmo possuía dez questões de múltipla escolha, cada uma valendo um ponto. Depois desta avaliação os grupos foram trocados, o grupo A foi ao laboratório e o grupo B teve acesso ao aplicativo.

Finalmente, depois da etapa de provas, todos os estudantes responderam um questionário sobre como foi a experiência utilizando o software. Cada item do mesmo apresentava uma proposição que o aluno deveria avaliar entre 1 (discordo totalmente) e 5 (concordo totalmente).

3.4.1 Resultados

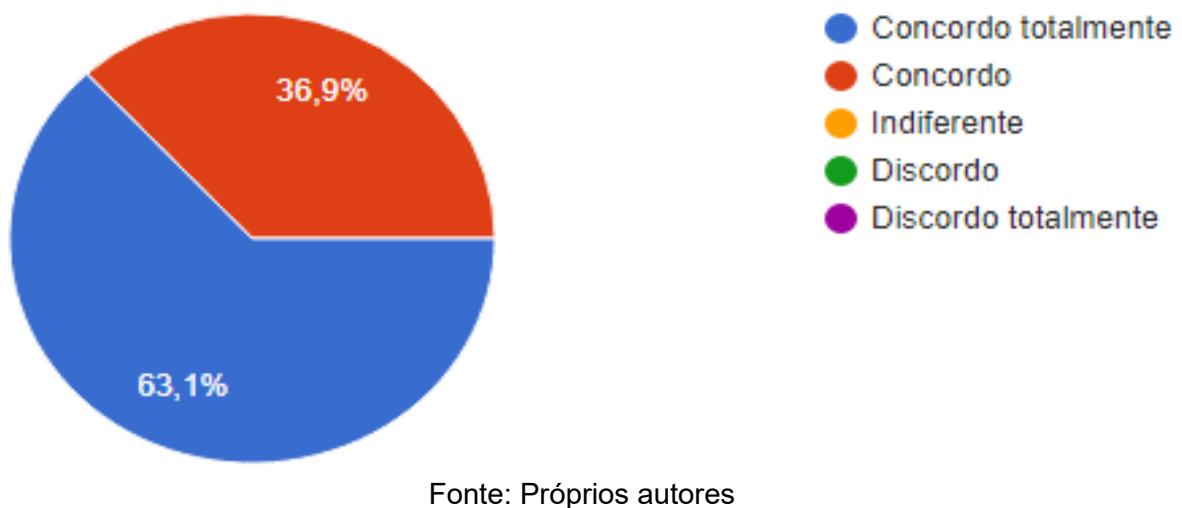
Uma análise estatística foi aplicada aos resultados obtidos pelos alunos nos exames, seguido de uma revisão qualitativa baseada na percepção do AR Lab. Esta última foi coletada com o questionário, ao fim do experimento.

Ambos os grupos tiveram médias quase idênticas de 8 pontos em 10 questões. Ainda assim, as notas foram processadas para diferença estatística das médias do grupo A (AR Lab) e B (Controle). Já que as médias foram 8 (para o grupo A) e 7.98 (para o grupo B), isso indica que ambos os métodos proveram um resultado similar no exame.

3.4.1.1 Qualitativa

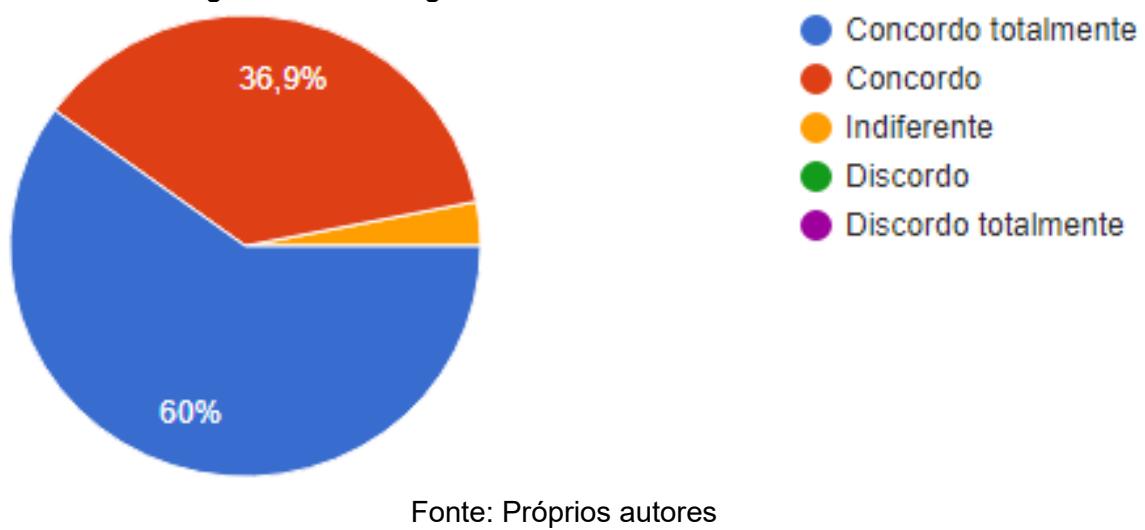
A percepção dos usuários foi majoritariamente favorável ao aplicativo. Os usuários reconheceram a fidelidade da biblioteca de vidrarias com 63% concordando totalmente que AR Lab possui as principais vidrarias de laboratório (Figura 24) e cerca de 60% reconheceram o realismo das vidrarias mostradas no aplicativo (Figura 25).

Figura 24: A aplicação apresenta as principais vidrarias de laboratório.



Fonte: Próprios autores

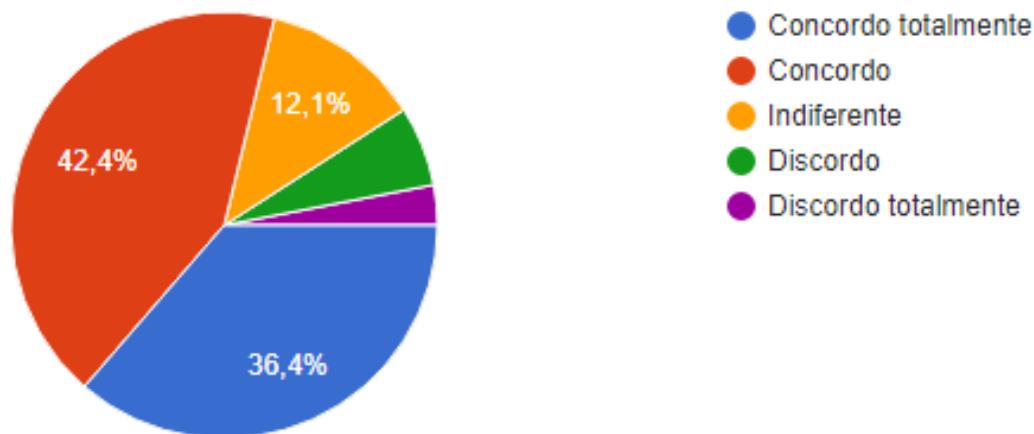
Figura 25: O design das vidrarias é fiel ao modelo real.



Fonte: Próprios autores

Sobre o aplicativo ser um possível substituto de uma aula em laboratório, 42% dos alunos concordaram que ele poderia ser usado e 36% dos alunos concordaram totalmente (Figura 26). Contrapondo isto, menos de 10% dos alunos relataram alguma preocupação como uso do software como substituto e 4% discordaram totalmente.

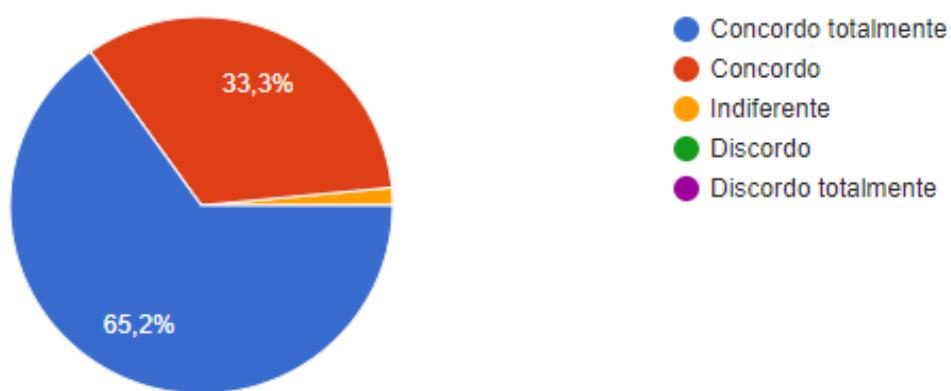
Figura 26: O aplicativo pode ser um substituto para uma aula sobre vidrarias em laboratório.



Fonte: Próprios autores

Quase todos os usuários (65% concordaram fortemente e 33% concordaram) declaram que a aplicação poderia ser usada como ferramenta de estudos para uma prova sobre vidrarias, como mostrado na figura 27.

