

# Validação de aplicativo comercial visando a incorporação da realidade aumentada a um modelo de avaliação pós-ocupação

*Validation of commercial ar toolkits to support post-occupation evaluation of the built environment*

Márcia Regina de Freitas  
Regina Coeli Ruschel

## Resumo

**N**a Avaliação Pós-Ocupação de edificações avalia-se a satisfação do usuário, o conjunto de informações sobre patologias e desempenho das edificações e identifica-se intervenções realizadas pelo morador. A possibilidade de realizar a identificação de intervenções independentemente do usuário poderia apresentar um ganho de eficiência. Vislumbra-se a aplicação de recursos de tecnologia de Realidade Aumentada (RA) para identificação de reformas realizadas, através da sobreposição do modelo de informação da construção sobre a visualização da edificação. Validou-se o uso de RA móvel por meio de aplicativos existentes para smartphones e tablets. Como contribuição propõe-se a incorporação da RA na sistemática do planejamento, condução e aplicação da Avaliação Pós-Ocupação. No planejamento propõe-se o desenvolvimento de instrumento de pesquisa. Na condução avalia-se a coleta in loco por meio da visualização de modelos sobrepostos. Na aplicação propõe-se a visualização dos resultados pelo recurso de camadas de informação de RA. A transparência do modelo de RA foi utilizada como recurso para permitir a comparação visual entre modelo virtual e modelo real. O desenvolvimento e adequação do modelo virtual, bem como a solução desenvolvida para a experiência de RA proposta são apresentados e discutidos. A experiência aponta para deficiências que ainda inviabilizam a solução tecnológica validada.

**Palavras-chaves:** Realidade aumentada. Reforma. APO. Sistemática.

## Abstract

*Post-Occupancy Evaluation of buildings considers user satisfaction, building pathologies and performance, as well as users interventions in the built environment. The possibility of identifying interventions regardless of the user could provide a significant gain in the efficiency of Post-Occupancy Evaluations. We foresee the application of Augmented Reality (AR) to improve the identification of renovations by overlapping the construction information model with an image of the actual building. This article validates the use of AR on existing smartphone and tablet applications. This study proposes the incorporation of AR into the planning, execution and application of Post-Occupancy Evaluation. For the planning, this study proposes the development of a new research tool. With regards to the execution, this study examined the data collection conditions on site through the visualization of overlapping models. For the application, this study proposes displaying the results through the use of RA information layers. The transparency of the RA model was used to allow comparison between the virtual model and the real model. The development and adaptation of the virtual model and the solution developed for the experiment of the RA proposal are presented and discussed. The experiment points to shortcomings that still make the proposed technological solution unfeasible.*

**Keywords:** Augmented Reality, renovation, POE, systematic.

Márcia Regina de Freitas  
Universidade Estadual Paulista Júlio  
de Mesquita Filho  
Guaratinguetá - SP - Brasil

Regina Coeli Ruschel  
Universidade Estadual de Campinas  
Campinas - SP - Brasil

Recebido em 21/03/14  
Aceito em 31/03/15

## Introdução

Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que acrescenta informação (textual ou gráfica) à visualização do mundo real (AZUMA, 1997; HÖHL, 2009; KIRNER *et al.*, 2004; CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012). É uma tecnologia em crescente evolução e tem seu uso facilitado com o desenvolvimento de aplicativos para equipamentos portáteis que possibilitem a visualização dos artefatos virtuais em tempo real. Ainda existem problemas em relação, por exemplo, à troca de dados via internet, que nem sempre oferece a velocidade e a capacidade de transmissão com qualidade, a ponto de permitir a visualização realista dos elementos virtuais no ambiente circundante.

O setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (Aeco) apresenta características inerentes que dificultam a adoção de tecnologias em seus processos. Isso pode estar relacionado aos profissionais quanto à adesão de novos equipamentos para seu trabalho, aos processos já consolidados que dependem de tempo para adequar-se a novos procedimentos e à tecnologia pelas deficiências devido ao processo evolutivo e constante desenvolvimento (NASCIMENTO; SANTOS, 2002). A complexidade do processo construtivo ou escala de visualização também gera dificuldades na adoção de recursos tecnológicos avançados.

O setor de construção civil nacional tem passado por adequações quanto aos conceitos de desempenho, sustentabilidade ambiental de edifícios e *Building Information Modeling* (BIM), que se tornaram temas obrigatórios no subsetor de Edificações. Isso cria todo um ambiente para adequações em relação à norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) e seus requisitos gerais e específicos. O fator de sustentabilidade para as edificações tem importância incontestável para o setor. Finalmente, BIM tem como conceito favorecer a integração dos agentes e ações em projetos, e tem sido visto como solução para problemas persistentes do setor (PAULA; UECHI; MELHADO, 2013; BALDAUF; FORMOSO; MIRON, 2013). Com esse pensamento, as empresas foram forçadas a buscar alternativas visando a sua margem de lucros, prevendo uma redução de custo, aumento de produtividade e incremento de soluções tecnológicas e gerenciais (TORTATO, 2007; KRAINER *et al.*, 2013).

As empresas foram também induzidas a aumentar seus investimentos em tecnologia para disponibilizar insumos na hora, local, quantidade e qualidade exigidos, bem como promover a informação e o acompanhamento de todos os

processos (VIEIRA, 2005). Nessa direção, as empresas e os profissionais têm buscado as novas tecnologias em equipamentos de informática, hardware, software, enfim, meios de aumentar a produtividade e melhorar a qualidade, bem como reduzir custos dos empreendimentos (SCHEER *et al.*, 2007).

Em meio a esse processo de modernização, a RA pode ser utilizada como um instrumento de comunicação que maximiza o olhar e a compreensão sobre o mundo, em especial sobre o ambiente construído. No caso deste estudo, busca-se viabilizar o apoio aos agentes técnicos responsáveis por avaliações de construções após a ocupação do espaço, através do processo sistemático de APO. Na condução de APO, avaliam-se a satisfação do usuário e o conjunto de informações sobre patologias e desempenho das edificações, e identificam-se intervenções realizadas pelo morador. As intervenções identificadas em uma APO desvendam dados adicionais a serem incorporados ao processo de projeto de futuras construções do mesmo tipo, melhorando a qualidade das habitações para o público-alvo. Essa coleta de dados “*in loco*” é dificultada por vários fatores: falta de memória de reformas pelo morador, indisponibilidade de pessoa com conhecimento da reforma no momento da visita, perda desse histórico na troca de proprietários, ausência de registros, entre outros. A possibilidade de fazer essa identificação independentemente do usuário poderia oferecer um ganho de eficiência, o que é almejado para a real aplicabilidade de resultados de APO. Esse ganho poderá ocorrer com a aplicação de recursos de tecnologia de RA para identificação de reformas realizadas, através da sobreposição do modelo de informação da construção sobre a visualização do modelo real edificado.

Neste artigo descreve-se o uso de Sistema de Realidade Aumentada Móvel, visando dar ao agente que aplica a metodologia de APO a possibilidade de se locomover no espaço e visualizar o que lhe é de interesse relacionado às reformas feitas. Neste texto são mostrados resultados já verificados, bem como são discutidas dificuldades inerentes ao uso irrestrito dessa tecnologia para a Aeco e os fatores geradores de tais problemas.

## Fundamentação teórica

### Avaliação Pós-Ocupação

Avaliação pós-ocupação é definida como um processo de avaliação de construções de forma sistemática e rigorosa, quando estas já estão na fase de uso por algum tempo (PREISER; RABINOWITZ; WHITE, 1988). O foco principal de APO incide sobre os ocupantes das construções e suas necessidades, o que dá aos avaliadores a percepção das consequências das decisões tomadas durante o projeto, assim como os resultados em termos de desempenho da edificação. Com estudos desse tipo permite-se obter uma base de conhecimento que viabilize a criação de construções mais adequadas. APO também é definida como um conjunto de técnicas e métodos aplicados a um ambiente durante seu uso para avaliar o desempenho tanto da perspectiva de especialistas quanto do usuário, apontando sistematicamente os aspectos funcionais positivos e negativos. Avaliam-se aspectos como sistema de construção, conforto ambiental e relação custo-benefício relacionada à manutenção, enfim, as relações entre o ambiente construído e o comportamento humano (ORNSTEIN, 2007).

