

REALIDADE AUMENTADA COMO AUXÍLIO À MONTAGEM DE PAREDE EM WOOD-FRAME

WOOD-FRAME WALL PANEL ASSEMBLY GUIDANCE BASED ON AUGMENTED REALITY

Ana Regina Mizrahy Cuperschmid¹

Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, fale@anacuper.com

Marina Graf Grachet²

Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, marina.grachet@usp.br

Márcio Minto Fabricio³

Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, marcio@sc.usp.br

Resumo

Aplicações de Realidade Aumentada (RA) misturam, por meio de dispositivos de visualização, ambientes reais com objetos virtuais em tempo real. O uso de RA como apoio à execução na construção civil ainda é pouco explorado. Esta pesquisa tem como objetivo propor a aplicação de RA, utilizando Head Mounted Display (HMD) sem fio, no auxílio à montagem de painel estruturado em madeira. A inovação pretendida nesta pesquisa está no desenvolvimento de um tutorial de montagem em RA. Sendo que, o modelo e a sequência de montagem foram concebidos em Building Information Model (BIM) e visualizados em RA. Uma abordagem investigativa sobre as possibilidades de tal integração foi proposta e desenvolvida, incluindo o desenvolvimento de aplicativo específico para HMD. Avaliações da experiência do usuário foram conduzidas. Os participantes responderam a um questionário para caracterização do perfil e, em seguida, experimentaram a RA por meio do HMD. Após a montagem do painel estruturado em madeira, foi realizado um questionário para averiguar qualidade da experiência do usuário. Todos participantes eram estudantes universitários sem experiência prévia na montagem de painéis estruturados em madeira. Os resultados obtidos revelaram que foi possível realizar a montagem dos painéis utilizando o sistema proposto. De uma perspectiva sobre a inovação tecnológica, tal iniciativa tem o potencial de beneficiar a capacitação de pessoas no Sistema Construtivo Leve em Madeira, que ainda é incipiente no Brasil e de propor a aplicação de RA como tecnologia de treinamento e apoio à processos construtivos.

Palavras-chave: Realidade Aumentada. Wood-Frame. Head Mounted Display. Montagem. Construção Civil.

Abstract

Augmented Reality (AR) applications mix, by means of display devices, visualization of the real-world environment with virtual objects in real time. The use of AR as a support for the work execution in the construction industry is still insufficiently explored. This study aims to propose the application of AR, using a wireless Head Mounted Display (HMD), to aid in wood-frame assembly. The intended innovation in this research is the developing assembly guidance in AR using a wood-frame wall model displayed in real scale. The model and the assembly sequence were designed in Building Information Model (BIM) and visualized in AR. An investigative approach about the possibilities of such integration is being proposed and developed, including the development of HMD specific application. User experience evaluations were conducted. The participants answered a profile characterization questionnaire and then experienced the AR through the HMD. After mounting the wood-frame panel, another questionnaire was administered to ascertain the user experience quality. All participants were college students with no prior experience in wood-framed panels assembly. The results obtained showed that it was possible to accomplish the panel assembly using the proposed system. From a technology innovation perspective, this initiative has the potential to benefit the training of people in wood frame construction system, which is still in its infancy in Brazil and to propose the application of AR as training and technology support for construction processes.

Keywords: Augmented Reality. Wood-Frame. Head Mounted Display. Assembly. Construction Industry.

How to cite this article:

CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy; GRACHET, Marina Graf; FABRICIO, Márcio Minto. Realidade Aumentada como auxílio à montagem de parede em wood-frame. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 266-276, dez. 2015. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8640947>>. Acesso em: 19 mar. 2016. doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v6i4.8640947>.

Introdução

Esta pesquisa tem como objetivo propor a aplicabilidade de Realidade Aumentada (RA), utilizando Head Mounted Display (HMD) sem fio, no auxílio na montagem de painel estruturado em madeira. A proposição de inovação desta pesquisa está no fato de utilizar essa tecnologia como uma maneira de oferecer um tutorial prático de execução de painel estruturado em madeira. Tal iniciativa tem o potencial de beneficiar a capacitação de pessoas neste sistema construtivo, que ainda é incipiente no Brasil.

