

Sistema de Realidade Aumentada para Apoio ao Projeto de Arquitetura

Mariana Lopes^{1,2}
t-marig@microsoft.com

Jorge Silva^{3,4}
jsilva@fe.up.pt

Miguel Sales Dias^{2,5,6}
miguel.dias@microsoft.com

Sara Eloy^{5,6}
sara.elay@iscte.pt

Filipe Gaspar^{2,5,6}
t-filipg@microsoft.com

Ricardo Miguel⁵
jricardomiguel@gmail.com

Nuno Mendonça⁵
nunoasmendonca@gmail.com

¹ FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. ² MLDC, Microsoft Language Development Center. ³ FEUP-DEI, Porto. ⁴ INESC TEC, Porto. ⁵ ISCTE-IUL, Lisboa. ⁶ ISTAR-IUL, Lisboa.

Resumo

Em arquitetura, a maquete, seja para estudo ou para a comunicação da proposta de projeto, desempenha um papel fundamental como ferramenta nos processos criativos de planeamento e conceção de projetos. No entanto, existem por vezes dificuldades associadas a esta abordagem, como o sejam, o tempo gasto e os custos envolvidos na sua produção e modificação, sempre que é necessário prever o resultado de mudanças no projeto, ou quando se tentam ver os pormenores do interior do modelo, o que pode não ser viável. Com o objetivo de auxiliar os arquitetos a superar essas dificuldades, uma hipótese foi proposta, que aponta para o uso da tecnologia de visualização interativa num ambiente de realidade aumentada, onde um modelo virtual 3D do projeto de arquitetura, na mesma escala da maquete de estudo, pode ser visualizado por meio de um dispositivo do tipo tablet. A verificação da hipótese levou à criação de um protótipo, permitindo a visualização de modelos 3D digitais de edifícios e do seu ambiente circundante, usando realidade aumentada. A nossa abordagem de realidade aumentada baseada em visão, permite o seguimento de texturas, necessitando de uma marca visual planar (uma imagem normal), a qual funciona como um plano de referência para o registo e posicionamento do modelo 3D. O sistema oferece várias funcionalidades que facilitam a modificação e a visualização interativa do modelo 3D, como a oclusão de objetos ou o apoio de planos de corte interativos, para visualização mais minuciosa do interior, amplamente utilizados em arquitetura. Para enriquecer a experiência de visualização e interação com o modelo 3D, o sistema utiliza uma plataforma de computação móvel com ecrã tátil, permitindo uma interação baseada em toque. A usabilidade deste protótipo foi positivamente avaliada com um painel de 16 estudantes universitários e 4 arquitetos, utilizando uma metodologia baseada em tarefas.

Palavras-chave

Realidade aumentada, arquitetura, dispositivos móveis, seguimento de textura, modelos virtuais 3D, FIRST, maquete de estudo, interface de toque, avaliação da usabilidade

1. INTRODUÇÃO

A maquete e o desenho representam um papel fundamental no projeto de arquitetura e no respetivo processo criativo. Estes métodos de representação de ideias permitem ao arquiteto expressar o seu pensamento, materializando um objeto que ainda só faz parte da sua imaginação de forma a demonstrar aquilo que pretende transmitir. As maquetes para arquitetura são, hoje em dia, diretamente baseadas nos modelos virtuais e produzidas por fabricação digital. Esta pode ser aditiva, construindo a forma com impressoras 3D, subtrativa, seccionando e traçando o contorno do material com máquinas CNC e cortadores laser ou formativa, dobrando e torcendo o material através de movimen-

tos controlados por computador que dobram a forma inicial na definida. A maquete física, dita de estudo, permite ter uma visão completa do objeto arquitetónico e é, até hoje, um método insubstituível no auxílio ao trabalho de projeto dos arquitetos. No entanto, as alterações nos modelos são morosas, com custos financeiros e de tempo elevados e não são passíveis de repetição, o que leva a que os modelos 3D virtuais surjam como solução para a modificação e visualização de características que outra forma seriam impossíveis de realizar, como a visualização de pormenores dos interiores em maquetes a escalas pequenas. Os modelos 3D digitais são cada vez mais um complemento às maquetes físicas (de estudo) utilizadas no processo de projeto, pois para além de permitirem obter imagens de diversos pontos de vista, fiéis à realidade do

objeto, permitem ainda tratar de questões analíticas, tanto aos níveis da estrutura como da infraestrutura, facilitando assim a sua simulação e compreensão [Freitas10].

O arquiteto tem que ter a habilidade de conseguir expor com clareza as suas ideias, tanto com o cliente final como com o promotor imobiliário ou com os restantes técnicos de especialidades que com ele trabalham. Como tal, as ferramentas de representação utilizadas são vitais para a perceção do projeto, seja elas físicas ou virtuais (Figura 1).