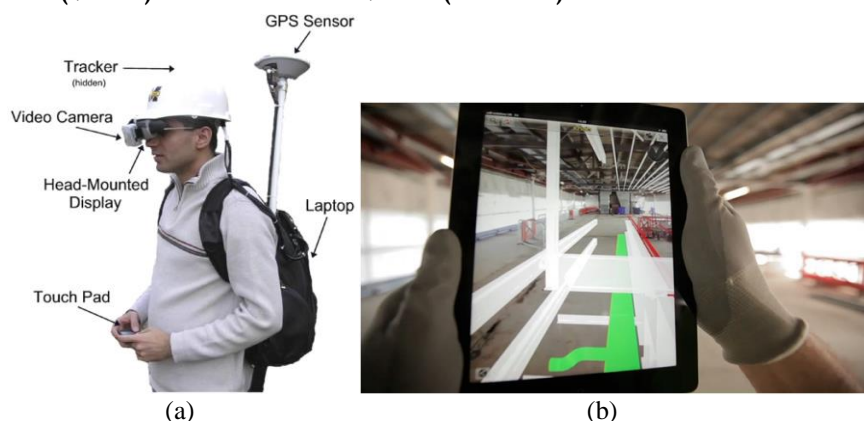
As habitações projetadas e construídas nem sempre atendem aos anseios dos usuários. Esse fato, somado à falta de infraestrutura urbana, gera insatisfação e provoca intervenções estruturais, funcionais ou estéticas nas moradias, com vistas à melhoria da qualidade de vida (BITTENCOURT; SILVA, 1996; KOWALTOWSKI; PINA, 1995). As intervenções podem ser percebidas e anotadas em base de dados resultantes de APO, em geral obtidas em forma textual, gráficos, registros fotográficos e planilhas. Como a visualização desses dados nem sempre é simples, a utilização de recursos tecnológicos pode ser proposta para facilitar a busca do aperfeiçoamento das construções futuras, usando as informações para retroalimentar projetos similares. A utilização da RA poderá tornar o processo de APO mais ágil e mais bem compreendido pelos agentes técnicos que fazem a avaliação das habitações, implicando também a melhoria da apresentação dos resultados. Contrapor o que foi projetado com o construído e alterado por desejo do usuário (reformas) melhora a identificação e o registro das mudanças durante APOs. Dessa forma, o resultado deixa de ser somente textual e passa a ser também visual, o que facilita a compreensão dos resultados obtidos com as análises. Nesta pesquisa visa-se associar uma nova tecnologia a esse processo já estabelecido, porém não amplamente utilizado por profissionais do meio de arquitetura e da construção.

### Realidade Aumentada

As aplicações de RA desenvolvidas em ambientes de PCs geraram um crescimento de interesse, inclusive do setor de Aeco, e iniciaram-se estudos para o uso efetivo nas atividades. Em muitos casos, a aplicação dessa tecnologia exige a mobilidade do utilizador e acesso a informações em qualquer hora e lugar; portanto, passou a ser necessário o uso de dispositivos móveis. Os primeiros protótipos de aplicações móveis de RA foram possíveis com *Head Mounted Displays* (HMD, espécie de capacete), conectados a um laptop responsável pelo processamento das informações. Esse equipamento era, de maneira geral, colocado nas costas do usuário para permitir a livre movimentação (IZKARA *et al.*, 2007) (Figura 1a). Com a evolução da tecnologia de tablets e smartphones, que são equipados com GPS, conexão de internet sem fio e/ou 3G/4G, as aplicações de RA se tornaram mais versáteis (RÖSLER, 2009) (Figura 1b). Esses dispositivos combinam a capacidade de processamento, a memória, a tecnologia de interação, GPS e compasso digital, além de câmeras integradas, que permitem a visualização mediante a captura de vídeos ou imagens do ambiente real, fazendo o processamento da mistura antes de exibi-la ao observador (BIMBER; RASKAR, 2005). Com a grande capacidade desses dispositivos móveis e a simplificação de hardware, nota-se um possível aumento na gama de utilizações para RA (CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012). Atualmente existem inúmeros aplicativos desenvolvidos para tablets e smartphones, em todos os sistemas operacionais (Android, iOS, etc.), uma diversidade deles com indicações específicas de uso, com notável e constante evolução tecnológica, principalmente relacionada aos aplicativos para uso pela internet, dependentes também da qualidade das conexões.

Cuperschmid e Freitas (2013) apresentam uma classificação de aplicativos para equipamentos móveis disponíveis comercialmente e explicitam suas principais características. Entre eles há aplicativos com sistema operacional Android e iOS que permitem a criação de RA por meio de uma *Application Programming Interface* (API) ou através de uma interface gráfica com o usuário (GUI). Um dos aplicativos apresentados, o Junaio (Metaio), oferece possibilidades para utilização de RA, com uso ou não de marcadores e rastreamento de objetos 3D, e permite a inserção de conteúdo multimídia.

Figura 1 - (a) Componentes básicos de hardware de um sistema de RA móvel; e (b) visualização de modelo 3D de infraestrutura por meio de tablet pela empresa de engenharia civil Bechtel, que usa o aplicativo Junaio (Metaio) e o Autodesk 360 Mobile (Autodesk)



Fonte: (a) Behzadan, Timm e Kamat (2008); e (b) Apple (2015).

Além dessas formas de criar RA para interação com o usuário, em Cuperschmid, Freitas e Ruschel (2012) são descritas outras técnicas de interação usadas em aplicações de RA, tais como interfaces baseadas em gestos, interação por controles remotos e interfaces tangíveis. Os dispositivos usados para visualização de RA mostrados pelos autores vão desde os HMDs até dispositivos especiais que favorecem a experiência do usuário com os elementos virtuais. O rastreamento e registro correto dos elementos virtuais para seu posicionamento no ambiente real é parte importante da tecnologia e é visto como desafio nas pesquisas sobre RA. Para adicionar o objeto real em uma posição definida, bem como rastrearlo, alguns recursos são usados, tais como marcadores, tecnologia de sistema de posicionamento global (GPS) e sensores infravermelhos. São técnicas e recursos em constante evolução, visando tornar a interação do usuário com elementos virtuais o mais natural possível.

Recentemente, múltiplos estudos de revisão bibliográfica ou de apontamento de tendências de pesquisa em RA aplicada ao ambiente construído (WANG *et al.*, 2013), à indústria da construção (RANKOHI; WAUGH, 2013) e à arquitetura (WANG, 2009; FREITAS; RUSCHEL, 2013; CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012) foram divulgados, o que demonstra o interesse e a demanda de direcionamento em pesquisa nessa área.

Para Wang *et al.* (2013), a RA “[...] tem o potencial de modificar como se interage e se vivencia o ambiente construído [...]”. O estudo classifica publicações científicas sobre RA aplicada ao ambiente construído no período de 2005 a 2011 e verifica que as experiências

relatadas, na maioria, são laboratoriais ou de prova de conceito. Dessa forma, os autores qualificam RA aplicada ao ambiente construído como uma nova tecnologia em estado inicial de aplicação. A RA é classificada em três níveis: nível 0, que por meio de um código de barra ou reconhecimento de imagem 2D faz um *hiperlink* do ambiente físico para o virtual; nível 1, que aumenta a realidade a partir de um marcador; nível 2, que implementa RA sem marcador envolvendo sistemas de rastreamento mais robustos; e nível 3, em que a visão é aumentada.