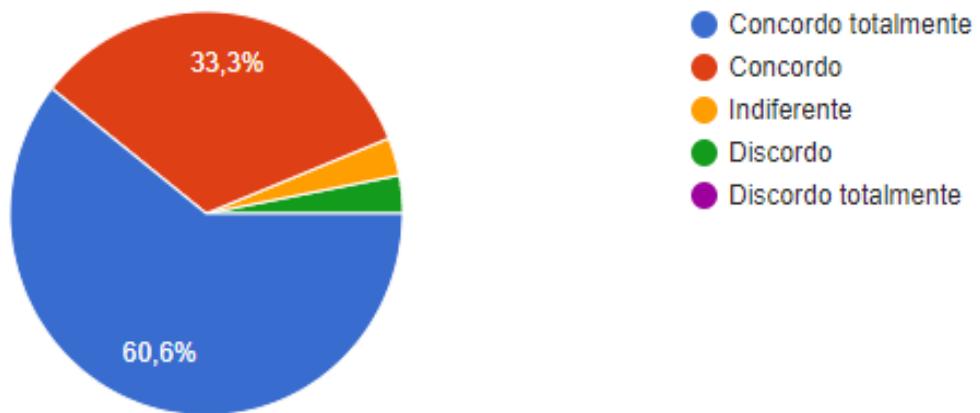
Figura 27: O software pode auxiliar no estudo de uma prova sobre vidrarias.



Fonte: Próprios autores

Cerca de 60% dos estudantes concordaram totalmente que é possível aprender as funções de cada vidraria ao utilizar o aplicativo e 33% concordam, como é mostrado abaixo.

Figura 28: É possível aprender as funções de cada vidraria com o aplicativo.



Fonte: Próprios autores

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, propusemos uma nova ferramenta para o aprendizado de vidrarias de laboratório, apresentando um aplicativo de Realidade Aumentada, desenvolvido para dispositivos Android. O aplicativo apresenta a descrição de um conjunto abrangente de vidrarias, comumente usados em laboratório. Há também um modo de revisão em que os usuários podem testar seus conhecimentos sobre o assunto.

Inicialmente, durante o planejamento do programa tínhamos a intenção de inserir a possibilidade de realizar experimentos químicos utilizando as vidrarias por meio da Realidade Aumentada. Entretanto ao decorrer do desenvolvimento do software, isso se mostrou inviável devido ao tempo disponível para finalizar o aplicativo, implementar este recurso ocasionaria o não cumprimento do prazo limite de entrega.

Para analisar se o AR Lab poderia ser um substituto para uma aula regular no laboratório, foi realizado um experimento com os alunos do IFSC, de ambos os cursos. Os resultados evidenciaram certo potencial para ser utilizado como substituto, especialmente para escolas sem laboratórios de química, ou mesmo como ferramenta de apoio no ensino.

As respostas qualitativas sobre o AR Lab foram muito positivas. A maioria dos estudantes considerou o aplicativo um substituto viável para aulas de vidraria de laboratório e como forma de estudo.

Além disso, a análise estatística não mostrou diferença significativa entre as médias das notas dos alunos do grupo que usou e que não utilizou o software, indicando que o método proposto é, pelo menos tão bom quanto ter um laboratório, para o ensino de vidrarias e tendo o benefício de menor custo e maior segurança. Isso poderia permitir às escolas que carecem da estrutura necessária uma maneira alternativa de ensinar através do aplicativo.

Após coletar os dados e possuir as notas dos alunos, podemos afirmar que tanto uma turma do laboratório de química quanto uma turma que utiliza o aplicativo têm um impacto muito semelhante no aprendizado dos utensílios utilizados no

laboratório. Com isso podemos concluir que o AR Lab cumpriu a proposta de ser uma ferramenta para o aprendizado de vidrarias de laboratório utilizando a Realidade Aumentada.

O trabalho de pesquisa desse projeto integrador foi submetido como artigo completo para o evento TISE (ver apêndice A) e Computer on the beach (ver apêndice B).

REFERÊNCIAS

TAVARES, Ricarte; SOUZA, Rodolfo Ornitz Oliveira; CORREIA, Alayne de Oliveira. Um estudo sobre a “TIC” e o ensino da química. **Revista GEINTEC**, São Cristóvão, v. 3, n. 5, p.155-167, 2013. Disponível em: <http://revistageintec.net/index.php/revista/article/viewFile/296/346>. Acesso em: 22 mar. 2019.

VIEIRA, Eloisa; MEIRELLES, Rosane M. S.; RODRIGUES, Denise C. G. A.. **O uso de tecnologias no ensino de química:** a experiência do laboratório virtual química fácil. [201-]. Dissertação (Mestrado em Ensino em Ciências da Saúde e do Meio Ambiente) - Fundação Oswaldo Aranha, Volta Redonda, [201-]. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0468-1.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2019.

Proporção para o indicador b16 - alunos, por principal equipamento utilizado para acessar a internet. CETIC. 2017. Disponível em: <<https://cetic.br/tics/educacao/2017/escolas-urbanas-alunos/B16/>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

LOPEZ, Cristina Correa Barata; CHAVEZ, Edson Valente. Animação como recurso didático no ensino da química: capacitando futuros professores. **Revista Educitec**, Manaus, v. 04, n. 07, p. 135-151, jun. 2018. Disponível em: <http://200.129.168.14:9000/educitec/index.php/teste/article/view/256/133>. Acesso em: 1 abr. 2019.

Noventa e cinco por cento das escolas de ensino médio têm acesso à internet, mas apenas 44% têm laboratório de ciências. INEP. 2018. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/artigo/-/asset_publisher/B4AQV9zFY7Bv/content/dados-do-censo-escolar-noventa-e-cinco-por-cento-das-escolas-de-ensino-medio-tem-acesso-a-internet-mas-apenas-44-tem-laboratorio-de-ciencias/21206> Acesso em: 20 mar. 2019.

RIBEIRO, Angela A.; GRECA, Iléana M. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em educação química. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 542-549, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v26n4/16437.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2019.

FONSECA, Ana Graciela M. F.. Aprendizagem, mobilidade e convergência: Mobile Learning com Celulares e Smartphones. **Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Mídia e Cotidiano**, Rio de Janeiro, n. 02, p. 265-283, jun 2013. Disponível em: <http://periodicos.uff.br/midiaecotidiano/article/view/9685/6809>. Acesso em: 20 mar. 2019.

KUKULSKA-HULME, Agnes; SHARPLES, Mike; MILRAD, Marcelo; ARNEDILLO-SÁNCHEZ, Inmaculada; VAVOULA, Giasemi. Innovation in Mobile Learning: A

European Perspective. **International Journal of Mobile and Blended Learning**, p. 13–35, 2009. Disponível em: http://oro.open.ac.uk/12711/1/IJMBL_pre-print_19_Dec_2008.pdf. Acesso em 20 mar 2019.

AZUMA, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, Cambridge, v. 06, n. 04, p. 355-385, aug 1997. Disponível em: <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2019.

MILGRAM, Paul; TAKEMURA, Haruo; UTSUMI, Akira; KISHINO, Fumio. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. **Telemanipulator and Telepresence Technologies**, v. 2351, p. 282-292, jan. 1994. Disponível em: http://etclab.mie.utoronto.ca/publication/1994/Milgram_Takemura_SPIE1994.pdf. Acesso em: 25 mar. 2019.

AMIN, Dhiraj; GOVILKAR, Sharvari. Comparative study of augmented reality sdk's. **International Journal on Computational Sciences & Applications**, New Panvel, v. 5, n. 1, p. 11-15, fev. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276855764_Comparative_Study_of_Augmented_Reality_Sdk's. Acesso em: 22 abr. 2019.

Pokémon go caught nearly \$800 million in global revenue last year, growing 35% over 2017. Sensor Tower. 2019. Disponível em: <<https://sensortower.com/blog/pokemon-go-revenue-december-2018>> Acesso em 14 mai. 2019.

CARMIGNANI, Julie; FURHT, Borko; ANISETTI, Marco; CERAVOLO, Paolo; DAMIANI, Ernesto; IVKOVIC, Misa. Augmented reality technologies, systems and applications. **Multimedia Tools and Applications**, v. 51, n. 1, p 341-377, jan. 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-010-0660-6>. Acesso em: 6 mai. 2019.

Key benefits of augmented reality for architecture projects. Augment. 2015 Disponível em: <<https://www.augment.com/blog/key-benefits-augmented-reality-architecture-projects/>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

WEBEL, Sabine; BOCKHOLT, Uli; ENGELKE, Timo; PEVERI, Matteo; OLBRICH, Manuel; PREUSCHE, Carsten. Augmented Reality Training for Assembly and Maintenance Skills. **BIO Web of Conferences**, v. 1, dez. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228537162_Augmented_reality_A_class_of_displays_on_the_reality-virtuality_continuum. Acesso em: 13 mai. 2019.