O Sistema Construtivo Leve em Madeira, também conhecido como sistema de *wood-frame*, é um sistema que alia comprometimento com o meio ambiente e novas técnicas construtivas. Considerado uma tecnologia sustentável a seco, este tipo de tecnologia permite a redução de até 75% da demanda por mão de obra e pode gerar apenas 25% dos resíduos de um canteiro comum (AMORIM, 2015). Acrescentando, Flumian (2015) aponta a redução de até 90% do uso de água e de 80% da emissão de CO₂. Além do mais, o tempo de execução é até 50% mais rápido do que construção em alvenaria e a redução de custos pode chegar à 10% (FERREIRA, 2013).

Molina e Calil Jr (2010) apontam que no Brasil, os projetos com estruturas baseadas em *wood-frame* utilizam como matéria prima madeiras de reflorestamento que apresentam crescimento rápido como o pinus e, em menor quantidade, o eucalipto. De acordo com Ferreira, (2013), a madeira utilizada é de reflorestamento e não passa por nenhum processo de transformação que demande energia, favorecendo o baixo consumo de energia na fabricação das residências.

Conforme Molina e Calil Junior (2010), nos Estados Unidos, cerca de 95% das residências utilizam este sistema construtivo, mas no Brasil, sua adoção ainda é incipiente. A adoção de novas tecnologias construtivas, como o *wood-frame* no país, depende da capacitação de indivíduos no desenvolvimento e na execução de projetos com tais tecnologias. Para tanto, é importante ressaltar que novas competências precisam ser aprendidas e aplicadas no trabalho.

Como ferramenta de apoio à visualização, a RA pode contribuir para a construção de edificações em *wood-frame* ao exibir informações adicionais que possibilitem melhor compreensão, além de guiar gradativamente a execução da obra. Informações incorporadas à modelos virtuais podem ser utilizadas se conectadas aos elementos construtivos reais e visualizadas em RA. Dessa maneira, a RA pode proporcionar a visualização do modo de construir de maneira interativa ao mesmo tempo que pode exibir modelos superpostos ao mundo real. Por permitir que os indivíduos possam ser auxiliados no processo de montagem de edificações em *wood-frame*, a tecnologia de

RA seria como uma facilitadora para difusão deste sistema construtivo.

Fundamentação

Aplicações de RA misturam, por meio de dispositivos de visualização, ambientes reais com objetos virtuais em tempo real (WANG, 2007; AMIM; LANDAU; CUNHA, 2007; HANZL, 2007). Ao contrário da Realidade Virtual (RV), que imerge completamente os usuários num ambiente sintético, a RA permite que o usuário veja os modelos 3D superpostos ao mundo físico (HALLER; BILLINGHURST; THOMAS, 2007).

RA como auxílio à montagem

O uso de RA para montagem de equipamentos, peças e instalações hidráulicas vem sendo explorado pontualmente (HOU et al., 2013; HOU; WANG; TRUIJENS, 2015; ONG; WANG, 2011; WANG; ONG; NEE, 2013; WANG et al., 2013). As pesquisas de Hou et al. (2013) e Hou, Wang, e Truijens (2015) têm como objetivo consolidar o uso de RA para montagem na construção civil. Ambas visaram comparar o uso de RA versus manuais de instruções impressos como guia para montagem de modelos. Em Hou et al. (2013) é utilizado um robô LEGO e em Hou, Wang, e Truijens (2015) um sistema de encanamentos. Os resultados de ambas as pesquisas mostraram que o uso de RA diminuiu significativamente a carga de trabalho cognitivo dos operadores, bem como a quantidade de erros cometidos durante a montagem e o tempo de execução. Na pesquisa de Hou, L., et al. (2013) o guia de montagem no formato de RA gerou uma melhor curva de aprendizagem para os usuários. Hou et al. (2013) sugerem que a RA pode ser utilizada como guia para novatos na execução de tarefas altamente complexas, nas quais o tempo de treinamento seja limitado e os erros possam ser perigosos ou mesmo dispendiosos. Corroborando, os resultados de Hou, Wang, e Truijens (2015) mostraram que o uso de RA se mostrou mais produtivo, já que pôde promover economia de dois terços dos custos causados pela correção dos erros de montagem.