Rankohi e Waugh (2013) apontam os três principais usos de RA: simulação ou visualização, comunicação ou colaboração, e acesso à informação ou avaliação. Os autores identificaram vários benefícios da aplicação de RA na construção civil, destacando a comparação do construído com o planejado para auxiliar no controle da obra, na melhoria de oportunidades de colaboração e no treinamento em projetos similares. Identificou-se que entre as fases do ciclo de desenvolvimento do produto – concepção, desenvolvimento do projeto, construção e manutenção - a RA é mais aplicada na construção, seguida da manutenção e do projeto. Neste estudo destacou-se a RA aplicada à manutenção com ênfase no reconhecimento de imagem para a automação de processos.

Wang (2009) entende a RA como uma plataforma de visualização intuitiva para o projeto arquitetônico, realçando desde o ato de esboçar nos estágios iniciais de projeto, a visualizar modelos em formatos e com interatividade diferenciados, até suportar a tomada de decisão. O autor não somente exemplifica aplicativos de RA para uso no escritório de projeto como também aponta aplicativos para uso no ambiente construído

(gestão de facilidades) e no ambiente externo. Em ambientes externos são indicados aplicativos de RA que projetam sobre a visualização do local novas construções. Para esse autor, além dos cuidados na modelagem, os limites da RA são tecnológicos. A RA requer rastreadores, sensores e localizadores de precisão, e também sistemas de renderização em tempo real. Essa tecnologia ainda demanda esforço de desenvolvimento industrial e acadêmico.

Freitas e Ruschel (2013) fizeram um levantamento da atividade de pesquisa em realidade virtual aplicada à arquitetura fundamentado em estudos publicados entre 2000 e 2011 nos eventos científicos promovidos pela Acadia<sup>1</sup> e organizações irmãs (Ecaade<sup>2</sup>, Caad Futures<sup>3</sup>, Caadira<sup>4</sup>, Ascaad<sup>5</sup> e Sigradi<sup>6</sup>). Verificou-se que o interesse maior de pesquisa em realidade virtual em arquitetura era relativo ao método de projeto, à teoria da arquitetura e história, e à compreensão dos fatores humanos da interação com o espaço e artefatos. As principais ênfases de pesquisa era o desenvolvimento de aplicações associado à visualização e à discussão teórica de implicações correspondentes. No aspecto da tecnologia, as pesquisas tanto avaliam ferramentas como implementam e desenvolvem aplicações. Comparando pesquisas relativas à RV e à RA, observou-se uma transição de interesse na comunidade científica da primeira para a segunda, e houve declínio no tempo das publicações relativas à RV e crescimento de publicações abrangendo RA. Poucos estudos de caso da prática real de projeto são relatados.

### Algumas questões técnicas a serem consideradas para visualização com RA

Ao desenvolver aplicações de RA com ferramentas existentes no mercado (*out of the shelf applications*), algumas questões técnicas devem ser consideradas e conhecidas para verificar a adequação da ferramenta ao objetivo do desenvolvedor. As ferramentas são desenvolvidas para propósitos genéricos e distribuídas com a intenção de atingir indivíduos com ou sem conhecimentos prévios na tecnologia de RA, necessitando avaliação para casos específicos. No caso do estudo descrito neste artigo, por exemplo,

é necessário saber se a ferramenta permite o efeito de oclusão na visualização da RA.

A oclusão é um dos efeitos chamados passivos que fazem parte do estudo da estereoscopia. A estereoscopia estuda a visão binocular ou estereoscópica, possível através da visão simultânea dos dois olhos de um indivíduo (considerando a distância entre eles), dando a noção de tridimensionalidade à visão humana (SISCOUTTO *et al.*, 2006; AZUMA *et al.*, 2001; HOLLERER, 2004; BEHZADAN; KAMAT, 2007). A oclusão existe quando ocorre uma interferência na visão do observador em relação aos objetos envolvidos em uma cena. Através da oclusão é que se analisa a visão total ou parcial de objetos que estejam atrás de outros. Isso diz respeito à distância da câmera (olhos) em relação aos objetos, ou sua ordem na cena.

A questão é que as ferramentas comercialmente disponíveis para criar aplicações com RA nem sempre possibilitam o efeito de oclusão esperado, ou seja, considerando a visão do usuário em relação ao mundo real com o elemento virtual posicionado a uma distância especificada do observador e a oclusão do elemento virtual por tudo que existe entre o observador e o elemento virtual. Isso significa que o objeto virtual é posicionado no ambiente sempre em primeiro plano para o usuário, independentemente se existem objetos situados entre o observador e a RA que estariam de certa forma atrapalhando a visão da própria RA. Para a aplicação em questão, a oclusão aplicada sobre a RA é essencial, pois permite identificar, por exemplo, intervenções de acréscimo ou ampliações em edificações.

### Building Information Modeling (BIM)

*Building Information Modeling*, ou Modelagem da Informação da Construção, é definida como uma tecnologia de modelagem e processos associados para produzir, analisar e comunicar modelos com as informações de edifícios (EASTMAN *et al.*, 2008). Trata-se de uma tecnologia emergente e uma mudança processual para os setores de Aeco (SUCCAR, 2009). É um conceito que apresenta características que o tornam diferente dos sistemas CAD comumente usados por profissionais de Aeco. A interoperabilidade é uma das características de BIM e consiste na possibilidade de importar (para criação e edição de projeto) e exportar dados em vários formatos (entre diferentes aplicativos computacionais), o que significa a garantia de uma prática integrada entre uma equipe de trabalho (EASTMAN *et al.*, 2008). Dessa forma, a um modelo de informação gerado segundo esse conceito são permitidos o reuso e a

<sup>1</sup>Association For Computer Aided Design in Architecture.

<sup>2</sup>Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe.

<sup>3</sup>Computer Aided Architectural Design Futures.

<sup>4</sup>Association For Computer-Aided Architectural Design Research in Asia.

<sup>5</sup>Arab Society For Computer Aided Architectural Design.

<sup>6</sup>Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital.

associação de novas informações por diferentes profissionais envolvidos e em distintos programas de computadores ao longo do processo de desenvolvimento de projetos para o empreendimento.

São consideradas ferramentas de autoria BIM os sistemas computacionais que permitem aos usuários elaborar e analisar modelos compostos a partir de objetos paramétricos. Eastman *et al.* (2008) acrescentam que, a partir da criação do modelo de informação da construção, automaticamente são gerados documentos, desenhos, quantitativos, entre outras informações constantemente vinculadas entre si. Dessa forma, o conceito BIM representa a soma de esforços de instituições internacionais e nacionais para promover uma integração de todo o processo de construção, desde a concepção do projeto, a execução, até a fase de operação e manutenção de edifícios.

Após gerado um modelo BIM, sua evolução baseia-se na necessidade de incorporar informações e detalhes geométricos vinculados para uso em cada etapa do processo construtivo. Dessa forma, faz-se necessário estabelecer níveis de detalhamento de acordo com cada fase do ciclo de vida da edificação.

### Nível de Desenvolvimento ou *Level of Development* para modelos BIM

Bedrick (2013) diferencia nível de detalhe (*level of detail*) de um modelo de informação de nível de desenvolvimento (*level of development*), ambos representados pela sigla LOD. O nível de detalhe se refere à especificação do modelo, e o nível de desenvolvimento, a sua evolução.

Neste estudo utiliza-se LOD significando nível de desenvolvimento segundo o documento AIA Document G202™ 2013 (AMERICAN..., 2013). O LOD identifica o requisito mínimo de conteúdo associado a um uso específico para cinco fases do ciclo de vida da edificação. Cada LOD subsequente baseia-se no nível anterior. O LOD 100 ou nível conceitual refere-se à fase inicial de concepção ou estudo volumétrico do projeto (estudo preliminar). O LOD 200 ou nível de geometria aproximada reflete a fase de concepção esquemática do projeto e possui parte da geometria do modelo definida, possibilitando quantitativos aproximados, tamanho e formas predefinidos (anteprojeto). No LOD 300 refere-se à geometria precisa; é utilizado na fase em que o projeto já está praticamente definido, possuindo a especificação dos materiais, os quantitativos precisos e refletindo o que será construído no canteiro (projeto pré-

executivo ou executivo). O LOD 400 refere-se ao modelo pronto para a construção e fabricação (projeto de produção ou fabricação). O último nível, LOD 500, reflete como o modelo foi construído e é considerado ideal para a realização de reformas, manutenção e operação (projeto *as-built*).