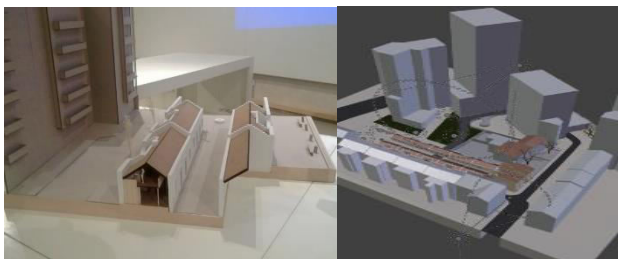


Figura 1: Projeto de arquitetura representado de forma real (imagem da esquerda, em maquete) e virtual (imagem da direita), realizado por Ana Moural, ISCTE-IUL.

As tecnologias de Realidade Virtual (RV) e de Realidade Aumentada (RA) têm sido usadas maioritariamente para auxílio na visualização e interação com informação do projeto de arquitetura [Veliz12]. Em particular, com a RA, a qual permite ao utilizador ver e interagir em tempo real com o mundo real onde pode observar objetos virtuais sobrepostos e alinhados (registados) com objetos reais, o projeto de arquitetura pode ser representado fisicamente, por meio de uma maquete, onde se pode registar um modelo virtual realizado com ferramentas apropriadas de CAAD [Wang13]. A utilização da RA poderá potenciar maior dinâmica e simplificação na comunicação entre todas as partes envolvidas num projeto de construção de um edifício, por exemplo, desde o momento criativo, com as suas fases de análise e simulação, passando pelo desenvolvimento e representação do edifício, pela fabricação dos componentes, incluindo intervenção na obra, durante a execução do edifício [Amim07].

Com o objetivo de auxiliar os arquitetos a ultrapassar as dificuldades atrás enunciadas com a utilização da maquete de estudo no processo atual de conceção em arquitetura, foi proposta uma solução tecnológica alternativa à referida maquete. De facto, pretende-se demonstrar que a visualização e interação com modelos virtuais de projetos de arquitetura à escala das maquetes de estudo, utilizando tecnologia de realidade aumentada consumida num dispositivo do tipo *tablet*, são benéficas para o processo de conceção em arquitetura, quer do ponto de vista de análise iterativa de conceitos e ideias, quer da compreensão e comunicação do projeto de arquitetura. Para tal, definiram-se os seguintes objetivos:

- Levantar os requisitos, desenvolver e testar um protótipo demonstrável de um sistema que permita a visualização e interação com modelos virtuais 3D de edifícios, usando tecnologia de realidade aumentada. As funcionalidades suportadas incluem:

- Plataforma computacional móvel com ecrã tátil, permitindo uma interação baseada em toque com o ambiente aumentado.
- Sistema de realidade aumentada utilizando técnicas de visão baseadas em seguimento de textura, as quais necessitam de uma marca visual planar (com uma textura cromaticamente variada), funcionando como plano de referência para registo e posicionamento do modelo.
- Suporte à visualização, modificação e interação com o modelo 3D, como por exemplo a oclusão de objetos e o suporte de planos de corte interativos para inspeção de pormenores interiores, muito utilizados em arquitetura.
- Desenvolver um estudo de avaliação da usabilidade e satisfação do protótipo desenvolvido e analisar os respetivos resultados.

Seguiu-se uma metodologia de investigação que compreendeu uma fase de levantamentos de requisitos junto de alguns colaboradores, professores e alunos, da área de Arquitetura, seguida da priorização dos mesmos. Depois seguiu-se uma fase de planeamento pormenorizado do desenvolvimento de funcionalidades, com aprovação do cumprimento dos requisitos essenciais pelos colaboradores iniciais. Após nova priorização das funcionalidades, as mais relevantes foram desenvolvidas e testadas num protótipo, culminando com a realização e análise de um estudo de avaliação da usabilidade e satisfação do mesmo protótipo. Neste último, adotámos uma metodologia baseada em tarefas, com medição do tempo de cada utilizador, registo das quebras e erros cometidos, envolvendo ainda observação e entrevista dos participantes.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na secção 2, resume-se os trabalhos relacionado com sistemas de realidade aumentada para arquitetura. De seguida, na secção 3, é apresentada uma visão geral do sistema desenvolvido ARch (*Augmented Reality for Architecture Design*), como a sua arquitetura, as suas funcionalidades e o respetivo desenvolvimento. Na secção 4 é descrita a metodologia e apresentados e discutidos os resultados recolhidos na fase de avaliação da usabilidade do ARch. Finalmente, na secção 5, são retiradas conclusões e proposto um plano para trabalho futuro.

2. TRABALHO RELACIONADO

A realidade aumentada permite ao utilizador visualizar o mundo real com objetos virtuais sobrepostos e alinhados (registados) com este, dando uma sensação de fusão entre os dois mundos [Azuma97]. Esta tecnologia tem sido adaptada em áreas tão diversificadas como a militar, a do entretenimento, a medicina ou a arquitetura, entre outras. Na área da arquitetura, os sistemas de RA têm sido usados tanto em ambientes exteriores [Sareika10] para, por exemplo, antever o impacto visual de edifícios [Graf10] ou de pontes a construir [Broschart13], como em ambientes interiores, essencialmente na fase de conceção do projeto de arquitetura. A revisão de trabalhos relacionados que se segue cingiu-se a sistemas deste último tipo.