Várias pesquisas têm explorado o livre movimento de mãos para montagem utilizando RA (ONG; WANG, 2011; WANG; ONG; NEE, 2013; WANG et al., 2013). Nessas pesquisas, os usuários montam um modelo virtual que é projetado por um HMD. Os objetos virtuais são manipulados por meio da movimentação das pontas dos dedos indicadores e polegares. A falta de realismo foi apontada como limitação nessas pesquisas, uma vez que a montagem é apenas virtual e os modelos e seus encaixes são simples. Wang, Ong e Nee (2013) pontuaram que a desconsideração do peso dos elementos do modelo contribuiu para a falta de naturalidade e de realismo na

manipulação dos objetos virtuais. Ong, Wang (2011) e Wang et al. (2013) apontaram a necessidade de aumentar o grau de realismo do sistema por meio de um algoritmo de reconhecimento de encaixes mais sofisticado, assim modelos mais complexos poderiam ser testados utilizando o sistema.

Seguindo essa mesma vertente do uso da RA, a empresa Doka lançou um aplicativo chamado Dokadek 30¹, disponível apenas para iPad, com o intuito de auxiliar a montagem manual das fôrmas de lajes Dokadek 30. Após testes com o marcador disponibilizado pela empresa exibido na tela de um celular, o aplicativo mostrou-se meramente como uma simplificação do método de montagem, já que a imagem das fôrmas não é representada em tamanho real, a montagem é dada simplesmente ao arrastar as fôrmas da pilha para o esquema de montagem, uma a uma, Figura 1. Nenhuma conexão foi abordada com detalhes, o que impossibilitaria a montagem da laje num ambiente real utilizando como base apenas o sistema de RA fornecido pelo fabricante das fôrmas. Em suma, este aplicativo não lida com uma situação real de montagem na construção civil, somente exibe um modelo simplificado e isolado de um contexto específico.

Figura 1 - Funcionamento do aplicativo para montagem de formas em RA da Dokadek 30



Fonte: Captura de tela do aplicativo Dokadek. Acesso em 02 set 2015

HMDs

Dentre os dispositivos imersivos utilizados em RA, os HMDs são os mais comuns. Se caracterizam pela possibilidade de visualizar através do dispositivo superposições de informações virtuais ao mundo real. Com isso, é possível alcançar uma forte sensação de presença e obter um alto nível de qualidade imagética (BIMBER; RASKAR, 2005).

Os HMDs podem ser do tipo *optical-based* e *video-based* (MACCHIARELLA; LIU; VINCENZI, 2009; SCHMORROW et al. 2009; BIMBER; RASKAR, 2005). Sistemas *optical-based* tipicamente usam lentes translúcidas as quais permitem que o usuário olhe

diretamente por ela para ver o mundo real. Sistemas *video-based* usam câmeras de vídeo que captam a visão do mundo real e combinam este vídeo com as informações virtuais, gerando a cena misturada do mundo real e do virtual. A cena resultante é visualizada por meio de monitores em frente aos olhos dos usuários.

Uma forma de HMD que vem ganhando mercado são os *smart glasses*. Esses “óculos inteligentes” integram câmeras em primeira pessoa, processadores, sistema operacional, bateria, memória, áudio e captura de vídeo e tecnologia de rastreamento (ex. GPS associado a sensores de movimento como giroscópio, acelerômetro e compasso). Como exemplos de HMDs pode-se citar: Microsoft HoloLens, Epson Moverio BT-200, Vuzix M100 Smart Glasses e META 1.

O Smart Glasses M100, ao contrário de outros dispositivos, não projetam a imagem virtual sobre toda retina. Somente uma porção da visualização (canto superior direito) pode ser alcançado. Adicionalmente, o Smart Glasses M100 não usa tela translúcida, então o campo de visão é parcialmente reduzido. O Moverio BT200, o Meta 1 e o HoloLens usam duas telas translúcidas para projetar o conteúdo aumentado na superfície do ambiente real - esta característica permite que a exibição de modelos virtuais superponha o cenário real.