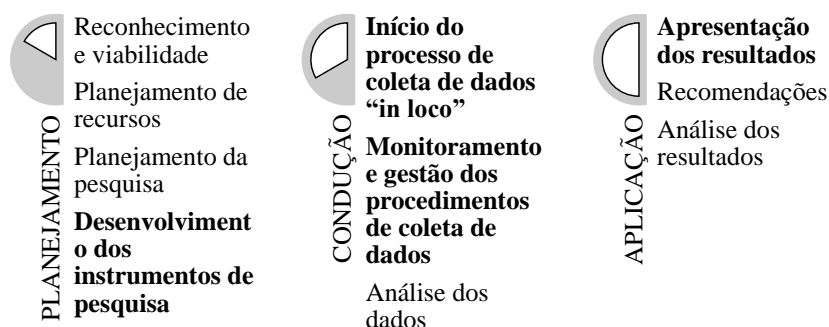
Segundo Leite *et al.* (2011), há interesse em pesquisas relacionadas à utilização dos modelos de informação, porém poucas investigam o esforço necessário para geração do modelo em diferentes LODs e seu impacto sobre o projeto. O conhecimento do LOD é um importante fator para uso de modelo BIM em RA móvel, já que esse dado interfere no tamanho total do arquivo (em kb) a ser usado em aplicativos para smartphones e tablets que fazem a transmissão dos dados via internet em tempo real. A ação necessária para garantir o uso desses modelos, neste contexto, passa pela redução de complexidade até que se encontre o ponto ótimo entre tamanho de arquivo e representação do modelo a ser visualizado no edifício real. Conclui-se que, apesar do processo de filtragem do conteúdo, o LOD do modelo pode não ser alterado; apenas se devem retirar elementos que não agreguem informações à visão com RA para detecção de reformas, resultando na redução do arquivo final.

### Método da pesquisa

Nesta pesquisa tomou-se como base para o desenvolvimento da avaliação pós-ocupação o modelo de processo desenvolvido por Preiser, Rabinowits e White (1988), que norteia o processo de APO seguindo-se três fases a serem administradas até a finalização das análises, a saber: planejamento, condução e aplicação. Este estudo prevê um rearranjo desse modelo de processo para inclusão da RA e ajustes nas fases (Figura 2).

Na fase de planejamento, segue-se o processo tradicionalmente feito, apenas com ajuste no desenvolvimento dos instrumentos de pesquisa, uma vez que se inserem novos equipamentos. Já na fase de condução, na qual se dá o início da coleta de dados, o monitoramento e gestão dos procedimentos e a análise das informações obtidas, o rearranjo é completo para atendimento aos requisitos necessários de RA nas atividades. Finalizando o processo, na fase de aplicação, para validar a APO com RA é necessária uma comparação dos ganhos com o método proposto em relação ao processo tradicional. Na apresentação dos resultados é que os dados são comparados e validados.

Figura 2 - Processo de desenvolvimento de APO, segundo Preiser, Rabinowitz e White (1988), e atividades a serem ajustadas para uso de RA (em negrito)



Este artigo apresenta a validação da adaptação proposta para as fases de planejamento e condução. Busca-se aferir a viabilidade e a possibilidade de uso efetivo da tecnologia nesse tipo de estudo realizado em edificações, para verificação de alterações, segundo aspectos técnicos e de forma visual.

Para a atividade de desenvolvimento do instrumento de pesquisa na fase de planejamento da APO com RA, são propostos três passos: modelagem 3D, tratamento do modelo para visualização e desenvolvimento da aplicação de RA. Inicia-se com a modelagem 3D (ou utiliza-se o modelo já desenvolvido com conceito BIM), que é exportada em formatos para aplicativo de RA móvel (.obj, .fbx, .md2). O modelo é tratado e simplificado para a redução de polígonos e do tamanho final do arquivo, para visualização em dispositivos móveis. A transparência para o modelo é testada e estabelecida para permitir a melhor visualização concomitante do edifício real e do modelo 3D sobreposto. Em seguida o modelo é disponibilizado para o aplicativo, é feito o *upload* para o servidor da empresa desenvolvedora, e são realizados os ajustes de posicionamento e escala.

Na fase de condução ocorrem a visualização do modelo sobreposto ao edifício real e a análise dos dados. Na etapa de visualização é que se verificam as alterações na comparação do projeto original e do que realmente foi construído, permitindo a percepção das diferenças encontradas. Com os dados captados passa-se a fazer a junção desses registros para avaliação das reformas observadas com a sobreposição. Os registros podem ser fotográficos, feitos diretamente no tablet usado para visualizar o modelo 3D sobre o edifício, capturados a cada encontro de alterações.

## Planejamento: desenvolvimento do instrumento

Nesta seção são apresentados os passos seguidos para as sequências descritas no desenvolvimento de APO com RA na seção anterior. Para este estudo desenvolvido foi utilizado como objeto da pesquisa o edifício de administração da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da Unicamp, em Campinas, SP (Figura 3a), e seu modelo em 3D (Figura 3b).

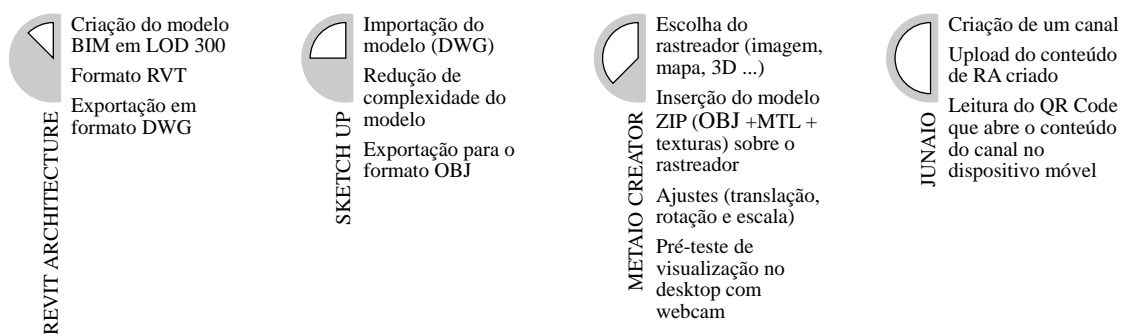
## Tratamento do modelo 3D

A Figura 4 mostra os aplicativos e o fluxo de ações no processo de criação, tratamento e visualização do modelo 3D. O modelo foi gerado no Revit (Autodesk) em seu formato original (RVT) e exportado como arquivo DWG para leitura no Sketchup e início do processo de redução de complexidade do modelo. As informações inerentes ao conceito BIM, adicionadas ao modelo durante seu desenvolvimento, se perdem nesse processo de transferência. Ainda assim, dependendo do tamanho do edifício representado pelo modelo, gera-se um arquivo volumoso em termos de kb, pela quantidade de informações gráficas referentes aos elementos da edificação: paredes, portas, janelas (abertura e esquadrias), lajes, vigas, etc. Para o modelo é definida a escala natural (1:1) na interface do Metaio Creator. A filtragem do modelo 3D para retirada de elementos que pouco ou nada contribuirão com a APO permite e facilita sua visualização sobreposta ao edifício real, através de um dispositivo móvel, transmitido via internet na interface do Junaio, deixando o modelo com menor complexidade (menor número de elemento – polígonos em kb).