Desenvolvido por Broll et al. [Broll04], Arthur é um sistema de realidade aumentada usado para planeamento urbano e tomadas de decisões dos arquitetos, reunidos em torno de uma mesa. O sistema é baseado na utilização de HMDs (*Head Mounted Displays*) e marcas visuais (Figura 2), sendo a interação com o utilizador feita por meio de marcadores, apontadores e gestos. É possível executar ações como navegar em menus, desenhar linhas no espaço ou selecionar e manipular objetos virtuais.



Figura 2: Exemplo de utilização do sistema ARTHUR (figura adaptada de [Broll04])

Também o *Augmented Reality-based Urban Design System* (ARUDesigner), desenvolvido por Wang [Wang08] utilizava o mesmo sistema de marcas (ARToolkit) e HMD. Este sistema (Figura 3) foi criado para reduzir a possibilidade de mal interpretações entre os membros da equipa multidisciplinar, fornecendo uma informação visual mais detalhada e encorajando a colaboração e comunicação entre os referidos mesmos, no planeamento urbano. Apresentado por Belcher e Johnson [Belcher08a], o ARchitecture-View permite a visualização de modelos arquitetónicos de edifícios, especificamente modelos BIM (*Building Information Model*) (Figura 4).



Figura 3: Utilização do sistema ARUDesigner (figura adaptada de [Wang08])

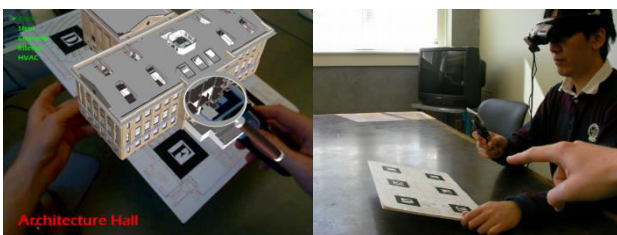


Figura 4: Exemplo de utilização do sistema ARchitectureView (figura adaptada de [Belcher08a])

MxR é um sistema de realidade aumentada baseado em marcas planares visuais, para suportar a colaboração durante as fases iniciais do desenvolvimento na área de arquitetura, apresentado por Belcher e Johnson [Belcher08b]. Este sistema permite visualizar o modelo 3D virtual sobre o físico, ou seja, uma maquete, como é ilustrado na Figura 5, permitindo que os vários intervenientes no projeto possam discutir e testar diversas hipóteses e visualizar os resultados, recorrendo a uma interface tangível.

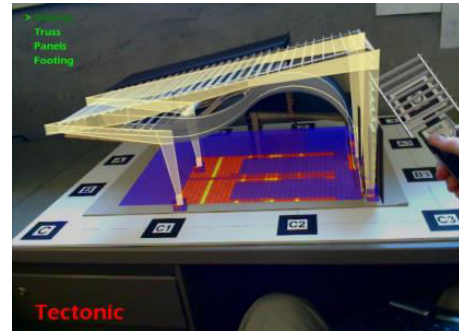


Figura 5: Vista em primeira pessoa do sistema MxR (figura adaptada de [Belcher08b])

AR-media Player [Am14a] permite ao utilizador visualizar modelos 3D criados com recurso a aplicações, como 3ds Max ou Vectorworks, para as quais esteja disponível o AR-media Plugin. O AR-media Player funciona como um sistema com recurso a marcas visuais, semelhantes às reconhecidas pelo ARToolkit [Kato99], permitindo o corte de objetos 3D, gestão de camadas, sombras em tempo real e também a ligação entre duas ou mais marcas visuais. A visualização da realidade aumentada tanto pode ser feita num ecrã de computador (Figura 6) como em dispositivos móveis.

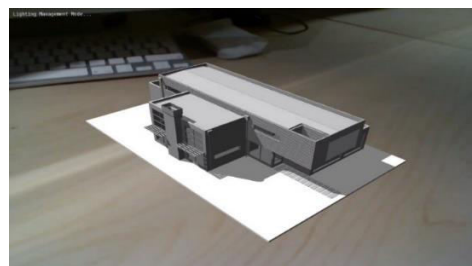


Figura 6: Modelo 3D visualizado através do AR-media Player (figura adaptada de [Am14b])

Os primeiros sistemas apresentados, apesar de serem utilizados no planeamento urbano para visualizar o modelo ou testar hipóteses, apresentam certas lacunas, como por exemplo, não permitirem cortes ou visualização por camadas do modelo. O AR-media, na versão para computador, suporta algumas dessas funcionalidades, mas não possui a mobilidade necessária para uma visualização mais interativa, que a versão móvel contém. Com exceção do AR-media, todos os sistemas apresentados utilizam HMDs, mas não são totalmente móveis. Os dispositivos móveis, como telemóveis, *smartphones* e *tablets*, surgiram como novos dispositivos alvo para a expansão da realidade aumentada, pois, em relação à alternativa anterior do uso de

HMD, são menos intrusivos, socialmente mais aceitáveis, sempre disponíveis e altamente móveis [Zhou08]. A aplicação AR-media para dispositivos móveis já fornece a mobilidade pretendida, mas não contém todas as funcionalidades de interação com o modelo que a aplicação de computador *desktop* possui. Neste contexto, a aplicação descrita neste trabalho, foi desenvolvida para *tablet*, apresentando um conjunto vasto de funcionalidades e permitindo uma maior mobilidade do utilizador e a interação com o sistema, através da manipulação da pose do dispositivo e do toque no seu ecrã, substituindo assim a utilização de HMD.