Método

A questão que norteia esta pesquisa é se e de que maneira a RA poderia ser utilizada como uma ferramenta para apoiar montagem de painéis estruturados em madeira. A proposta é a de fazer com que os passos da montagem e a forma de execução sejam visíveis e explícitos por meio de um sistema de RA. Para tanto, a metodologia da Design Science Research foi adotada neste processo de pesquisa. Em síntese, o processo consiste em cinco etapas que se relacionam iterativamente: (i) Entendimento do sistema construtivo leve em madeira; (ii) Definição do objetivo: RA como auxílio à montagem de painel estruturado em madeira; (iii) Projeto e desenvolvimento; (iv) Demonstração de funcionamento do sistema; (v) Avaliação com usuários. Cada etapa é apresentada, resumidamente, a seguir.

(i) Entendimento do Sistema Construtivo Leve Em Madeira

Para melhor compreensão de como funciona o sistema construtivo estruturado em madeira, foi realizada uma revisão de manuais de projeto e execução deste tipo de tecnologia (BURROWS, 2014; DAUM; BREWSTER; ECONOMY, 2011) e visita à fábrica de uma empresa especializada em construções em *wood-frame*, com sede no sul do país e obras em diversos estados. Nesta visita,

verificou-se como é realizada a fabricação de painéis e a execução de obra residencial com esta tecnologia.

(ii) Definição do Objetivo: RA como auxílio à montagem de painel estruturado em madeira

Observou-se que no processo da fabricação dos painéis, a fase de montagem da moldura era feita de forma manual, seguindo-se instruções impressas. Buscou-se um paralelo de como a tecnologia de RA poderia apoiar esta fase, ao mesmo tempo que auxiliaria a difusão deste sistema construtivo no país.

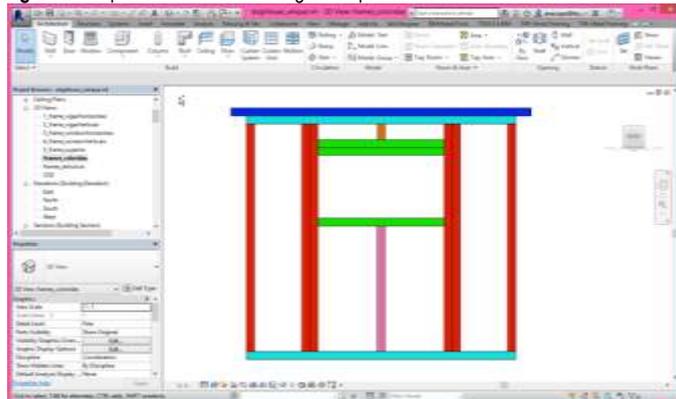
(iii) Projeto e Desenvolvimento

Nesta etapa idealizou-se um sistema que poderia apoiar a montagem de painel estruturado em madeira. Para apoiar esta proposta, foi projetado um sistema de forma instanciada: dada uma parede e seu respectivo modelo BIM, foi desenvolvida uma aplicação de RA para evidenciar os passos para sua execução. Esta etapa foi realizada em três fases, descritas a seguir.

Na primeira fase, foi realizada a modelagem BIM de uma parede estruturada em madeira utilizando-se o *software* Autodesk Revit. Esta parede foi idealizada para ser montada em laboratório e, por esta razão, adotou-se uma medida reduzida de 1,70 metros de largura x 1,75 metros de altura. A estrutura proposta possui uma abertura central para janela, Figura 2. Em seguida, este modelo foi exportado para o *software* Unity 3D – em que foi desenvolvido o aplicativo de RA.

Posteriormente, fez-se a montagem física do painel. Neste momento, estabeleceu-se a posição das furações nas peças, de forma a oferecer um sistema pré-configurado para montagem. As peças de mesma cor foram identificadas por letras para favorecer sua localização no painel. Para reforçar o posicionamento, um triângulo foi desenhado na parte de cima de cada peça para indicar o sentido em que a peça deveria ser posicionada (Figura 3).