Augmented reality for enhanced training environments. Qbit technologies. [201-]. Disponível em: <<https://www.qbittech.com/index.php/component/k2/item/53-augmented-reality-training>>. Acesso em: 9 jun. 2019.

MOVERIO BT-300 SMART GLASSES(AR/Developer Edition). EPSON. [201-]. Disponível em:<<https://epson.com/For-Work/Wearables/Smart-Glasses/Moverio-BT-300-Smart-Glasses-%28AR-Developer-Edition%29-/p/V11H756020>>. Acesso em 9 jun. 2019.

Imagiologia médica: confira como auxilia no tratamento do câncer. Ambra. 2017. Disponível em: <<http://ambrasauda.com.br/blog/imagiologia-medica-confira-como-auxilia-no-tratamento-do-cancer/>>. Acesso em: 9 jun. 2019.

MANURI, Frederico; SANNA, Andrea. A Survey on Applications of Augmented Reality. **Advances in Computer Science: an International Journal**, v. 5, n. 19, p. 18-27, jan. 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/7b78/7a261a82e5488fc972d2b6541f778c81ed78.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2019.

WARD, Jeff. **What is a game engine**. 2008. Game career guide. Disponível em: <https://www.gamecareerguide.com/features/529/what_is_a_game_.php>. Acesso em: 12 mai. 2019.

HAAS, John K. **A History of the Unity Game Engine**. 2014. Disponível em: <<https://digitalcommons.wpi.edu/iqp-all/3207/>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

Unity Multiplatform. Unity. [201-]. Disponível em: <<https://unity3d.com/pt/unity/features/multiplatform>>. Acesso em 13 mai. 2019.

ARToolKit. ARToolKit. [20--]. Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>>. Acesso em 3 jun. 2019.

LEPETIT, Vincent; FUA, Pascal. Monocular Model-Based 3D Tracking of Rigid Objects: A Survey. **Now Publishers**, v. 1, n. 1, p. 1-89, 2005. Disponível em: http://www.cad.zju.edu.cn/home/gfzhang/training realtime/lepetit_ftcv05.pdf. Acesso em: 3 jun. 2019.

WANG, Huibai; QIN, Junli; FENGQUAN, Zhang. A New Interaction Method for Augmented Reality Based on ARToolKit. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING, 8., 2015, China. China, 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7407945>. Acesso em: 3 jun. 2019.

SANTIN, Rafael; Kirner, Claudio. ARToolKit: Conceitos e Ferramenta de Autoria Colaborativa. Piracicaba, jan. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228384109_ARToolKit_Conceitos_e_Ferramenta_de_Autoria_Colaborativa. Acesso em: 3 jun. 2019.

CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER, Edgard. **Realidade Virtual: Uma Abordagem Prática.** 1 ed. São Paulo: Mania de Livro, 2004.

PTC adds augmented reality leader vuforia to portfolio. PTC. 2015

Disponível em: <<https://www.ptc.com/en/about/history/vuforia>>. Acesso em: 6 jun. 2019.

IBAÑEZ, Alexandro Simonetti; FIGUERAS, Josep Paredes. **Vuforia v1.5 SDK: Analysis and evaluation of capabilities.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Telecomunicações e Gestão) - Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2013. Disponível em:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17769/memoria.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Acesso em: 6 jun. 2019.

SANTOS, Alan Brito; DOURADO, Juliel Bronzati; BEZERRA, Adriano. ARToolkit and Qualcomm Vuforia: An Analytical Collation. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY, 8., 2016, Brasil. Brasil, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7517280>. Acesso em: 6 jun. 2019.

Attach Digital Content To Specific Objects. Vuforia. [201-]. Disponível em: <<https://engine.vuforia.com/features>>. Acesso em 3 jun. 2019.

PETTY, Josh. **What is Unity?**. Concept Art Empire. [2016?]. Disponível em: <<https://conceptartempire.com/what-is-unity/>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

SLICK, Justin. **What is 3d modeling?**. Lifewire. 2019. Disponível em: <<https://www.lifewire.com/what-is-3d-modeling-2164>>. Acesso em 20 mai. 2019.

About Blender. Blender. [201-]. Disponível em: <<https://www.blender.org/about/>>. Acesso em 20 mai. 2019.

CARVALHO, Ingrid. **O que é o Corel Draw? Para que ele serve?**. Illustre Arte. 2015. Disponível em: <<https://www.illustrearte.com.br/o-que-e-o-corel-draw-para-que-ele-servir/>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

Três boas razões para usar Corel Draw. IPED. 2016. Disponível em: <<https://www.iped.com.br/materias/animacoes-e-design/tres-boas-razoes-usar-coreldraw.html>>. Acesso em 20 mai. 2019.

Visão geral do Inkscape. Inkscape. [20--]. Disponível em: <<https://inkscape.org/pt-br/sobre/>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

Tudo sobre Photoshop. Oficina da Net. 2008. Disponível em:
<https://www.oficinadanet.com.br/artigo/753/tudo_sobre_photoshop>. Acesso em: 20 mai. 2019.

Sobre o GIMP. GIMP. 2019. Disponível em: <<https://www.gimp.org>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software.** 9 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

BEZERRA, Eduardo. **Princípios de análise e projeto de sistemas com UML.** 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007

AR Lab: Augmented Reality App for Chemistry Education

Bruno Rogério da Silva
brunorr46@gmail.com
IFSC
Gaspar, SC, Brazil

João Hercílio Zuchi
joaohercilio@hotmail.com
IFSC
Gaspar, SC, Brazil

Larson Kremer Vicente
77larsonkv@gmail.com
IFSC
Gaspar, SC, Brazil

Leonardo Ronald Perin Rauta
leonardo.rauta@ifsc.edu.br
IFSC
Gaspar, SC, Brazil

Mateus Bizzotto Nunes
mateus.bizzotto@ifsc.edu.br
IFSC
Gaspar, SC, Brazil

Victor Augusto Schramm Pancracio
vic.pancracio@outlook.com
IFSC
Gaspar, SC, Brazil

Watson Beck Junior
wbeckj@gmail.com
IFSC
Gaspar, SC, Brazil

ABSTRACT

One of the technologies that has been gaining ground in recent years is Augmented Reality, which allows to insert virtual objects into a real-world view using a device's camera and screen. This form of interaction associated with education can improve teaching in schools, especially in more difficult subjects such as chemistry. Our project created a novel application that assists chemistry students during their learning of chemistry glassware, using the Augmented Reality technique. The app was developed in Unity with Vuforia SDK. It shows 3D models of lab flasks with important description about each flask and its use and also features a quiz mode where users can test what they learned and share results with their teacher. The app was evaluated by 80 students, divided in two groups, against a conventional class in a chemistry lab. Data analysis found statistically no difference between the means achieved by the two groups, which suggests that the app is at least as good as a regular class. The outcome of a qualitative inquire showed students praised the app, the realism of the flasks and the completeness of the available library of flasks, remarking it could be used to review the subject later. Finally, results support the use of AR apps in schools for teaching glassware particularly in schools that don't have the available funding for a chemistry lab.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

TISE '19, Nov 26 - Nov 28, 2019, Arequipa, Perú

© 2019 Copyright held by the owner/author(s).

ACM ISBN 978-1-4503-6317-4/19/07.

<https://doi.org/10.1145/3306307.3328180>

KEYWORDS

Augmented Reality; AR Education; Augmented Reality in Chemistry

1 INTRODUCTION

Important advances in the last decade on the cell phone industry supported a novel class of applications that mix the real environment with virtual information created by software. Augmented reality applications can be used as a way to motivate students to learn abstract concepts such as chemical elements, substances and reactions.

Developing countries are witnessing a growing trend in cell phone adoption. More than 74% of the high school students use smartphones [14]. Frequent use of cell phone can hinder students' attention and lower academic performance [11], however it's also possible to use these mobile devices to leverage new strategies for active learning [8]. One of the strategies is the Augmented Reality (AR), technology capable of inserting virtual objects into a real-world view using a device's camera and screen.

Abstract concepts sometimes are hard to convey in an ordinary classroom blackboard and therefore students are taken to a chemistry laboratory. Despite that some drawbacks include: risks associated with students in an environment with chemical substances, cost of construction and maintenance of a chemical lab, and availability's to students throughout the course. These issues affect peculiarly developing countries like Brazil where up to only 44% of the schools have a science lab [7].

According to Lopes and Chaves [12], it is noted that the teaching of chemistry is constantly resumed to memorization of formulas, nomenclatures and mathematical calculations, causing the devaluation of chemistry learning concepts by most students [16]. Also, learning only through books and the blackboard has been shown inefficient because lacking

of attention by the students [16], particularly when mobile phones are allowed in classroom [5].

The main purpose of this project is develop a software, focused on students, which help them to assimilate the equipments used in a chemistry lab and their respective functions.