Figura 3 - (a) Vista do prédio administrativo; e (b) modelo 3D original na interface do software Revit (Autodesk)



Figura 4 - Fluxo de ações para a visualização do modelo em dispositivos móveis



Para a fase de planejamento da APO e desenvolvimento do instrumento de pesquisa com RA, partiu-se do modelo BIM completo do edifício com LOD 300 para posterior ajuste, de acordo com o aplicativo de RA utilizado. O modelo BIM inicial do edifício da FEC, desenvolvido pelo escritório da Coordenadoria de Projetos (CProj) da Unicamp, foi utilizado para o prosseguimento das atividades de tratamento e redução de complexidade, de acordo com os requisitos necessários para o aplicativo Metaio Creator e Junaio.

A APO, de maneira genérica, pode ser desenvolvida tanto nos ambientes internos de uma edificação quanto nos externos, dependendo do foco do estudo. Para esta pesquisa convencionou-se desenvolver os trabalhos na identificação de intervenções externas do prédio em estudo.

Como requisito inicial para uso do modelo no aplicativo de RA, verificou-se a restrição quanto à quantidade de polígonos existentes, o que interfere no tamanho e no detalhamento da imagem. É recomendado pelo desenvolvedor do aplicativo que o arquivo contendo o modelo 3D não exceda os 800 kb. Todo o processo de adequação do modelo 3D foi feito usando o Sketchup 8 Pro (Trimble), por permitir a exportação do modelo em

formato .obj, uma das extensões requeridas pelo aplicativo.

A partir disso, iniciou-se o processo de tratamento e filtragem de elementos do modelo .rvt existente, primeiramente deixando apenas um dos edifícios. A opacidade também é um fator importante, pois o observador deve ter a clara interpretação do modelo 3D sobre o edifício representado. A Figura 5 traz algumas imagens da sequência de ações realizadas para obter um protótipo inicial do modelo 3D para RA. A verificação do tamanho do arquivo OBJ exportado foi realizada sempre a cada modificação do modelo no Sketchup.

Ao exportar o modelo em OBJ, outro arquivo-texto é gerado, com extensão MTL, que descreve os materiais e suas coordenadas no modelo. Para o aplicativo Metaio Creator, um arquivo compactado ZIP foi gerado contendo o OBJ, o MTL e as texturas usadas, e inserido sobre o rastreador (marcador).

### Desenvolvimento da experiência com RA

A Metaio é uma companhia que desenvolve produtos relacionados à RA para utilização como usuário ou desenvolvedor de conteúdo. Os conteúdos desenvolvidos ficam armazenadas nos



servidores da companhia e disponibilizados para dispositivos móveis do mundo todo. É possível desenvolver conteúdo de RA para plataformas de programação voltadas para Android, iOS e Windows. A interface de programação para Windows oferece como alternativas o ambiente de desenvolvimento (SDK), linguagem C++ e *Augmented Reality Experience Language* (Arel).

O conteúdo desenvolvido é associado ao mundo real e disponibilizado para visualização através do *browser* do Junaio. A plataforma Junaio associa elementos virtuais sobre a visão do mundo real, através de rastreamento de conteúdo 2D/3D, usando marcadores ou sistema de posicionamento global por satélites (GPS) para distribuir os dados virtuais.

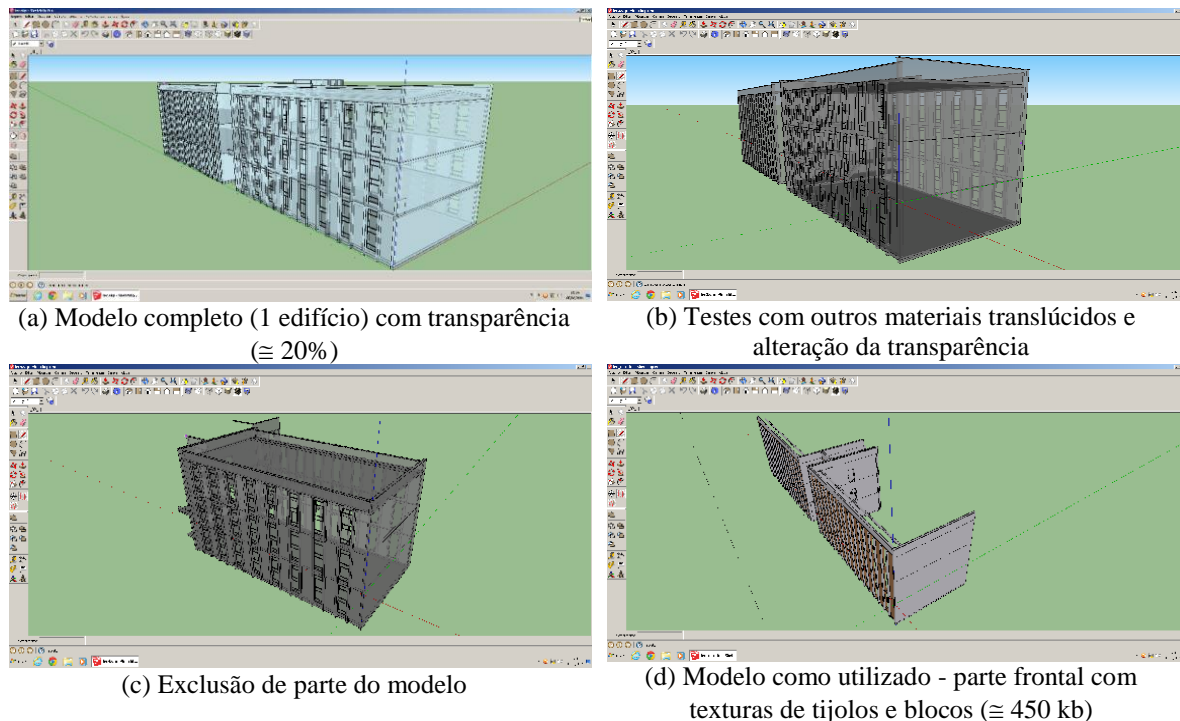
O Metaio Creator é um dos produtos desenvolvidos pela empresa definido como uma ferramenta de autoria que permite criação e desenvolvimento de cenários de RA, baseado na tecnologia de rastreamento de imagem. É uma ferramenta que permite a utilização de versão gratuita, com restrições, ou versão para uso comercial com aquisição de licença. A restrição principal se refere ao número de rastreadores possíveis em um mesmo cenário, que na versão

gratuita se restringe a dois. A experiência descrita neste artigo foi desenvolvida com a versão gratuita, já que o uso de vários rastreadores foi dispensável.

Trata-se de uma ferramenta que não requer conhecimentos sobre a tecnologia de RA, nem de programação, apresentando as informações em uma interface gráfica intuitiva, o que pode facilitar o uso. Há outros produtos da Metaio que podem ser usados em conjunto com o Creator para desenvolver projetos personalizados e mais elaborados, tais como Metaio SDK.

O processo de desenvolvimento de experiências com RA móvel usando Metaio Creator passa pelas etapas de *upload* de uma imagem, a qual se deseja rastrear, e sobreposição do conteúdo virtual. Para disponibilização em dispositivos móveis, o usuário cria diretamente na interface da ferramenta um canal no aplicativo Junaio, forma pela qual a informação é categorizada dentro do Junaio, que pode ser entendido como um *website* em um *web browser* normal. O canal específico contém as informações sobre o conteúdo a ele referenciado pelo desenvolvedor, tais como dados de geolocalização para a visualização dos elementos virtuais.