Figura 2 - Captura de tela da modelagem do painel estruturado em madeira



Fonte: Os autores

Na segunda fase, as peças de eucalipto, com seção de 5 x 11 centímetros, foram cortadas de acordo com o projeto. Cada uma recebeu uma identificação por cor conforme seu comprimento e sua função no painel. Desta maneira adotou-se o esquema mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação das peças de madeira de seção 5 x 11 centímetros que compõem a estrutura do painel

Comprimento (cm)	Quantidade	Cor
190	1	Laranja
170	2	Azul
145	6	Vermelho
80	3	Cor de rosa
80	1	Verde
10	1	Cinza

Fonte: Os autores

Na terceira fase, foi determinada a funcionalidade, as características do artefato e seu desenvolvimento. O aplicativo “montAR” foi desenvolvido a partir do Software Development Kit (SDK) da Metaio para Unity 3D. O Metaio SDK oferece um *framework* para o desenvolvimento de aplicativos de RA. É composto por quatro componentes modulares para: captura,

Figura 3 - Montagem física do painel com estabelecimento de furação e marcações para identificação das peças



Fonte: Os autores

renderização, rastreamento e interface para sensores. As maiores funcionalidades são realizadas por meio de APIs para o SDK, as quais possibilitam a implementação de aplicativos de RA. O funcionamento do “montAR” baseia-se no uso de um marcador associado aos passos de execução da montagem do painel de *wood-frame*. O marcador é uma imagem com certo padrão visual reconhecido pelo sistema de RA, que serve para orientar e posicionar objetos virtuais na cena. Esse marcador, quando visto em RA indica a posição correta das peças que compõem o painel por meio da visualização do modelo tridimensional em escala real com indicação em destaque de sua posição.

O “montAR” pode ser acessado por meio de seu ícone na tela principal do HMD. Ao abrir, exibe um menu com as opções: Montar, Conferir e Agradecimento. Em Montar, há um menu lateral numerado de 1 a 7 para acesso aos passos para execução do painel. Estes passos são constituídos por exibição das peças do modelo em RA e também por áudio com instruções que incluem o

posicionamento adequado, a orientação (vertical/horizontal), os encaixes e encaminhamentos adicionais para a execução, Figura 4. Em Conferir, o modelo virtual colorido é exibido, em tamanho real, para facilitar a conferência visual das peças e seu posicionamento no painel.

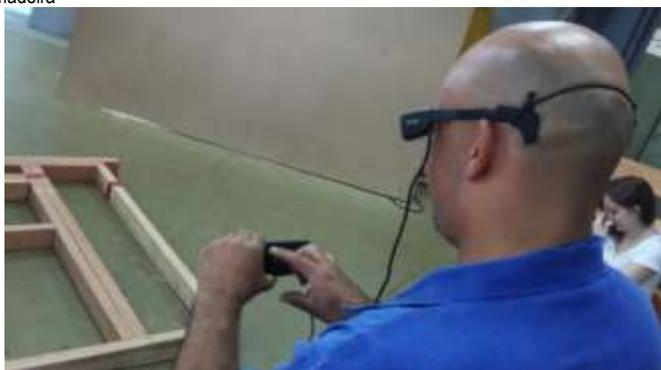
Quando esta pesquisa teve início, dentre os *smart glasses* que utilizam lentes translúcidas, somente o Moverio BT200 estava comercialmente disponível (nos Estados Unidos da América). Por esta razão, o aplicativo foi desenvolvido para funcionar no Epson Moverio BT200, um HMD que possui sistema operacional Android e é composto por um óculos (240g) e um controle sensível ao toque (165g), Figura 5. Esse dispositivo é capaz de exibir modelos tridimensionais, proporciona um campo de visão de 23 graus, possui sistema de visualização ótico translúcido, bateria com duração de aproximadamente 5.8 horas.