3. O SISTEMA ARCH

ARch, *Augmented Reality for Architecture Design*, é o sistema de RA que se descreve a seguir, desenvolvido pelos autores para apoio ao projeto de Arquitetura.

A utilização típica deste sistema desenvolve-se em torno de uma mesa sobre a qual está colocada uma marca visual constituída por uma superfície plana com um padrão de referência (por exemplo, uma fotografia), semelhante ao apresentado na Figura 7. Cada utilizador deverá dispor de um *tablet*, equipado com uma câmara, usado para captar imagens da marca, sendo este o único equipamento necessário. Nas secções seguintes serão apresentados a arquitetura (secção 3.1), o ambiente de desenvolvimento usado (secção 3.2), as funcionalidades (secção 3.3) e a interface de utilizador (secção 3.4) do sistema.



Figura 7: Caso de utilização do sistema

3.1 Arquitetura lógica da aplicação ARch

A aplicação desenvolvida, em execução no *tablet*, é constituída por quatro módulos principais (Figura 8). O módulo de “Vídeo” é responsável pela aquisição da imagem da câmara, passando a imagem adquirida ao módulo de “Visualização”.

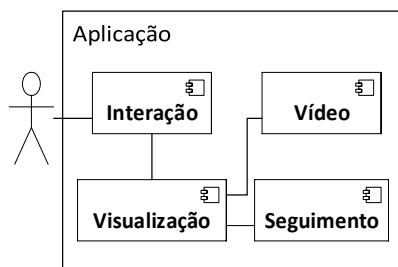


Figura 8: Arquitetura lógica da aplicação

Este módulo de “Visualização” é responsável pelo registo do modelo virtual com a imagem captada, em cada instante. Para garantir um alinhamento perfeito entre os dois mundos, real e virtual, este módulo usa a informação da pose da câmara, fornecida pelo módulo de “Seguimento”, o qual sintetiza uma câmara virtual com as mesmas características extrínsecas da câmara real usada na aquisição de imagem.

Os parâmetros intrínsecos da câmara são determinados previamente, com recurso a calibração, e fornecidos à aplicação. Para cada imagem capturada fornecida pelo módulo de “Visualização”, o módulo de “Seguimento” segue características previamente conhecidas na mesma (e previamente detetadas), e ainda elimina e descobre novas características, até que um número suficiente destas permita calcular a nova transformação de pose da câmara virtual, em relação à marca visual. O módulo de “Interação” recebe os comandos do utilizador e executa as ações solicitadas sobre o modelo virtual. Além disso, mostra informação de estado da aplicação, como, por exemplo, a funcionalidade ativa.

3.2 Ambiente de desenvolvimento

A aplicação foi desenvolvida para um *tablet*, correndo o sistema operativo Windows 8.1, com recurso às APIs (*Application Programming Interfaces*) NUTTS (*Natural Ubiquitous Texture Tracking System*) [Bastos08] e OSG (*OpenSceneGraph*) [Wang10]. A linguagem de programação utilizada foi C++, comum às APIs utilizadas.

Para captação do mundo real foi utilizada a câmara embutida do *tablet*. A Figura 9 mostra a arquitetura física de implantação da aplicação.

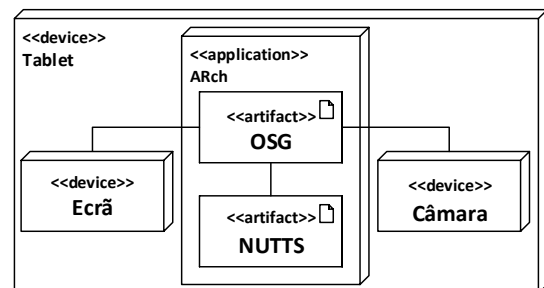


Figura 9: Arquitetura física da aplicação

O módulo de “Seguimento” adota a API NUTTS – *Natural Ubiquitous Texture Tracking System* para o reconhecimento e seguimento da marca visual. Esta API, que usa o descritor de características de imagem FIRST – *Fast Invariant to Rotation and Scale Transform* [Bastos09], uma técnica invariante à escala e rotação, tolerante a variações de luminosidade, ruído e *blurring* visuais e com repetibilidade semelhante ao SURF (*Speeded Up Robust Features*) [Bay08], mas mais eficiente e preciso, permite fazer a extração e correspondência de pontos característicos previamente conhecidos, da textura que constitui a marca visual. A técnica NUTTS utiliza técnicas de correção da distorção intrínseca da câmara, de *back-projection*, *template matching* e *optical flow*, para seguir em tempo real as características FIRST de uma ou várias imagens, permitindo assim fazer o seguimento de várias texturas em simultâneo.

A técnica de correção da distorção de perspetiva da textura numa determinada pose, permite recuperar pontos característicos perdidos na sequência de vídeo, evitando que o sistema fique sem informação desses pontos, permitindo a atualização da pose atual da câmara [Bastos09].