Figura 5 - Processo de redução de complexidade do modelo no Sketchup para o Metaio Creator/Junaio



Para a experiência realizada, após o modelo 3D do edifício existente ter sido simplificado e ter elementos filtrados para se adequar à quantidade mínima de polígonos possível, foi salvo no formato OBJ. Arquivos OBJ são baseados em texto, descrevem uma geometria e suas texturas, e suportam tanto curvas como superfícies. O arquivo foi inserido na interface do Creator e passou a ser testado para a sobreposição. Após testes iniciais (*quick preview*), fez-se o *upload* do conteúdo para um canal Junaio (criado para o teste) e visualizado em um iPad 2 (iOS) e em um smartphone com plataforma Android. O conteúdo desenvolvido ficou armazenado na Metaio Cloud para visualização *on-line* em dispositivos móveis. O dispositivo móvel no qual é visualizada a experiência com RA tem o aplicativo instalado e a câmera apontada para um marcador posicionado no edifício (Figura 6), que serve de origem para a sobreposição do modelo 3D simplificado e transparente para a visão simultânea. O marcador foi escolhido através da interface do aplicativo Creator, que atribui uma quantidade de estrelas (1 a 3) de acordo com a qualidade da imagem para o rastreamento (quanto maior a quantidade, melhor a qualidade de reconhecimento da imagem). O marcador escolhido obteve 3 estrelas, o que significa uma qualidade ótima para rastreamento com o aplicativo.

## Condução: coleta *in loco*

Com a aplicação de RA pronta para os testes *in loco*, passou-se a testar a melhor visualização dos modelos sobrepostos (real x virtual). Foram testadas opacidades diferentes no modelo para a decisão visual sobre qual apresentaria melhor resultado para distinção do modelo 3D em relação ao edifício. Foram testadas as opacidades de 10% a 100% (variando de 10 em 10).

O aplicativo utilizado para a experiência com RA não permite a visualização com oclusão, pelo menos não da forma como seria necessário. Por exemplo, em casos de vegetação no local à frente do edifício em relação ao usuário, o modelo a cobre e fica sempre em primeiro plano. Na interface do Metaio Creator, em uma janela de configuração para o modelo virtual, existe uma opção que trata de oclusão, que é: “Use este

modelo como uma geometria de oclusão”. Esse item requer que haja dois modelos, um com o formato da geometria de oclusão e o outro que aparecerá recortado por esta. No caso da vegetação, ter-se-ia que criar um modelo 3D com a forma das plantas previamente e inseri-lo em um rastreador para que, quando se visualizasse o modelo do edifício, a forma da planta aparecesse recortada sobre este. Essa forma de oclusão, portanto, não se aplica neste caso.

O teste com opacidade total, mediante a não possibilidade de correto efeito de oclusão, inviabiliza a visualização concomitante do modelo 3D e do edifício, permitindo apenas a visão do modelo virtual em primeiro plano. Dessa forma, não possibilita a captura de prováveis alterações no edifício real de acordo com o modelo 3D original.

Outros valores de opacidade foram sendo testados, bem como o melhor posicionamento para o marcador no edifício. A Figura 7 apresenta os testes feitos em relação às opacidades, variando do opaco total para os níveis decrescentes.

Com uma opacidade de 70-50% foi obtida uma qualidade visual que permitiu a visualização com RA, possibilitando contrapor com visibilidade a imagem sobreposta e a imagem real. Adotou-se o nível de opacidade de 70% para um teste inicial, supondo-se que a faixa mediana de valores para transparência do modelo (50%, 60%, 70%) permite um grau de distinção desejado do modelo sobre o edifício. A Figura 8 mostra um usuário leigo testando a sobreposição de imagens durante a visualização dos modelos com um mesmo nível de transparência (70% de opacidade). Os outros níveis de opacidade deverão ser testados de maneira similar. A Figura 9 apresenta exemplos de visualizações na tela do tablet, mostrando o modelo com transparência que permite a visão da parede real em segundo plano (tijolos) e o efeito de oclusão do modelo 3D sobre objetos que deveriam aparecer por trás deste na cena (plantas, marcador).

A Figura 9 mostra que a sobreposição foi obtida, o que permitiu a visualização simultânea dos edifícios com o modelo 3D. Outros testes estão sendo realizados para permitir avaliar o limite de utilização dessa tecnologia para o objetivo proposto.

Figura 6 - (a) Imagem 2D usada no rastreamento e (b) edifício da FEC com o marcador posicionado em coordenada conhecida



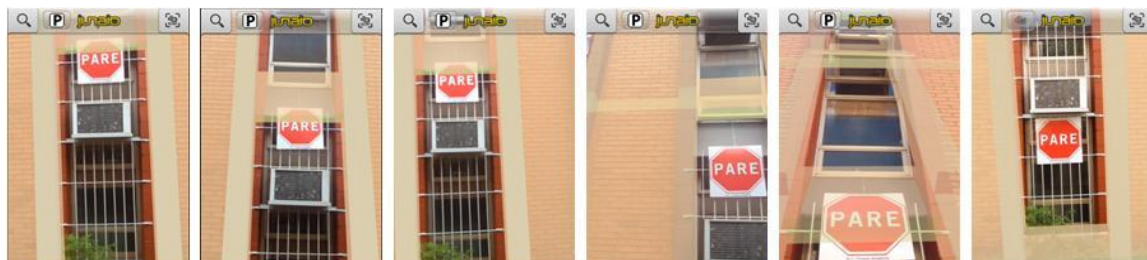
Figura 7 - Testes de opacidade do modelo 3D para visualização sobreposta ao edifício



Figura 8 - Usuário visualizando a sobreposição do modelo 3D transparente sobre o edifício na interface do Junaio, com o iPad



Figura 9 - Exemplos de captura de imagem da visualização sobreposta na interface do Junaio no iPad



## Aplicação: apresentação dos resultados

Uma das aplicações de RA se dá no auxílio à análise visual dos resultados de APO, possibilitando-se a visualização e a manipulação de camadas de informação adicionadas a ambientes reais. Dessa forma, permite-se a visão concomitante da informação virtual sobre o local de realização da APO. As camadas virtuais, ou *layers*, são desenvolvidas em aplicativo como o Junaio. No caso de estudo realizado em um conjunto habitacional CDHU em Campinas (Campinas F), procedeu-se à criação e aplicação de um questionário simplificado de APO entre moradores (síndicos) de blocos (Quadra A1). Como resultado da APO foram levantadas as alterações externas aos blocos executadas pelos moradores após ocuparem o espaço. Os principais motivos que levaram a essas alterações foram segurança dos moradores, aspecto estético do bloco e melhoria do aspecto funcional de alguns aparatos e ambientes externos do CDHU.

Entre algumas mudanças feitas estava a inclusão de rampas na área do estacionamento e, entre os blocos para acessibilidade de deficientes, a inclusão de cercas entre e ao redor dos blocos, para melhorar a segurança dos moradores e evitar problemas sociais, como tráfico de drogas e prostituição, e a inclusão de portões eletrônicos, para melhorar a segurança e facilitar o acesso de carros à garagem.

A Figura 10a mostra o posicionamento da camada de informações com os pontos georreferenciados, apresentando as alterações detectadas e visíveis de acordo com o ângulo de visão do observador. Também é mostrado através da camada de informação na interface do Junaio o valor indicativo das distâncias do ponto de observação até o POI (*Point Of Interest*), número sobre o qual recaem as incertezas e imprecisões do equipamento GPS do dispositivo móvel. Na Figura 10b vê-se um dos pontos (portão eletrônico) onde houve alteração, com os dados referentes visualizados sobre ele na tela do dispositivo móvel com o Junaio. As informações contidas na camada de informação foram alocadas no ambiente real em suas posições com o auxílio de um GPS, que determinou as coordenadas de cada ponto de interesse ou POI. O dispositivo de reprodução (iPad2) forneceu as coordenadas do usuário, e com isso foi possível a alocação dos pontos. Além de visualizar as alterações realizadas, ao clicar sobre os POIs na tela, um *link* possibilita inserir informações adicionais sobre cada ponto de alteração.