Several applications have already been developed with the intent of helping students learn, using resources like as Augmented Reality [19]. The main advantage offered by AR technology is their interactive user interface that enables simulations and visualization of 3D material and chemical reactions, that was available only as 2D, flat figures, on the books before [16].

In this paper we introduce AR Lab, an augmented reality mobile app for learning of chemistry glassware aimed at High School technical students. AR Lab uses realistic 3D models of chemistry glassware, both volumetric and graduated, teaching important concepts like correct measurement and glassware application in chemical reaction in laboratory. Students may review the concepts, answering a quiz, and then are presented with a summary that can be shared with their teacher, for follow up action.

2 THEORETICAL FOUNDATION

This section will cover the main concepts proposed in this project, beginning with the use of technology in education scope and proceed to the Augmented Reality and its applications. Will also be presented works related to the proposed application.

Technology in Education

In the last 25 years, the world experienced a rapid technological advance, process that brought great impacts upon how we forge our reality. Soon, being so significant, the technological development couldn't stop influencing a sector quite relevant of our reality: the Education [17].

Thus, the smartphones stand out in education area for being accessible for most young people [6]. We can highlight beyond versatility and accessibility, other features which favors the use of the mobile devices, such as: document reproduction in multiple platforms, the speed of obtaining any information, the interactivity and ease of use [9].

The generation of content in educational area can decrease obstacles to obtain information and simplify its correct understanding. Tavares et al. [18] evaluated a five applications for chemistry education and reported that up to 67% of the users felt the apps were more effective than traditional exercises. The same research also remarks the importance of gamification (featuring a quiz, for example), as incentive for cognition [18].

Augmented Reality

Augmented Reality (AR), is a strand of Virtual Reality (VR). While the purpose of VR is to completely immerse the user in a synthetic environment, in AR, the purpose is to complement the reality, adding virtual information together with the real world. In other words, in Augmented Reality, the real world elements prevail, but the perception of the user is increased by virtual data [3].

An Augmented Reality interaction system consist in the recognition, when the software captures landmarks and, in the tracking, while the desired media is overlapped on the real world, digitally. According to [2] it is possible to divide this system into:

AR system based on markers: the camera recognize physical landmarks (images, bodies or spaces), so that the device can estimate the position, orientation and movement of the virtual object. Usually these systems have a higher accuracy than marker less algorithms for environment registration.

One example of AR app for education, using markers, introduced by Young et al. [20], is an app with a game about mathematics that uses a green marker for tracking, representing the virtual/simulated world. The game is shown on Figure 1, left .

AR system without markers: the system use a combination of features to determine the geographic position and the orientation of the device and allow information to be presented according to the proposed program.

One of the most successful applications of Augmented Reality without markers is Pokemon Go. The game consists in search on the real environment for virtual animals (Pokemon). When the player shoots the world with his camera phone a Pokemon may appear and, in this case, can be captured. Since it's release, in 2016, the game has earned more than 2 billions of dollars leading to research about its effects on players [13].

Software tracking environment without markers usually seek a recurring pattern for surface estimation and commonly are not as precise as systems with markers. See Figure 1 on the right for an example of augmented reality system without markers.

3 RELATED WORKS

Many areas of learning have benefited from AR apps for example: geography, anatomy, math, engineering and others. Users note an improvement in motivation and interest in lessons, and feel AR can be a complimentary tool for instruction, helping students in short and long term, as a reviewing platform [10].

The work of Williams and Pence [19] presented some advantages that AR applications could have on teaching



Figure 1: Left: Augmented reality game with marker - AR-Matika [20]. **On the right:** Google Search render results as 3D models without marker.

chemistry concepts for students and also reported initial initiatives, mainly on universities. Nevertheless it is important to understand some differences in trends experienced by teenagers, particularly in developing countries, where both teachers and students are still learning the benefits of using mobile devices [15].

According to Cai et al. [4], students' imagination are limited and sometimes it's difficult for them abstracting theoretical concepts of chemistry such as how reactions happen. Their research proposed an AR supplemental software for chemical reactions with substances. The software used different markers to track and to simulate atoms and molecules. The software was tested in an experiment with 29 students from high school and demonstrated improvements on scores of those that experienced AR software. However the research method did not include a control group and the software was not mobile.

Akçayır et al. [1] developed a similar application of AR but with the goal of teaching laboratory skills for students. A five weeks experiment, with 76 freshman students, showed significant development of skills among those on the group that used AR. The research also gathered how users perceived the AR technology with many praising shorter time to complete tasks, ease as support for learning. The software developed was a mobile app, however the subject was general lab apparatus and not specifically glassware.

In addition to academic research we report mainstream apps for mobile devices, related with this proposal.

Chemist

The application of Figure 2, left, simulate a chemistry lab virtually. The software is paid and available only for Android devices. Chemist uses 3D models allowing carrying out chemical experiences and observe it's reactions, exercising several tools and reagents. However, mostly of its features are available only as in-app purchase, which makes it limited. Yet, to use this app you must have a prior knowledge of chemistry.



Figure 2: On the left: Chemist. **On the right:** QuimicAR. (<https://play.google.com/store/apps/details?id=air.thix.sciencesense.chemist>) (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Scota.QuimicAR>)

It offers both glassware and elements, but there is no guide or script of how to correctly employ them.

QuimicAR

The app of Figure 2, right, is similar to the proposed software but for a structural point of view of substances, for educational purpose. It's available only for Android devices, made in Unity and using Vuforia SDK. It offers a booklet with seven basic chemistry practice lessons guides. This scripts provide a walk through of the practice lesson, along with a marker, which is used for visualization of molecular structures and glassware by the application. Also offers a mode for people with color blindness. Some drawbacks are no testing mode and the library of glassware which is limited.

4 SYSTEM IMPLEMENTATION

AR Lab mobile app can be divided in two parts: learning about different types of glassware and usage and, knowledge assessment with a questionnaire mode. The two main use cases with included functionality are described on the UML diagram presented on Figure 3.

The first part shows each glassware with its textual description and application on the screen. Users can rotate and move the phone closer for minute details inspection. It's possible to browse forward or backward. The app library currently contains fifteen glassware: beaker, round-bottom flask, volumetric flask, burette, Erlenmeyer flask, Büchner funnel, filter funnel, Büchner flask, dropper, graduated pipette, volumetric pipette, Petri dish, graduated cylinder, test tube and, a crucible. Figure 4 presents a few of the glassware featured on the app.

The second part of the application consists of a questionnaire about glassware. Ten questions are presented to users who are asked to point, tapping on the screen, and confirm, which glassware should be chosen given a specific scenario.

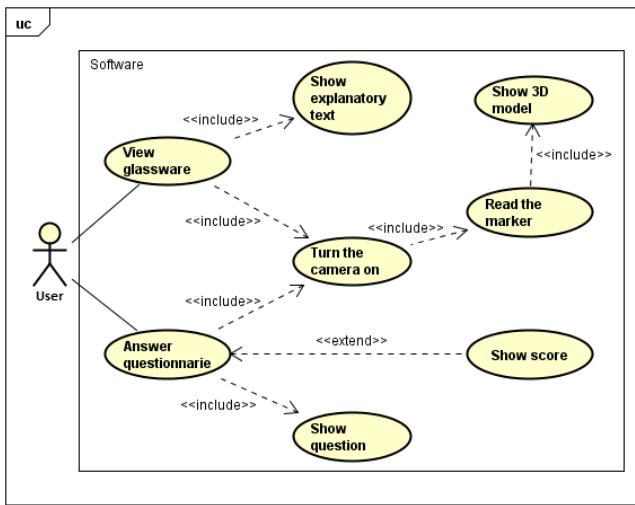


Figure 3: Use case diagram of AR Lab.



Figure 4: Nine glasswares featured on ARLab. From left to right: Petri dish, test tube, Erlenmeyer flask, volumetric flask, round-bottom flask, beaker, filter funnel, Büchner flask and, graduated cylinder.

After each question users receive right/wrong answer and, after the test is completed, a summary is presented. Students can then opt to share that final summary with their teacher, for later review in class.

The app was developed using Vuforia¹ with Unity². Vuforia is an SDK that provides real time tracking of the physical marker, with mobile's camera, that then render the virtual model objects on the screen taking into account orientation and position. The necessary coding for interaction was programmed in C#. All the glassware was modeled after real flasks, using the 3D modeling software Blender³. Prototypes of the application were assessed by chemistry teachers for

¹<https://developer.vuforia.com/>

²<https://unity.com/>

³<https://www.blender.org/>

accuracy regarding the shape, markings and information description given to the user. Figure 5 shows some of the main screen views of AR Lab.