O módulo de “Visualização” usa a API OSG para visualização da cena 3D. Baseada no conceito de grafo de cena, esta API encapsula a maioria de funcionalidades incluídas na API do OpenGL [OpenGL14], fornecendo ao utilizador novas funcionalidades e um desenvolvimento mais rápido. O grafo de cena é uma estrutura que define as relações espaciais e lógicas de uma cena 3D para uma gestão e apresentação eficiente dos dados gráficos [Wang10]. É representado normalmente por um grafo acíclico organizado em árvore invertida, composto por um conjunto de nós e de folhas. Os nós podem representar uma transformação geométrica, um objeto virtual complexo, ou um agrupamento hierárquico de outros nós e folhas (conhecido como um sub-grafo), por exemplo. As folhas podem representar um objeto virtual primitivo ou até uma luz ou câmara virtual na cena. Esta API permite também carregar diversos formatos 3D com informação geométrica e topológica, como, por exemplo, FBX, que possibilita aos arquitetos definir as diferentes camadas da maquete fora do ambiente de desenvolvimento e facilita as funcionalidades de visualização ativando ou desativando grupo de nós no grafo.

O módulo de “Interação” suporta a interação baseada em toque e gestos planares (na superfície do ecrã). Após terem sido avaliadas possíveis APIs para fazer o desenvolvimento deste módulo, optou-se por utilizar também a OSG, devido à sua compatibilidade com a linguagem de programação utilizada (C++).

3.3 Funcionalidades

Para definir o conjunto das funcionalidades mais importantes para a aplicação, realizaram-se sessões de levantamento de requisitos junto de arquitetos, professores e alunos, da área de Arquitetura, utilizando técnicas de prototipagem rápida e entrevistas, seguidas da priorização dos mesmos. Dessas sessões resultaram as seguintes funcionalidades essenciais que o protótipo permite executar sobre o modelo virtual 3D:

- Visualizar o modelo através de um *tablet*, com interação através do toque.
- Realizar cortes verticais (alçados) e cortes horizontais (plantas).
- Realçar um grupo de objetos agrupados por “camadas” (correspondendo cada camada a uma especialidade: arquitetura, engenharia de estruturas, ou outra), sobre todos os outros objetos.
- Ocultar e selecionar um objeto ou grupo de objetos.
- Alterar a cor e a textura de um objeto previamente selecionado.

3.4 Interface Gráfica de Utilizador

A interface gráfica de utilizador permite a interação com toque e gestos planares e é constituída por duas zonas principais: a zona onde é visualizada a cena aumentada e a zona dos menus, com funções diferentes por cada modo de

visualização (Figura 10 e Figura 11). A aplicação arranca no “Modo de Apresentação” e, consoante a funcionalidade pretendida, comuta-se entre o “Modo de Cortes” e o “Modo de Seleção”, deslizando o dedo pelo ecrã.



Figura 10: Interação com a aplicação

No “Modo de Cortes” incluem-se todas as funcionalidades ligadas à realização de um corte horizontal ou vertical, enquanto no “Modo de Seleção”, se agrupam todas as funcionalidades ligadas à interação com objetos do modelo, como por exemplo, oclusão e seleção de objetos e modificação de cor e textura dos mesmos. Para a realização de um corte no edifício visualizado é necessário colocar a aplicação em “Modo de Cortes” e selecionar a direção do corte (horizontal ou vertical), arrastando seguidamente o dedo sobre o ecrã para deslocar o plano de corte (Figura 11). Os cortes podem ser realizados segundo um qualquer ângulo definido pelo utilizador e vistos de qualquer perspetiva.

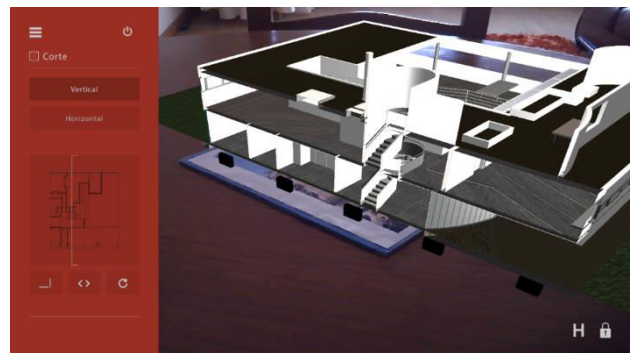


Figura 11: Realização de um corte no edifício

A funcionalidade de realçar um grupo de objetos, ilustrada na Figura 12, permite aos utilizadores visualizar infraestruturas ou estruturas que, de outra maneira, não seria possível, mantendo a perceção da localização das mesmas em relação ao edifício.

Cada grupo de objetos corresponde a uma “camada” do edifício, sendo as camadas designadas por “paredes”, “estrutura”, “infraestrutura” e “outras”. Para realçar qualquer uma das camadas, é necessário colocar a aplicação em “Modo de Seleção”, abrir o menu e selecionar a camada que se pretende realçar.

Outra das funcionalidades disponibilizadas permite editar objetos do modelo, como pintar, ocultar (Figura 13) ou modificar a textura de um objeto, de maneira a testar novas

ideias de visualização. Essas operações podem ser executadas selecionando as opções “Pintar” ou “Ocultar”, tocando de seguida sobre o objeto a editar.