## Considerações

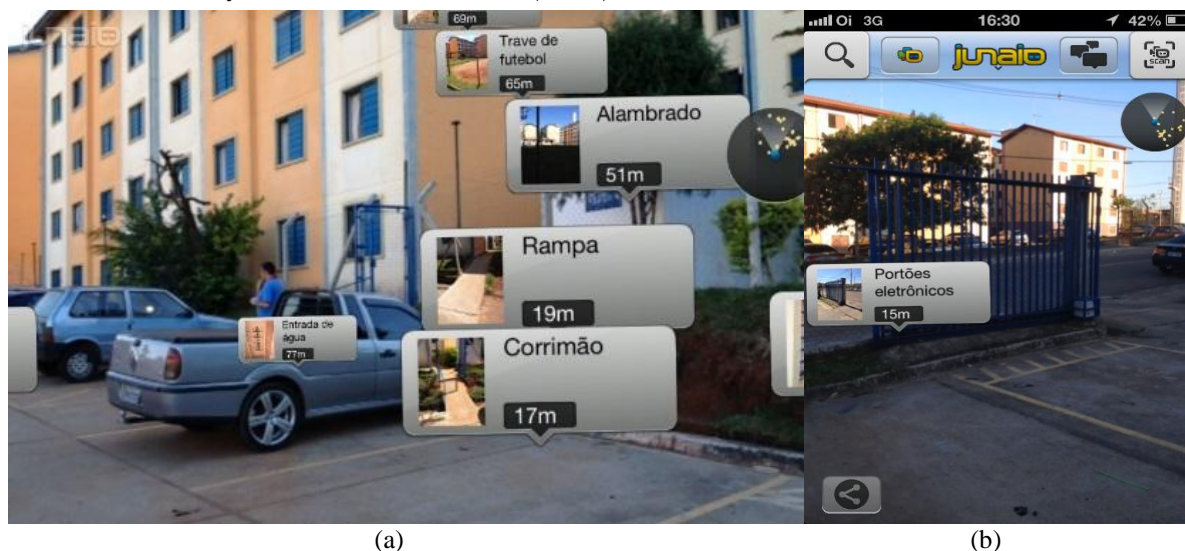
A tecnologia de Realidade Aumentada foi proposta para apoiar a APO e demonstrou em testes que seu emprego, apesar de possível, no estágio atual da tecnologia e dos equipamentos usados ainda não tem o nível necessário para substituir ou aprimorar o processo tradicional. Com os testes conduzidos usando marcador de RA, ficou notória a dificuldade tanto para o desenvolvedor quanto para o observador (podem ser o mesmo indivíduo). O desenvolvedor que não tenha expertise em softwares gráficos e o mínimo entendimento de programação dificilmente conseguirá uma aplicação útil para garantir os resultados de uma APO. Para o observador, o fato de ter um dispositivo com ângulo de visão de câmera restrito traz dificuldades de percepção do todo, restringindo-se a partes visualizadas dentro do campo de visão possível e à distância em que seja permitida a leitura do marcador pelo equipamento.

Outro fator se refere à correta detecção de modificações e ajustes feitos no edifício, exigindo que o modelo deva ter o máximo de desenvolvimento possível (LOD 500), porém, devido a questões que envolvem a transferência do modelo em tempo real pela internet, a perda de parte das informações se faz necessária. No entanto, em ambientes externos e com o modelo modificado (filtro de elementos), no qual se retrata apenas aberturas (portas e janelas) e fechamento (paredes), fica impossível detectar certos tipos de alterações, por terem sido retiradas do modelo.

Dessa forma, analisa-se que, apesar de se dispor de aplicativos existentes que podem ser utilizados por usuários com pouca experiência em RA, por não exigir desenvolvimentos de programação de linguagens para computador, o processo de tratamento do modelo BIM exige conhecimentos razoáveis de softwares gráficos. O processo demandado nesta pesquisa demonstra que parte dos pontos positivos do conceito de BIM para Aeco se perde pela exclusão de informações agregadas durante a filtragem do modelo 3D.

Os aplicativos de RA móvel usados, apesar de serem considerados viáveis para uma gama de aplicações genéricas, como se encontra em bibliografias e na internet, ainda permanecem em desenvolvimento e evolução, assim como a própria tecnologia. No caso proposto, é necessário o conhecimento de modelagem e informações técnicas para o tratamento e a otimização de modelos virtuais, garantindo o uso possível e eficaz dos modelos.

Figura 10 - (a) Visão geral com as camadas de informação (POIs) georreferenciadas e (b) visualização da camada de informação na interface do Junaio (iPad2)



Outras questões técnicas também interferiram na experiência feita com esse tipo de tecnologia de RA, tais como: não oclusão da RA resolvida com transparência; tamanho do marcador em relação ao edifício de referência; abertura do ângulo da câmera do iPad para capturar o marcador e proporcionar uma visualização completa do modelo 3D e do edifício juntos; reposicionamentos da origem do modelo 3D no Sketchup, o que interfere no ponto de inserção do modelo virtual no ambiente; dificuldades com a iluminação direta do Sol em experimento em área externa, ofuscando o marcador e impossibilitando a leitura da câmera; e problemas com a conexão de internet disponível em campo através de smartphone usado como ponto de WiFi para o iPad, nem sempre com a velocidade mínima de conexão necessária.

## Conclusão

Este artigo retrata um estudo proposto e desenvolvido com tecnologia de RA móvel (com uso de marcadores) para auxílio à APO usando ferramentas existentes para RA. A motivação inicial que definiu a escolha de tecnologia de RA para o estudo, *i.e.*, ampla disponibilidade no mercado, facilidade de uso por leigos e uma interface gráfica intuitiva, demonstrou ser inapropriada, pois a tecnologia de RA empregada para auxílio à APO apresenta restrições. A contribuição do estudo está na proposição de como incorporar RA num modelo sistemático de APO, no detalhamento do desenvolvimento do experimento e na reflexão e crítica sobre a aplicação desenvolvida.

No modelo sistemático de desenvolvimento de APO, segundo Preiser, Rabinowitz e White (1988), para incorporar a RA verificou-se a necessidade de ajustar as seguintes atividades: no planejamento, novos instrumentos de pesquisa; na condução, novo processo de coleta de dados e monitoramento da coleta; e na aplicação, novo formato de apresentação dos resultados. Criar uma aplicação de RA que sobreponha a edificação existente com seu modelo de informação faz parte do novo instrumento de pesquisa desenvolvido no planejamento da APO. Ir a campo com essa aplicação em mãos, visualizar a edificação com RA e extrair registros desse processo fazem parte da condução da APO. Criar uma aplicação de RA que utilize os registros da condução da APO como camadas de informação de RA e voltar a campo para visualizá-los fazem parte da aplicação de APO. Todas essas formas de incorporar RA na APO foram demonstradas neste estudo.

A questão da escala 1:1 do elemento virtual que se deseja visualizar é um item a ser melhorado, uma vez que envolve demanda de poder de processamento de imagem, velocidade da banda de internet, e acuidade e ângulo de visão da câmera do dispositivo para visualização. A evolução passa, então, pela melhoria de toda a tecnologia envolvida, para que se desenvolva uma experiência de RA móvel com banda de internet cuja velocidade e capacidade de transmissão de dados permita a visualização de modelos 3D em escala real e as informações agregadas, segundo o conceito BIM. Outro ponto a ser aperfeiçoado se refere aos equipamentos móveis, para que se tenha precisão e qualidade das câmeras e GPS embutidos. Acredita-se que isso faça parte de um

processo natural de evolução e que os ajustes à tecnologia serão feitos conforme a demanda, ou seja, com estudos deste tipo para uso de RA móvel em Aeco, os aplicativos poderão ser desenvolvidos para o nível adequado a esse campo.

Concluindo, Kim *et al.* (2013) asseguram que há uma demanda de mudanças das pesquisas com RV/RA que devem ser contextualizadas. Afirmam que, dessa forma, os pesquisadores confrontarão os desafios técnicos pertinentes a cada contexto de aplicação. Outra constatação feita por esses autores diz respeito à grande utilização (60,4%) de *ToolKits* (ferramentas) comerciais de RV/RA em pesquisas genéricas, abordagem compartilhada neste estudo. Este artigo demonstra a confrontação de desafios técnicos ao se verificarem as dificuldades de utilização de RA para o contexto arquitetônico. A contribuição deste estudo, porém, incide na apresentação contextualizada de uso de aplicativo comercial de RA para percepção de reformas na visualização sobreposta do modelo virtual 3D ao edifício, demonstrando os desafios técnicos que deverão ser transpostos para a viabilidade de uso da tecnologia em Aeco.