Figura 4- Aplicativo “montAR”: ícone, menu inicial e ambiente de RA



Fonte: Os autores

Figura 5 – Epson Moverio BT200 em uso para visualização do painel estruturado em madeira



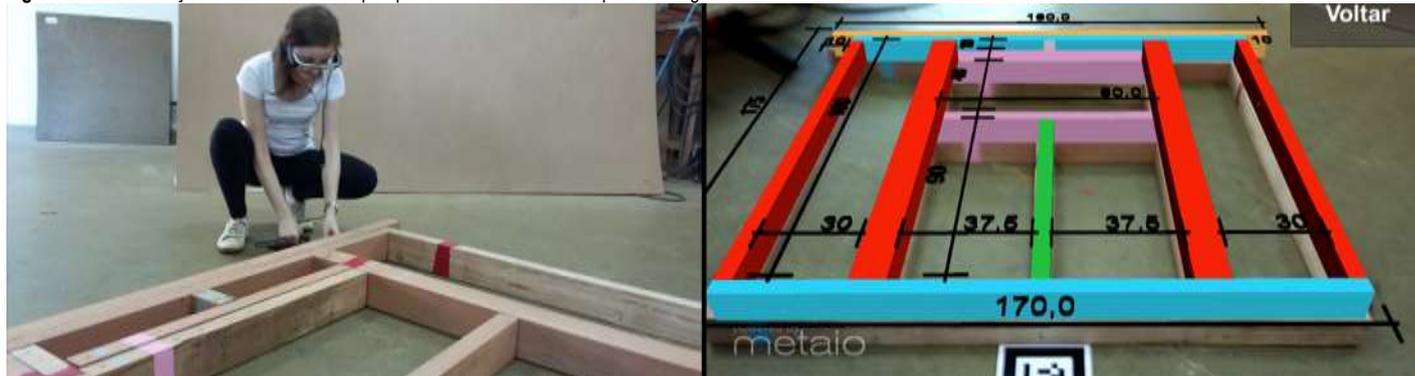
Fonte: Os autores

(iv) Demonstração de Funcionamento do Sistema

Nesta pesquisa, o artefato é proposto como um protótipo funcional de um sistema que possa realizar a interface entre o usuário e a montagem de painéis em *wood-frame*. Dessa maneira, o artefato deve funcionar como uma simulação de um produto final, com a finalidade de avaliar a aplicabilidade da tecnologia de RA como auxílio à montagem de painéis de *wood-frame*.

Uma vez pronto o aplicativo, foi realizada uma demonstração de funcionamento do sistema. Neste momento, averigou-se seu funcionamento e verificou-se questões como a calibração do Moverio para correta visualização e o posicionamento e a escala das peças virtuais em relação às de madeira reais, Figura 6.

Figura 6 - Demonstração de uso do sistema: pesquisadora utiliza o sistema para montagem e conferência



Fonte: Os autores

Após esta demonstração, alterações para afinar o sistema foram feitas, como: na ordem para execução, na narração do passo a passo, nas opções de toque na tela (arrastar, girar e aumentar/diminuir), na manutenção do item virtual na cena mesmo quando não estiver mais sendo possível visualizar o marcador e na inserção de um tablado no chão para favorecer o uso da parafusadeira durante a montagem. Na última versão do aplicativo é possível alterar a escala do modelo virtual no item “Montar” e, no “Conferir”, é possível também arrastar.

(v) Avaliação

O propósito desta etapa foi avaliar a qualidade da experiência do uso do sistema como um meio de comunicação dos passos para a montagem. Portanto, foram utilizados métodos de avaliação de sistemas de RA tendo em vista a qualidade da experiência do usuário (User Experience – UX).

O processo de avaliação foi dividido em duas seções. A primeira de caracterização do usuário, idade, sexo, nível de escolaridade e a frequência de uso de *smartphone* ou tablet, conhecimento prévio de sistemas de RA e do método construtivo *wood-frame*.

A segunda de uso do sistema de montagem proposto. Inicialmente, foi realizada uma demonstração de como o sistema funciona pela pesquisadora e, em seguida, o usuário experimentou a tecnologia por alguns minutos para se familiarizar com a mesma.

O próximo passo consistiu em solicitar a tarefa de montar o painel estruturado em madeira utilizando o aplicativo de RA por meio do óculos Epson BT200. Para tanto, um marcador foi posicionado sobre um tablado de madeira que seria o local da montagem. As peças de eucalipto que compõem o painel, os parafusos, uma parafusadeira elétrica, uma chave Philips e o marcador foram dispostos ao lado desse tablado, Figura 7.