Figura 12: Realçar uma camada

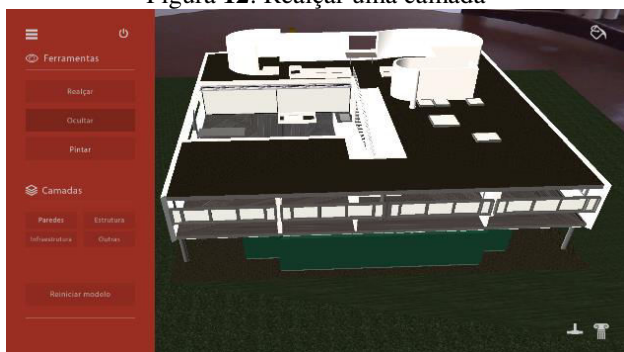


Figura 13: Ocultação de um objeto (parede frontal)

4. AVALIAÇÃO DA USABILIDADE

Realizou-se um estudo de avaliação da usabilidade e satisfação do sistema ARCh que envolveu a análise da execução de simples tarefas, como realizar um corte, realçar uma camada e ocultar um objeto. Para esta avaliação contamos com a participação de 16 estudantes do Mestrado Integrado em Arquitetura do ISCTE-IUL e 4 docentes do curso que participaram na qualidade de peritos.

4.1 Metodologia

Cada sessão foi realizada individualmente, num ambiente controlado e com recurso ao mesmo *hardware* e *software*. No início de cada sessão, os participantes foram informados do contexto e objetivo da avaliação e foi-lhes pedido que respondessem a um inquérito preliminar, usado para recolha de dados do participante. Seguiu-se a apresentação das funcionalidades do sistema e uma demonstração do seu funcionamento. Na Tabela 1 é apresentada a lista de tarefas e sub-tarefas que cada participante deveria executar, durante a sessão. Estas tarefas foram executadas na presença de um observador, envolvido no desenvolvimento do sistema. Durante a realização das tarefas, os participantes podiam falar com o observador, fazendo observações ou comentários sobre o protótipo ou as tarefas solicitadas. O observador não interferiu diretamente na realização das tarefas, limitando-se a dar algumas ajudas verbais, sempre que solicitadas, tomando notas sobre as ajudas solicitadas, o resultado de cada tarefa e outros factos considerados relevantes.

Tarefa	Sub-tarefa
Inicialização	1. Apontar câmara para a marca
	2. Visualizar/Explorar o modelo 3D
Realizar corte	3. Mudar para Modo de Cortes
	4. Alterar posição do corte
Ocultar	5. Mudar para Modo de Seleção
	6. Abrir o menu
	7. Selecionar a opção ocultar
	8. Selecionar um objeto
Realçar	9. Realçar uma camada

Tabela 1: Sub-tarefas realizadas pelos participantes por cada tarefa.

No final da sessão de avaliação, cada utilizador respondeu a dois pequenos inquéritos, um relativo à utilidade do protótipo e outro focando a usabilidade da sua interface gráfica.

4.2 Resultados e Discussão

Na Figura 14 são apresentados os resultados da avaliação do grau de cumprimento das tarefas, donde se pode concluir que todos os participantes concluíram com sucesso todas as sub-tarefas (de 1 a 9) propostas e que, maioritariamente, as mesmas foram executadas com facilidade. As maiores dificuldades ocorreram nas tarefas 3 e 4, para cuja concretização foi solicitado um maior número de ajudas.

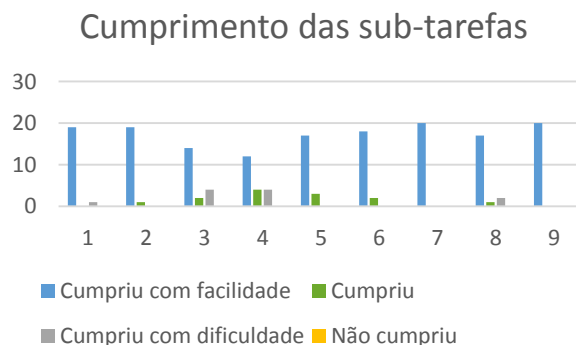


Figura 14: Resultados das sub-tarefas realizadas

Na Tabela 2 são apresentados os resultados do inquérito de satisfação a que os participantes responderam no final da sessão, que consistia em pontuar um conjunto de 7 afirmações sobre o sistema utilizado. As pontuações tomam valores inteiros numa escala de 1 a 5, correspondendo, respetivamente, às respostas: “discordo totalmente”, “discordo”, “indiferente”, “concordo” e “concordo totalmente”. Tanto os estudantes como os peritos consideram que o sistema desenvolvido facilita a visualização dos modelos 3D e a interação com estes e que é útil no processo de conceção em arquitetura, apesar de os peritos concordarem de forma menos assertiva que os estudantes.

No inquérito de satisfação, os participantes pronunciaram-se também quanto ao grau de confiança que depositam na tecnologia que utilizaram e às características que mais e menos valorizaram.