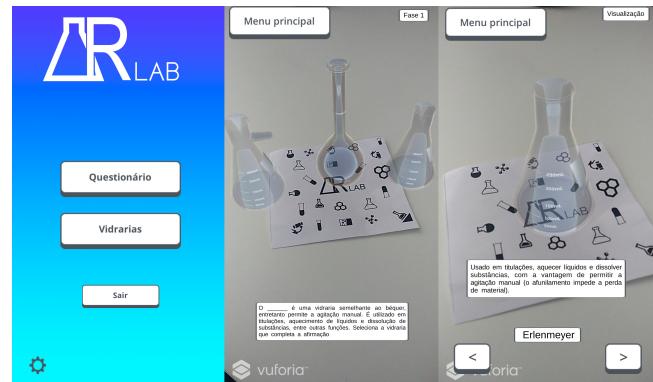


Figure 5: On the left: main menu of ARLab. On the center: knowledge test mode. On the right: glassware library description and inspection mode.

5 EXPERIMENT DESIGN

We designed our experiment to understand the effectiveness of AR Lab as a teaching tool and possible replacement of a traditional class in a chemistry laboratory. The first goal of our experiment was to measure and compare grades of students that received instruction only with AR Lab against those that had access to a chemistry lab with real glassware. Also we collected information about usability and users' satisfaction and overall critics and suggestions for application improvement.

Participants

A total of 80 technical students of high school courses participated on the experiment, 43 from Informatics and 37 from Chemistry. Ages varied between 15 and 17 years old, they all had mobile phones however a few had to borrow from classmates due to the software only being available for Android OS.

Procedure

First of all, to avoid any bias, we ensured participants that scores assigned during the experiment would not count for their grade on the subject and, that all students would be granted access to the lab and to an app, which we would evaluate.

Students who agreed to take part were divided, randomly, into two groups A and B. Those on A were given instruction with AR Lab in a common classroom (see Figure 6) while students on group B were taken for a regular class in the lab (show in Figure 7), as a control group for the experiment.



Figure 6: On the left: teacher explaining glassware with AR Lab and, on the right: a student inspecting an AR round-bottom flask.

When the instruction was completed, a standard test was applied for both groups. The exam was comprised of 10 multiple choice objective response questions, of 1 point each.

After the exam, groups switched: group A was presented to the real glassware in the lab and group B to the app.

Finally, all participants answered to a questionnaire about how they perceived AR Lab. Each item presented a proposition that participants had to rate using a Likert scale, with values ranking from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree).



Figure 7: Teacher presenting a round-bottom flask in the lab.

6 RESULTS

A statistical analysis was applied to the results students attained on the exam followed by a qualitative review based on perception of AR Lab, gathered with the questionnaire, at the end of the experiment.

Both groups had an almost identical means of 8 points in 10 questions (see Table 1 for a detailed summary). Even so, grades were processed for statistical analysis across the means of groups A (AR Lab) and B (control). Independent two sample t-test did not show significant difference between the means of both groups for $p < .05$ (t -value: 0.06, p -value 0.47), which indicates that both methods provided a similar outcome on the exam.

Qualitative

Users' perception were mostly favourably to the application. Users acknowledged the completeness of the library of glassware with 62% strongly agreeing that AR Lab has the main

Table 1: Summary of the exam results.

	N	Mean	Std Dev	Max	Min
Group A (AR Lab)	38	8.00	1.77	10	5
Group B (Control)	42	7.98	1.69	10	4

laboratory glassware (Figure 8) and about 60% recognizing the realism of the 3D glassware displayed on the application (Figure 9).

The application shows the main laboratory glassware

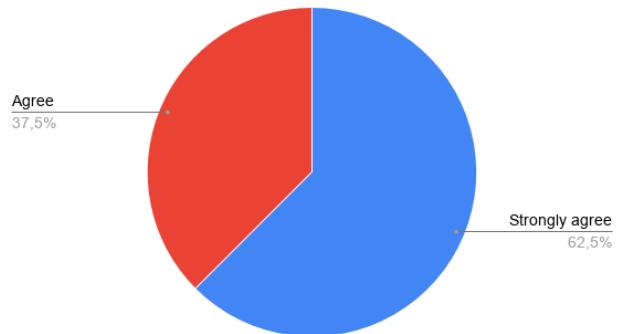


Figure 8: The application shows the main laboratory glassware.

The design of the glassware is true to the real flask

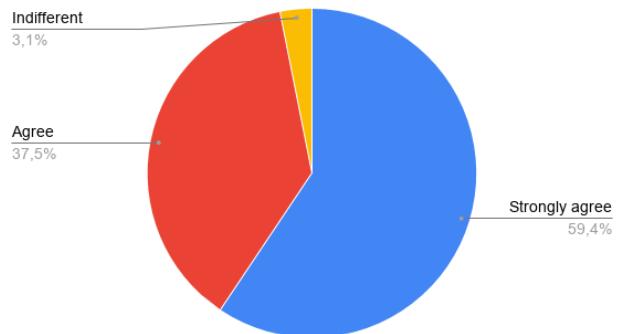


Figure 9: The design of the glassware is true to the real flask.

As a substitute for an ordinary lab class: 41% agreed that it could be used and 36% strongly agreed (see Figure 10). Despite that, about less than 10% reported some concern with it being used as replacement, and 4% strongly disagreed.

When asked about if it is possible to learn the functions of glassware using ARLab 60% strongly agreed and 33% agreed

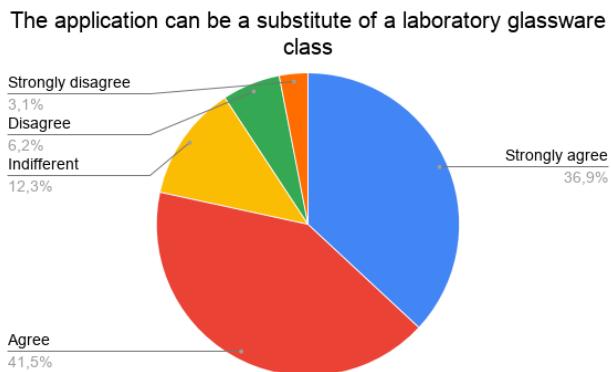


Figure 10: The application can be a substitute of a laboratory glassware class.

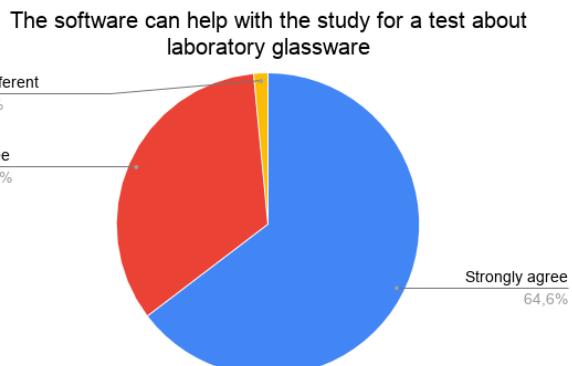


Figure 12: The software can help with the study for a test about laboratory glassware.

(see Figure 11). This question is greatly related with the realism of the 3D models, the rendering on screen, and the correct description of the flasks and the applications.

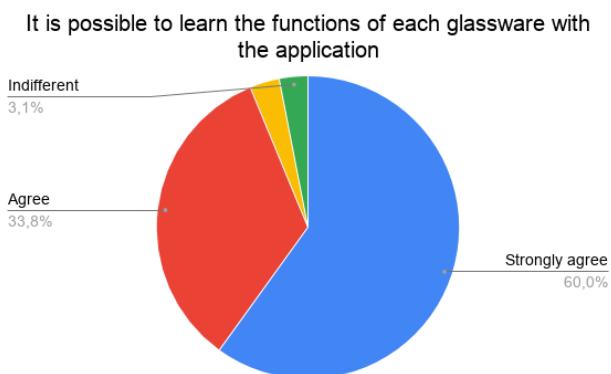


Figure 11: It is possible to learn the functions of each glassware with the application.

Almost all users (64% strongly agreed and 33% agreed) declared that the application can be of help for users studying for a test, as shown on Figure 12.

Participants were also asked to write down opinions, suggestions and critics about AR Lab in an open question format. Again most remarks were favourable and will be discussed on the next section.

7 CONCLUSION

In this work we proposed a novel tool for chemistry glassware learning, presenting an augmented reality app, developed for Android devices. The app features the description of a comprehensive set of glassware, commonly used in labs. There's also a review mode where users can test their knowledge about the subject.

We designed an experiment to investigate AR Lab as a replacement of a regular class in lab. Results evidenced a strong potential it to be used as a substitute, specially for schools without science labs, or even as a support teaching tool.

The qualitative answers about AR Lab were very positive. Most students considered the app a viable substitute for laboratory glassware classes and a way of study.

In addition, statistical analysis did not show difference on the means of students' marks across the group that used and that did not use the software which points that the proposed method is, at least as good as having a lab, for glassware teaching, having the benefit of lower cost and higher safety. This could allow schools that lack the necessary structure an alternative way of teaching through the application.