## Referências

- AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Document E203™ - 2013: Building Information Modeling Protocol Exhibit**, California, AIA. 2013. Disponível em: <<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/document/s/pdf/aiab099084.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2015.
- APPLE. **iPad in Business**: Brechtel. Disponível em: <<http://www.apple.com/ipad/business/profiles/bec.html>> . Acesso em: 08 maio 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- AZUMA, R. T. A Survey of Augmented Reality. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, Columbus, v. 6, n. 4, p. 355-385, Aug. 1997.
- AZUMA, R. *et al.* Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.
- BALDAUF, J. P.; FORMOSO, C. T.; MIRON, L. I. G. Modelagem de Requisitos de Clientes de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social Com o Uso de BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 177-195, jul./set. 2013.
- BEDRICK, J. The Level of Development for BIM Processes. **AECbytes**, May. 2013. Disponível em: <<http://www.aecbytes.com/feature/2008/MPSforBIM.htm>>. Acesso em: 29 jan. 2015.
- BEHZADAN, A. H.; KAMAT, V. R. Georeferenced Registration of Construction Graphics in Mobile Outdoor Augmented Reality. **Journal of Computing in Civil Engineering**, Reston, v. 21, n. 4, p. 247-258, 2007.
- BEHZADAN, A. H.; TIMM, B. W.; KAMAT, V. R. General-Purpose Modular Hardware and Software Framework for Mobile Outdoor Augmented Reality Applications in Engineering. **Advanced Engineering Informatics**, Amsterdam, v. 22, n. 1, p. 90-105, 2008.
- BIMBER, O; RASKAR, R. **Spatial Augmented Reality: merging real and virtual worlds**. Wellesley: A K Peters, 2005.
- BITTENCOURT, R. M.; SILVA, J. S. Avaliação das Reformas e Ampliações das Casas Populares da COHAB: Guaratinguetá/SP. In: CONGRESSO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE ENGENHARIA CIVIL, Florianópolis, 1996. **Anais...** Florianópolis, 1996.
- CUPERSCHMID, A. R. M.; FREITAS, M. R. Possibilidades de Uso de Realidade Aumentada Móvel para AEC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3.; ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 5. Campinas, SP. **Anais...** Campinas, 2013.
- CUPERSCHMID, A. R. M.; FREITAS, M. R.; RUSCHEL, R. C. Tecnologias Que Suportam Realidade Aumentada Empregadas em Arquitetura e Construção. **Cadernos PROARQ**, v. 19, p. 47-69, 2012.
- EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.
- FREITAS, M. R.; RUSCHEL, R. C. What Is Happening to Virtual and Augmented Reality Applied to Architecture? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, Singapore, 2013. **Proceedings...** Singapore: National University of Singapore, 2013.
- HÖHL, W. **Interactive Environments With Open-Source-Software: 3D walkthroughs and augmented reality for architects with blender 2.43, DART 3.0 and ARToolKit 2.72**. Vienna: Springer Wien New York, 2009.

- HOLLERER T. **User Interfaces For Mobile Augmented Reality Systems**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado) – Columbia University, 2004.
- IZKARA, J. L. *et al.* Mobile Augmented Reality, an Advanced Tool for the Construction Sector. In: CIB W78 CONFERENCE, 24., Maribor, Slovakia, 2007. **Proceedings...** Maribor, Slovakia, 2007.
- KIM, M. J. *et al.* Virtual Reality For the Built Environment: a critical review of recent advances. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 18, n. 2, p. 279-305, ago. 2013.
- KIRNER, C. *et al.* Uso de Realidade Aumentada em Ambientes Virtuais de Visualização de Dados. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, 7., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PINA, S. A. M. G. Transformações de Casas Populares: uma avaliação. In: ENCONTRO NACIONAL; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., Gramado, 1995. **Anais...** Gramado, 1995.
- KRAINER, C. W. M. *et al.* Análise do Impacto da Implantação de Sistemas ERP nas Características Organizacionais das Empresas de Construção Civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 117-135, jul./set. 2013.
- LEITE, F. *et al.* Analysis of Modeling Effort and Impact of different Levels of Detail in Building Information Models. **Automation in Construction**, v. 20, n. 5, p. 601-609, 2011.
- NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. Barreiras Para o Uso da Tecnologia da Informação na Indústria da Construção Civil. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROCESSO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2., Porto Alegre, 2002. **Anais...** Porto Alegre, 2002.
- ORNSTEIN, S. W. Post-Occupancy Evaluation in Brazil. **Organization for Economic Co-Operation and Development**, Paris, p. 135-143, jan. 2007.
- PAULA, N. de; UECHI, M. E.; MELHADO, S. B. Novas Demandas Para as Empresas de Projeto de Edifícios. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 137-159, jul./set. 2013.
- PREISER, W. F. E.; RABINOWITZ, H. Z.; WHITE, E. T. **Post-Occupancy Evaluation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988.
- RANKOHI, S.; WAUGH, L. Review and Analysis of Augmented Reality Literature For Construction Industry. **Visualization in Engineering**, v. 1, n. 9, p. 1-18, springer 2013.
- RÖSLER, A. **Augmented Reality Games on the iPhone: what are some of the possibilities and problems associated with the creation of augmented reality games for the iPhone?** 2009. 36 f. Monografia (Graduação) – Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, 2009.
- SCHEER, S. *et al.* The Scenario and Trends in the Brazilian IT Construction Applications' Experience. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 12, special issue, p. 193-206, mar. 2007.
- SISCOUTTO, R. A. *et al.* Estereoscopia. In: C. TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. (Eds.). **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: SBC, 2006. cap. 13, p. 221-245.
- SUCCAR, B. Building Information Modelling Framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.
- TORTATO, R. G. **Análise dos Condicionantes Que Influenciaram o Insucesso das Empresas Incorporadoras de Curitiba e Região Metropolitana Sob a Ótica de Seus Gestores e Suas Implicações Para a Sustentabilidade Local**. Curitiba, 2007. 189 f. Dissertação (Mestrado em Organizações e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Organizações e Desenvolvimento, Centro Universitário Franciscano do Paraná, Curitiba, 2007.
- VIEIRA, H. F. Dinamização da Construção Civil Pela Tecnologia de Informação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 1., Porto Alegre, 2005. **Anais...** Porto Alegre, 2005.
- WANG, X. Augmented Reality in Architecture and Design: potentials and challenges for applications. **International Journal of Architectural Computing**, v. 7, n. 2, p. 309-326, 2009.
- WANG, X. *et al.* Augmented Reality in Built Environment: classification and implications for the future research. **Automation in Construction**, v. 32, p. 1-13, 2013.

## Agradecimentos

Este artigo tornou-se possível com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), financiadora desta pesquisa.

**Márcia Regina de Freitas**

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá | Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho | Av. Alberto Pereira da Cunha, 33 | Guaratinguetá - SP - Brasil | CEP 12516-410 | Tel.: (12) 3123-2139 | E-mail: marciar.f@ig.com.br

**Regina Coeli Ruschel**

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo | Universidade Estadual de Campinas | Av. Albert Einstein, 951 | Campinas - SP - Brasil | CEP 13083-852 | Tel.: (19) 3521-2051 | E-mail: ruschel@fec.unicamp.br

***Revista Ambiente Construído***

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído  
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro  
Porto Alegre - RS - Brasil  
CEP 90035-190  
Telefone: +55 (51) 3308-4084  
Fax: +55 (51) 3308-4054  
[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)  
E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)