Afirmação:		Média	Mediana
1. Esta solução facilita a visualização e interação com modelos 3D em arquitetura.	E	4,6	5
	P	4	4
2. Esta solução promove o teste de novas ideias na fase de conceção	E	4,2	4
	P	3,8	4
3. A utilização da aplicação acrescenta informação ao processo de conceção	E	3,9	4
	P	3,8	4
4. A utilização da aplicação dá-me um maior controlo sobre o projeto	E	3,8	4
	P	3,8	3,5
5. A utilização da aplicação torna mais compreensível o projeto durante o processo de conceção	E	4,2	4
	P	3,8	4
6. Na generalidade, considero útil a aplicação no processo de conceção em arquitetura	E	4,2	4
	P	3,8	3,5
7. Sinto-me disposto a aprender a utilizar estas tecnologias /dispositivos?	E	4,4	5
	P	4,3	4

Tabela 2: Análise dos resultados do inquérito de satisfação realizado aos estudantes (E) e peritos (P)

Verificou-se que, em geral, que os participantes têm um grau de confiança médio-alto. As características mais valorizadas pelos estudantes foram a facilidade de utilização, a facilidade de demonstração de projetos e de visualizar novas ideias. Os peritos valorizaram as duas primeiras características referidas mas não deram relevância à facilidade de visualização de novas ideias.

Os participantes responderam também a um inquérito sobre a usabilidade da aplicação, cujos resultados são apresentados na Tabela 3. A escala utilizada foi de 1 (“muito má”) a 6 (“muito boa”), sendo os valores intermédios correspondentes a “má”, “insuficiente”, “razoável” e “boa”, respetivamente. O grau de adequação das funcionalidades da aplicação para a realização das tarefas propostas, foi elevado, em ambos os grupos de participantes, sendo de realçar a elevada pontuação atribuída à facilidade de aprendizagem de utilização.

Classificação da aplicação quanto:		Média	Mediana
1. Facilidade de utilização	E	4,9	5
	P	5,3	5,5
2. Grau de satisfação com a sua utilização	E	4,7	5
	P	4,8	4,5
3. Facilidade de aprendizagem	E	5,2	5,5
	P	5,3	5
4. Obtenção dos resultados esperados (como por exemplo, queria fazer um corte e conseguiu)	E	5,3	5
	P	5,3	5,5

5. Semelhança da forma de funcionamento nas diferentes tarefas (como por exemplo aceder a diferentes opções)	E	5,0	5
	P	5,0	5
6. Possibilidade de interagir pelo toque	E	5,0	5
	P	4,8	5
7. Entendimento dos textos apresentados	E	4,9	5
	P	5,5	5,5
8. Tamanho dos botões apresentados	E	5,4	5,5
	P	5,5	5,5
9. Respostas da aplicação às suas ações	E	4,7	5
	P	4,8	4,5
10. Saber o que estava a acontecer na aplicação durante a sua utilização	E	5,0	5
	P	5,0	5
11. Grau de satisfação global com a aplicação	E	5,3	5
	P	5,5	5,5

Tabela 3: Análise do inquérito de usabilidade realizado aos estudantes (E) e peritos (P)

Apesar dos resultados serem todos positivos, os participantes classificaram o grau de satisfação com a sua utilização e a resposta da aplicação às ações com valores mais baixos. Estes valores referem-se a pequenas falhas na interface, como a falta de *feedback* visível do toque. Face a essas falhas, foram sugeridas pelos participantes algumas melhorias, como, por exemplo, uma melhoria ao nível do *design* da interface gráfica da aplicação.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste artigo descrevemos as fases de levantamento de requisitos, desenvolvimento, teste e avaliação de um sistema de RA para apoio ao projeto de Arquitetura, ARch. Este sistema visou demonstrar que a visualização e interação com modelos virtuais 3D de edifícios, utilizando realidade aumentada disponibilizada num *tablet*, é benéfica para o processo de conceção em arquitetura.

Terminado o desenvolvimento, foi avaliada a sua usabilidade e satisfação e analisaram-se os resultados obtidos. Esses resultados, apresentados em pormenor na secção 4.2, indicaram que os participantes gostaram da aplicação e acharam-na fácil de usar, considerando que esta facilitava a visualização e interação com os modelos 3D em arquitetura. Os participantes também concordaram que a solução promovia o teste de novas ideias na fase de conceção, tornando o projeto mais compreensível durante esse processo. Na generalidade, consideraram a aplicação útil no processo de conceção em arquitetura.

Tendo em conta os resultados da avaliação podemos concluir que esta solução é benéfica para o processo de conceção em arquitetura, do ponto de vista de análise iterativa de conceitos e ideias e da compreensão e comunicação do projeto.

Como trabalho futuro, está prevista a introdução de várias melhorias na aplicação desenvolvida e o desenvolvimento de novas funcionalidades. Serão tidas em conta as sugestões dos participantes no estudo para melhorar o *design* da interface gráfica do utilizador. Quanto a novas funcionalidades, prevê-se a possibilidade de controlo da iluminação do modelo por forma a simular diferentes alturas do dia ou do ano, bem como a inserção de objetos animados que permitam, por exemplo, simular o movimento de pessoas ou de carros na rua. Estas funcionalidades permitirão aos arquitetos melhorar a experiência de utilização do sistema.