Discussion

After collecting the data and possessing the students' grades, we can conclude that both a chemistry lab class and a class using the application have a very similar impact on glassware learning.

Students also gave suggestions for improving the application like adding the possibility of conducting chemical experiments and increasing the number of glassware available for use, including different sizes of the same flask. They also asked that if the answer was wrong, in the questionnaire, the correct option to assist with the studies should be shown. Another idea was that the visualization of glassware

should be possible without the paper marker however due to the limitation of the API we used in this project it is not yet possible.

Future works may include audio description for the glassware which can be an important factor for accessibility of visually impaired users.

One remarkable feedback received pointed that future versions should have a mode for teachers to setup lecture content (i.e. available glassware and description), quiz editor and final quiz grades summary, similar to a virtual classroom.

Finally, it was noted too during the experiment that support for other platforms, above all, iOS, is crucial for broad use. New features such as the possibility to perform chemical reactions using the glassware in augmented reality, with special effects for water and fire is a strong consideration too.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank all the teachers, lab assistants and personnel from IFSC - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, from Gaspar/SC, Brazil, involved on this project. Likewise we would like to thank all students that participated on the experiment for their valuable contribution.

REFERENCES

- [1] Murat Akçayır, Gökcé Akçayır, Hüseyin Miraç Pektaş, and Mehmet Akif Ocak. 2016. Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior* 57 (2016), 334 – 342. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054>
- [2] Dhiraj Amin and Sharvari Govilkar. 2015. Comparative study of augmented reality SDKs. *International Journal on Computational Science & Applications* 5, 1 (2015), 11–26.
- [3] Ronald T Azuma. 1997. A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 6, 4 (1997), 355–385.
- [4] Su Cai, Xu Wang, and Feng-Kuang Chiang. 2014. A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior* 37 (2014), 31 – 40. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018>
- [5] Quan Chen and Zheng Yan. 2016. Does multitasking with mobile phones affect learning? A review. *Computers in Human Behavior* 54 (2016), 34–42.
- [6] Ana Graciela Mendes Fernandes da Fonseca. 2013. Aprendizagem, mobilidade e convergência: mobile learning com celulares e smartphones. *Revista Mídia e Cotidiano* 2, 2 (2013), 265–283.
- [7] Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. 2019. Resumo técnico: Censo da Educação Básica 2018. INEP (2019), 66.
- [8] D. Furió, M.-C. Juan, I. Seguí, and R. Vivó. 2015. Mobile learning vs. traditional classroom lessons: a comparative study. *Journal of Computer Assisted Learning* 31, 3 (2015), 189–201. <https://doi.org/10.1111/jcal.12071> arXiv:<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jcal.12071>
- [9] Agnes Kukulska-Hulme, Mike Sharples, Marcelo Milrad, Inmaculada Arnedillo-Sánchez, and Giasemi Vavoula. 2009. Innovation in mobile learning: A European perspective. *International Journal of Mobile and Blended Learning (IJMBL)* 1, 1 (2009), 13–35.
- [10] Sevda Küçük, Samet Kapakin, and Yüksel Göktaş. 2016. Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. *Anatomical Sciences Education* 9, 5 (2016), 411–421. <https://doi.org/10.1002/ase.1603>
- [11] Andrew Lepp, Jacob E. Barkley, and Aryn C. Karpinski. 2014. The relationship between cell phone use, academic performance, anxiety, and Satisfaction with Life in college students. *Computers in Human Behavior* 31 (2014), 343 – 350. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.10.049>
- [12] Auxiliadora Cristina Correa Barata Lopes and Edson Valente Chaves. 2018. Animação como recurso didático no ensino da química: capacitando futuros professores. *Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC)* 4, 07 (2018).
- [13] Janne Paavilainen, Hannu Korhonen, Kati Alha, Jaakko Stenros, Elina Koskinen, and Frans Mayra. 2017. The PokéMon GO Experience: A Location-Based Augmented Reality Mobile Game Goes Mainstream. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. ACM, New York, NY, USA, 2493–2498. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025871>
- [14] Brasilina Passarelli, Antonio Junqueira, and Alan Angeluci. 2014. Digital natives in Brazil and their behavior in front of the screens. *MATRIZes* 8, 1 (Jun. 2014), 159–178. <https://doi.org/10.11606/issn.1982-8160.v8i1p159-178>
- [15] Brasilina Passarelli, Antonio Junqueira, and Alan Angeluci. 2014. Digital natives in Brazil and their behavior in front of the screens. *MATRIZes* 8, 1 (Jun. 2014), 159–178. <https://doi.org/10.11606/issn.1982-8160.v8i1p159-178>
- [16] Altamira Souza Queiroz, Cicero Marcelo De Oliveira, and Flávio Silva Rezende. 2015. Realidade Aumentada no Ensino da Química: Elaboração e Avaliação de um Novo Recurso Didático. *Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação* 1, 2 (2015).
- [17] Angéla A Ribeiro and Ileana María Greca. 2003. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em educação química: uma revisão de literatura publicada. *Química nova*. Vol. 26, n. 4 (jul./ago. 2003), p. 542-549 (2003).
- [18] Ricarte Tavares, Rodolpho Ornitz Oliveira Souza, and Alayne de Oliveira Correia. 2013. Um estudo sobre a “TIC” e o ensino da química. *Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias* 3, 5 (2013), 155–167.
- [19] Antony J. Williams and Harry E. Pence. 2011. Smart Phones, a Powerful Tool in the Chemistry Classroom. *Journal of Chemical Education* 88, 6 (2011), 683–686. <https://doi.org/10.1021/ed200029p>
- [20] J. C. Young, M. B. Kristanda, and S. Hansun. 2016. ARmatika: 3D game for arithmetic learning with Augmented Reality technology. In *2016 International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*. 355–360. <https://doi.org/10.1109/IAC.2016.7905744>

AR Lab: Aplicativo de Realidade Aumentada para Auxiliar no Aprendizado de Química



Figura 1: Imagens relativas ao aplicativo e à aplicação do aplicativo. Da esquerda para a direita: Tela inicial; Modo de perguntas com três opções de resposta; Modo de explicação mostrando um frasco Erlenmeyer e sua função; Seleção de algumas das vidrarias disponíveis no aplicativo; Aluna utilizando o app durante o experimento de avaliação.

RESUMO

Uma das tecnologias que vem ganhando espaço nos últimos anos é a Realidade Aumentada, que permite inserir objetos virtuais em uma visualização do mundo real, utilizando, para isso, a câmera e a tela de dispositivos móveis. Esta forma de interação associada à educação pode aprimorar o ensino nas escolas, principalmente em matérias consideradas mais difíceis, como a Química. O presente artigo descreve o desenvolvimento de um aplicativo que auxilia estudantes de Química, utilizando a técnica de Realidade Aumentada. O app foi desenvolvido em Unity usando Vuforia SDK, apresentando aos usuários um laboratório virtual onde é possível visualizar vidrarias com modelos 3D realistas. Ainda permite testar os conhecimentos aprendidos com um modo de perguntas. A validação foi realizada com 80 alunos dos cursos técnicos em Química e em Informática do ****. Os alunos foram divididos em 2 grupos, metade da turma teve uma aula convencional de vidrarias no laboratório de química enquanto a outra metade usou o aplicativo em sala de aula. Um questionário foi então aplicado para avaliar o conhecimento adquirido pelos estudantes. Os resultados não mostraram diferenças estatisticamente significantes entre as médias de notas alcançadas pelos dois grupos. Os estudantes avaliaram o aplicativo positivamente, apontando que poderia ser uma ferramenta importante para estudo. Os resultados indicam a potencialidade do aplicativo em

substituição às aulas convencionais e sobretudo que poderia ser usado em escolas que não possuem laboratórios em suas estruturas.

PALAVRAS-CHAVE

Realidade Aumentada; Aplicativo; Educação; Química

1 INTRODUCÃO

Ao longo dos últimos anos a tecnologia tem tido um grande avanço, devido principalmente ao seu uso cada vez mais frequente no nosso dia a dia por meio de aparelhos como celulares, tablets e computadores. Tais instrumentos são amplamente utilizados pelos jovens, pois eles oferecem diversas funcionalidades [11].

O smartphone por exemplo, é utilizado por 74% dos estudantes do ensino médio [8], tornando-o um meio acessível e adaptável para a criação de métodos de aprendizagem alternativos. Uma das estratégias é a Realidade Aumentada (RA), tecnologia capaz de inserir objetos virtuais em uma visualização do mundo real utilizando a câmera de vídeo e a tela do dispositivo.

Uma das áreas do conhecimento em que as novas tecnologias estão sendo amplamente utilizadas é a Química. De acordo com Lopes e Chavez [7], nota-se que o ensino de Química é constantemente resumido à memorização de fórmulas, nomenclaturas e cálculos matemáticos, causando a desvalorização dos conceitos do aprendizado de Química por grande parte dos alunos.

Queiroz, Oliveira e Rezende [9] também explicam que “o processo de ensino apenas através de livros e conteúdos registrados no quadro negro têm-se mostrado ineficiente por não conseguir assegurar a atenção dos alunos”.

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um programa, voltado para estudantes, que os ajude a assimilar os equipamentos utilizados em um laboratório de química e suas respectivas funções.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from permissions@acm.org.

Computer On The Beach '20, April 01–03, 2020, Balneário Camboriú, SC, Brazil

© 2020 Association for Computing Machinery.
ACM ISBN 978-x-xxxx-xxxx-x/YY/MM...\$15.00
<https://doi.org/10.1145/1122445.1122456>

Diversos aplicativos já foram desenvolvidos com o intuito de auxiliar estudantes, porém poucos utilizam recursos como a Realidade Aumentada. A vantagem oferecida por ela é, segundo Queiroz, Oliveira e Rezende [9] “contribuir na construção do conhecimento através de [...] simulações interativas, permitindo visualização e contato com um material antes demonstrado apenas em figuras planas”. Daqui vem a importância da produção de mais material educativo utilizando dessa tecnologia.

Visto que, segundo dados do INEP [4], 66% das escolas de ensino médio brasileiras não têm laboratório de ciências, o desenvolvimento de um aplicativo como o proposto possibilitará aos alunos o acesso ao material laboratorial virtualmente, de modo totalmente gratuito.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão abordados os principais conceitos propostos neste trabalho, iniciando com o uso da tecnologia no âmbito educacional e prosseguindo para a Realidade Aumentada e suas aplicações.

2.1 Tecnologia na Área Educacional

Especialmente nos últimos 25 anos, o mundo experimentou um rápido avanço tecnológico, processo esse que trouxe grandes impactos sobre como forjamos nossa realidade. Logo, sendo tão marcante, o desenvolvimento tecnológico não poderia deixar de influenciar um setor bastante relevante da nossa realidade: a Educação [10].

Dessa forma, os smartphones destacam-se na área educacional por serem acessíveis para grande parte dos jovens [3]. Podemos destacar além da versatilidade e acessibilidade, outras características que favorecem o uso dos dispositivos móveis [5], como: a reprodução de documentos em múltiplas plataformas, a rapidez de obter qualquer informação, a interatividade e a facilidade de uso.

A criação de conteúdo na área educacional pode diminuir os obstáculos para a obtenção de informação e simplifica seu entendimento. Tavares [11] avaliou cinco aplicativos para o ensino de Química e relatou que mais de 67% dos usuários sentiram que os mesmos eram mais efetivos em comparação aos exercícios tradicionais. A mesma pesquisa ressalta a importância da gamificação (apresentando um quiz, por exemplo), como um incentivo a conhecimento.

2.2 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada (AR) é uma vertente da Realidade Virtual (VR). Enquanto o propósito da VR é imergir o usuário completamente em um ambiente sintético, na AR, o objetivo é complementar a realidade, adicionando informações virtuais em conjunto com o mundo real. Ou seja, na Realidade Aumentada predominam os elementos do mundo real, mas a percepção do usuário é aumentada por dados virtuais [2].

Um sistema de interação de Realidade Aumentada consiste no reconhecimento, quando o software capta pontos de referência e, no rastreamento, quando a mídia desejada é sobreposta ao mundo real, digitalmente. Segundo Amin e Govilkar [1] é possível dividir esse sistema em: baseado em marcadores e sem marcadores. Já que o projeto utiliza o sistema baseado em marcadores, será apresentado somente este último.

Sistema baseado em marcadores: a câmera reconhece pontos de referência físicos (imagens, corpos ou espaços) para que o dispositivo possa estimar a posição, orientação e movimento do objeto virtual.

Sistema sem marcadores: o programa reconhece uma combinação de características do ambiente para estimar a posição do dispositivo e por sua vez onde o objeto virtual deverá ser colocado.

3 TRABALHOS CORRELATOS

Várias áreas do aprendizado tem se beneficiado de aplicações de Realidade Aumentada, por exemplo: geografia, anatomia, matemática, engenharia entre outras. Usuários notaram uma melhora na motivação e interesse nas lições, também sentiram que a Realidade Aumentada pode ser uma ferramenta complementar para instrução, ajudando estudantes a curto e longo prazo, como uma plataforma de revisão [6].

3.1 Chemist

O aplicativo Chemist, mostrado na Figura 2 à esquerda, simula virtualmente um laboratório químico. Trata-se de um aplicativo pago disponível apenas para aparelhos Android. Chemist utiliza modelos 3D de vidrarias e reagentes químicos, permitindo realizar experiências envolvendo reações químicas. Além de sua licença paga, o aplicativo oferece opções de compras dentro do próprio aplicativo, o que acaba limitando as ações dos usuários. O uso deste aplicativo requer conhecimento prévio de Química, entretanto, a versão analisada não possui um tutorial de uso do aplicativo.

3.2 QuimicAR

Este aplicativo possui finalidade educacional e está disponível apenas para aparelhos Android e foi feito no Unity utilizando o Vuforia (ver Figura 2, à direita). Oferece uma apostila com sete roteiros de aulas práticas básicas de Química, nestes roteiros é disponibilizado o passo a passo da aula prática junto com um marcador, que é utilizado para a visualização das estruturas moleculares e vidrarias pelo aplicativo. Também oferece um modo para pessoas com daltonismo.



Figura 2: Aplicativo Chemist (à esquerda) e QuimicAR (à direita). (<https://play.google.com/store/apps/details?id=air.thix.sciencesense.chemist>) (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Scota.QuimicAR>)

4 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

AR Lab está dividido em duas partes: aprendizado sobre diferentes tipos de vidrarias e teste de conhecimentos sobre as vidrarias (ver Figura 1). Os dois principais casos de uso que incluem funcionalidade são descritos no diagrama UML apresentado na Figura 3.

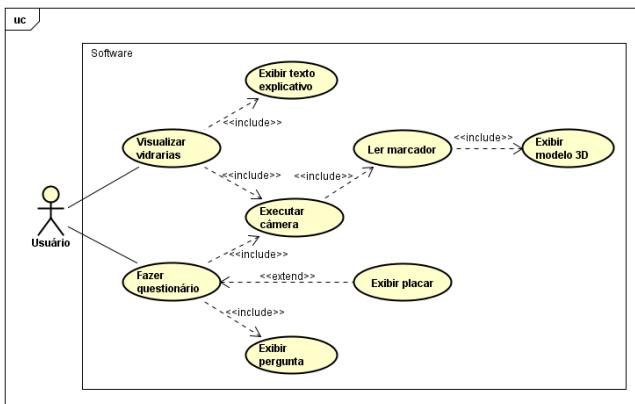


Figura 3: Diagrama de casos de uso do AR Lab.

A primeira parte mostra cada vidraria com sua descrição textual e aplicação na tela. Os usuários podem rotacionar e mover o smartphone para mais perto para uma inspeção mais detalhada. A biblioteca do aplicativo possui 15 vidrarias: bêquer, balão de fundo redondo, balão volumétrico, bureta, cadiño, Erlenmeyer, funil simples, funil de Buchner, Kitassato, pipeta de Pasteur, pipeta graduada, pipeta volumétrica, placa de petri, proveta graduada e tubo de ensaio. A Figura 1 traz uma visão de algumas vidrarias que o AR Lab possui em sua base de modelos.

Já a segunda parte consiste em um questionário sobre vidrarias. Dez questões são apresentadas para o usuário que instruído a apontar, tocando na tela e confirmado, qual vidraria deve ser escolhida, dado um determinado cenário. Depois de cada questão o usuário recebe uma resposta de acerto ou erro e, após o teste estar completo, um sumário é mostrado. Os estudantes podem então optar por expor seu sumário com o professor.

Este aplicativo foi desenvolvido usando Vuforia com Unity. Vuforia é um SDK (Kit de desenvolvimento de software) que provê o rastreamento em tempo real do marcador físico, com uma câmera, que então renderiza o modelo virtual do objeto na tela, considerando orientação e posição. A codificação necessária para a interação foi progeramada em C#. Todas as vidrarias foram modeladas com base em modelos reais, usando o Blender, uma ferramenta de modelagem 3D. Protótipos da aplicação foram acessados por professores de Química para precisão quanto à forma, marcações e descrição das informações fornecidas ao usuário.

5 DESIGN DO EXPERIMENTO

Nós projetamos um experimento para entender a efetividade do AR Lab como uma ferramenta educacional e um possível substituto de uma aula tradicional em laboratório. O primeiro objetivo do experimento foi medir e comparar as notas dos alunos que receberam instruções somente com o aplicativo contra aqueles que tiveram

acesso a um laboratório de química com vidrarias reais. Também coletamos informações sobre a usabilidade e a satisfação dos usuários, assim como as críticas em geral e sugestões de melhoria do AR Lab.