Outra possibilidade de desenvolvimento futuro é a substituição da marca visual planar, constituída por uma imagem texturada, por uma marca 3D (a própria maquete física), unificando o uso de maquetes e o uso de modelos 3D num novo conceito para conceção em arquitetura. Para isso, será necessário incorporar no sistema um sensor Kinect [Microsoft14], para fazer a reconstrução 3D da maquete física, e substituir o módulo de seguimento da aplicação, atualmente baseado na API NUTTS, por um novo módulo, utilizando a API KinectFusion [Izadi11].

6. REFERÊNCIAS

- [Am14a] AR-media. AR-media™ - Product ARPlayer, 2014. Consultado em Março de 2014 em <http://www.ar-media.it/arplayer>
- [Am14b] AR-media. 2014. AR-media™ - Product ARPlugin for 3ds Max. Consultado em Março de 2014 em http://www.armedia.it/3dsmax_arplugin
- [Amim07] Amim, R. R. *Realidade aumentada aplicada a arquitetura e urbanismo*. PhD Thesis, 2007.
- [Azuma97] Azuma, R. T. A survey of augmented reality. *Presence*, 6(4):355–385, 1997.
- [Bastos05] Bastos, R., Dias, J.M.S. Fully Automated Texture Tracking Based on Natural Features Extraction and Template Matching. *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, páginas 180–183. ACM, 2005.
- [Bastos08] Bastos, R. Automatic camera pose initialization, using scale, rotation and luminance invariant natural feature tracking. *Journal of WSCG*, 16(1-3):97–104, 2008.
- [Bastos09] Bastos, R e Dias, M. S. *FIRST - Fast Invariant to Rotation and Scale Transform: Invariant Features for Augmented Reality and Computer Vision*. VDM Verlag, 2009.
- [Bay08] Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., Gool, L. V., "SURF: Speeded Up Robust Features", *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, Vol. 110, No. 3, pp. 346–359, 2008.
- [Belcher08a] Belcher, D. e Johnson, B. R. An augmented reality interface for viewing 3d building information models. *26th eCAADe Conference Proceedings*, páginas 561–568, 2008.
- [Belcher08b] Belcher, D. e Johnson, B. Mx: A physical model-based mixed reality interface for design collaboration, simulation, visualization and form generation. *Proceedings of the 28th ACADIA Conference*, páginas 464–471, 2008.
- [Broll04] Broll, W., Lindt, I., Ohlenburg, J., Wittkämper, M., Yuan, C., Novotny, T., Mottram, C., Fatah gen Schieck, A. e Strothman, A. Arthur: A collaborative augmented environment for architectural design and urban planning. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, páginas 1–10, 2004.
- [Broschart13] Broschart, D., Zeile, P. e Streich, B. Augmented reality as a communication tool in urban design processes. *Proceedings REAL CORP 2013 Tagungsband*, páginas 119–126, 2013.
- [Freitas10] Freitas, M. R. e Ruschel, R. C. Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura. *Arquitetura Revista*, 6(2):127–135, 2010.
- [Graf10] Graf, H., Santos, P. e Stork, A. Augmented reality framework supporting conceptual urban planning and enhancing the awareness for environmental impact. *Proceedings of the 2010 Spring Simulation Multiconference*, página 181. Society for Computer Simulation International, 2010.
- [Izadi11] Izadi, S., Kim, D., Hilliges, O., Molyneaux, D., Newcombe, R., Kohli, P., Shotton, J., Hodges, S., Freeman, D. e Davison, A. KinectFusion: real-time 3D reconstruction and interaction using a moving depth camera. *24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, páginas 559–568. ACM, 2011.
- [Kato99] Kato, H. e Billinghurst, M. Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. *2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR '99)*, páginas 85–94. IEEE, 1999.
- [Microsoft14] Microsoft. Kinect for Windows | Voice, Movement & Gesture Recognition Technology, 2014. Consultado em Janeiro de 2014 em <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- [OpenGL14] OpenGL. OpenGL Overview, 2014. Consultado em Março de 2014 em <http://www.opengl.org/about/>
- [Sareika10] Sareika, M. *Urban sketcher: mixing urban realities using mixed reality technology*. Thesis, 2010.
- [Veliz12] Veliz, A., Kocaturk, T., Medjdoub, B. e Balbo, R. Dialogs between physical and digital modelling methods on architectural design. *Proceedings of the 30th eCAADe Conference*, Vol. 2:281–289, 2012.
- [Wang08] Wang, X., Gu, N. e Marchant, D. An empirical case study on designer's perceptions of augmented reality within an architectural firm. *Journal of Information Technology in Construction*, 13:536–551, 2008.
- [Wang10] Wang, R. e Qian, X. *OpenSceneGraph 3.0: Beginner's guide*. Packt Publishing Ltd, 2010.
- [Wang13] Wang, X., Kim, M. J., Love, P. E. D. e Kang, S.-C. Augmented reality in built environment: Classification and implications for future research. *Automation in Construction*, 32:1–13, 2013.
- [Zhou08] Zhou, F., Duh, H. B.-L. e Billinghurst, M. Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR. *7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, páginas 193–202. IEEE Computer Society, 2008.