5.1 Participantes

Um total de 80 estudantes técnicos do ensino médio participaram do experimento, 43 do curso de Informática e 37 do curso de Química. As idades variavam entre 15 e 17 anos, todos tinham smartphones porém alguns tiveram que pegar emprestado de colegas por conta do aplicativo estar disponível somente para o sistema Android. A Figura 1, à direita, registra uma aluna durante o experimento.

5.2 Procedimento

Em primeiro lugar, para evitar qualquer tipo de influência, os participantes foram asegurados de que as notas obtidas durante o experimento não seriam consideradas na nota da disciplina em si e, que todos teriam acesso ao laboratório e ao app.

Alunos que concordaram em participar foram divididos, aleatoriamente, em dois grupos A e B. Aqueles no grupo A receberam instruções com o Ar Lab em uma sala comum enquanto aqueles no grupo B foram levados para uma aula no laboratório, como um grupo de controle para o experimento.

Assim que as instruções foram completadas, um teste foi aplicado para ambos os grupos. O mesmo continha 10 questões objetivas de múltipla escolha, valendo 1 ponto cada. Após o exame, os grupos foram trocados: ao grupo A foram apresentadas as vidrarias reais no laboratório e o grupo B teve acesso ao app.

Finalmente, todos os participantes responderam um questionário sobre como foi a percepção acerca do AR Lab. Cada item apresentava proposições que os participantes deveriam avaliar usando uma escala de aprovação, cujos valores eram classificados desde 1 (discordo totalmente) até 5 (concordo totalmente).

6 RESULTADOS

Uma análise estatística foi aplicada aos resultados que os estudantes obtiveram no exame, seguido por uma revisão qualitativa baseada na percepção do AR Lab, coletada com o questionário, ao fim do experimento.

Ambos os grupos tiveram médias quase idênticas de 8 pontos em 10 questões (veja a Tabela 1 para um sumário detalhado). Mesmo assim, as notas foram processadas para diferença estatística das médias do grupo A (AR Lab) e B (controle). Duas amostras de t-test independentes não mostraram uma diferença significante entre as médias de ambos os grupos para $p < .05$ ($t\text{-value}: 0.06$, $p\text{-value} 0.47$), o que indica que ambos os métodos proveram um resultado similar no exame.

Tabela 1: Sumário dos resultados do exame.

	N	Média	Std Dev	Max	Min
Grupo A (AR Lab)	38	8.00	1.77	10	5
Grupo B (Controle)	42	7.98	1.69	10	4

6.1 Qualitativa

A percepção dos usuários foi majoritariamente favorável ao aplicativo. Os usuários reconheceram a fidelidade da biblioteca de vidrarias com 62% concordando totalmente que AR Lab possui as principais vidrarias de laboratório (Figura 4) e cerca de 60%. reconheceram o realismo das vidrarias 3D mostradas no aplicativo (Figura 5).

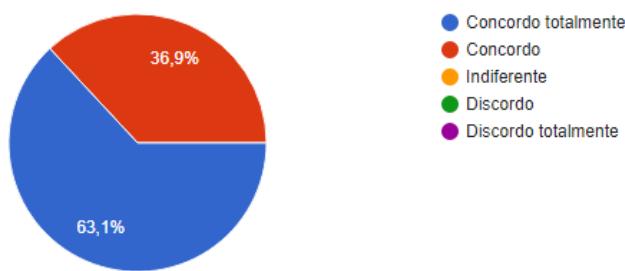


Figura 4: A aplicação apresenta as principais vidrarias de laboratório.

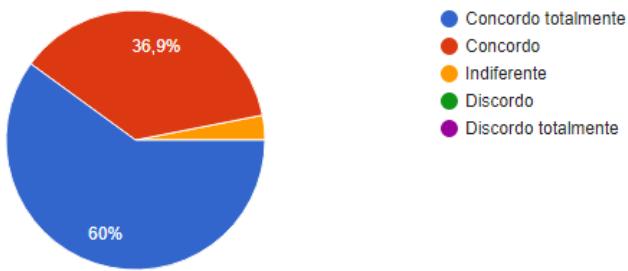


Figura 5: O design das vidrarias é fiel ao modelo real.

Sobre o aplicativo ser um possível substituto de uma aula em laboratório, 41% dos alunos concordaram que ele poderia ser usado e 36% do alunos concordaram totalmente (Figura 6). Contrapondo isto, menos de 10% dos alunos relataram alguma preocupação com o uso do app como substituto e 4 % discordaram fortemente.

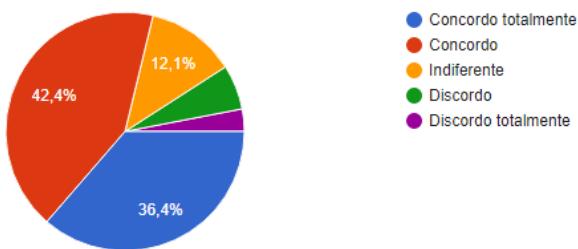


Figura 6: O aplicativo pode ser um substituto para uma aula sobre vidrarias em laboratório.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho, propusemos uma nova ferramenta para o aprendizado de vidraria de laboratório, apresentando um aplicativo de realidade aumentada, desenvolvido para dispositivos Android. O aplicativo apresenta a descrição de um conjunto abrangente de vidrarias, comumente usados em laboratórios. Há também um modo de revisão em que os usuários podem testar seus conhecimentos sobre o assunto.

As respostas qualitativas sobre o AR Lab foram muito positivas. A maioria dos estudantes considerou o aplicativo um substituto viável para aulas de vidraria de laboratório e como forma de estudo.

Além disso, a análise estatística não mostrou diferença entre as médias das notas dos alunos do grupo que usou e que não utilizou o software, indicando que o método proposto é, pelo menos tão bom quanto ter um laboratório, para o ensino de vidrarias e tendo o benefício de menor custo e maior segurança. Isso poderia permitir às escolas que carecem da estrutura necessária uma maneira alternativa de ensinar através do aplicativo.

As notas obtidas pelos alunos nos testes, juntamente com suas respostas ao questionário evidenciam um forte potencial do aplicativo como substituto às aulas práticas sobre vidrarias, especialmente para escolas desprovidas de laboratórios de química, ou mesmo como ferramenta de apoio no ensino.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos nossos professores e a todas as outras pessoas envolvidos neste projeto de pesquisa. Também gostaríamos de agradecer a todos os alunos do **** que participaram do experimento e à instituição que patrocinou esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Sharvari A., Dhiraj e G. 2015. Comparative study of augmented reality SDKs. *International Journal on Computational Science & Applications* 5, 1 (2015), 11–26.
- [2] Ronald T Azuma. 1997. A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 6, 4 (1997), 355–385.
- [3] Ana Graciela Mendes Fernandes da Fonseca. 2013. Aprendizagem, mobilidade e convergência: mobile learning com celulares e smartphones. *Revista Mídia e Cotidiano* 2, 2 (2013), 265–283.
- [4] Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. 2019. Resumo técnico: Censo da Educação Básica 2018. INEP (2019), 66.
- [5] Mike e Mirlad Marcelo e Arnedillo-Sánchez Inmaculada e Vavoula Giacsemi Kukulska-Hulme, Agnes e Sharples. 2009. Innovation in mobile learning: A European perspective. *International Journal of Mobile and Blended Learning (IJMBL)* 1, 1 (2009), 13–35.
- [6] Samet e Göktas Yüksel Küçük, Sevda e Kapakin. 2016. Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. *Anatomical Sciences Education* 9, 5 (2016), 411–421. <https://doi.org/10.1002/ase.1603> arXiv:<https://anatomypubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ase.1603>
- [7] Edson Valente Lopes, Auxiliadora Cristina Correa Barata e Chaves. 2018. Animação como recurso didático no ensino da química: capacitando futuros professores. *Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC)* 4, 07 (2018).
- [8] Antonio e Angeluci Alan Passarelli, Brasilina e Junqueira. 2014. Digital natives in Brazil and their behavior in front of the screens. *MATRIZES* 8, 1 (Jun. 2014), 159–178. <https://doi.org/10.11606/issn.1982-8160.v8i1p159-178>
- [9] Cícero Marcelo e Rezende Flávio Silva Queiroz, Altamira Souza e De Oliveira. 2015. Realidade Aumentada no Ensino da Química: Elaboração e Avaliação de um Novo Recurso Didático. *Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação* 1, 2 (2015).
- [10] Ileana María Ribeiro, Angela A e Greca. 2003. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em educação química: uma revisão de literatura publicada. *Química nova*. Vol. 26, n. 4 (jul./ago. 2003), p. 542-549 (2003).
- [11] Rodolpho Ornitz Oliveira e Correia Alayne de Oliveira Tavares, Ricarte e Souza. 2013. Um estudo sobre a “TIC” e o ensino da química. *Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias* 3, 5 (2013), 155–167.