Figura 7 – Disposição do material para realização da avaliação



Fonte: Os autores

Após a montagem foi realizado um questionário ao usuário visando captar a qualidade da experiência do usuário, Quadro 1. Adotou-se o método proposto por Olsson (2013) em que a experiência do usuário é classificada segundo determinadas características e graduadas em uma escala Likert. Para todas as declarações, o participante marcava uma das alternativas: Concordo totalmente / Concordo / Nada a declarar / Discordo / Discordo totalmente.

Além dessas questões, foi disponibilizado um campo para outras considerações, em que o participante podia dissertar sobre suas dificuldades e sugerir melhorias no sistema.

Resultados e Discussão

A avaliação envolveu 7 participantes, entre estudantes de Arquitetura ou Engenharia Civil, que experimentaram o sistema de RA por meio do Epson Moverio BT200. A avaliação foi realizada em setembro de 2015. Os dados coletados foram analisados tendo em vista a qualidade da experiência do usuário. A forma de avaliação realizada permitiu averiguar problemas de interação com o sistema.

Quadro 1 – Questionário de avaliação da Experiência do Usuário

#	Descrição da experiência
Q1	O passo a passo oferecido pelo sistema de Realidade Aumentada foi eficaz para montagem do painel
Q2	Senti que usar o sistema de Realidade Aumentada foi apropriado para a tarefa proposta (montar o painel estruturado em madeira)
Q3	O campo de visão oferecido pelo óculos de Realidade Aumentada foi apropriado para esta atividade
Q4	O uso do óculos de Realidade Aumentada foi confortável por todo o período
Q5	A interface do sistema de Realidade Aumentada foi natural para mim (menu, botões, controle e visualização)
Q6	A visualização da informação virtual superposta ao mundo real não me confundiu
Q7	Quando estava usando o sistema de Realidade Aumentada me senti encorajado e motivado a concluir a tarefa
Q8	Com o uso do sistema de Realidade Aumentada consegui concluir a tarefa de montar o painel sem erros, logo na primeira tentativa
Q9	Quando estava montando o painel estruturado em madeira, o sistema de Realidade Aumentada possibilitou a percepção e a correção de erros
Q10	Senti que realizei a tarefa de montar o painel estruturado em madeira com eficácia
Q11	Me senti satisfeito em quão bem eu realizei e concluí a tarefa de montar o painel utilizando Realidade Aumentada
Q12	Quando estava usando o sistema de Realidade Aumentada senti vontade de continuar
Q13	Ao usar este sistema de Realidade Aumentada me senti envolvido em algo extraordinário, foi uma novidade
Q14	Gostei da experiência de montar um painel estruturado em madeira utilizando a Realidade Aumentada

Fonte: Os autores, baseado em Olsson (2013)

Do total de participantes, três eram do sexo feminino e quatro do sexo masculino, e todos tinham entre 18 e 24 anos de idade. Quando perguntados sobre a frequência de uso de *smartphone* ou *tablet*, todos declararam usar diariamente este tipo de dispositivo móvel. Nenhum deles teve experiência prévia com nenhum tipo de sistema de RA, nem utilizou nenhum óculos de RA antes e tão pouco montou painel estruturado em madeira antes.

Inicialmente, os participantes receberam informações sobre o intuito da pesquisa e explicação de como funcionava o sistema. Todos tiveram alguns minutos para se familiarizar com a visualização em RA, com o controle sensível ao toque do Moverio e com o uso do fone de ouvido antes de iniciar a tarefa de montar o painel estruturado em madeira.

Todos os participantes conseguiram montar o painel com sucesso. Cada um levou, em média, 55 minutos para completar a tarefa. Todos utilizaram o Moverio do início ao fim, Figura 8, e demonstraram interesse pela tecnologia utilizada.

Durante a execução da tarefa de montar o painel utilizando RA, foram registradas as ações dos participantes durante o processo. Observou-se que o controle do Moverio era

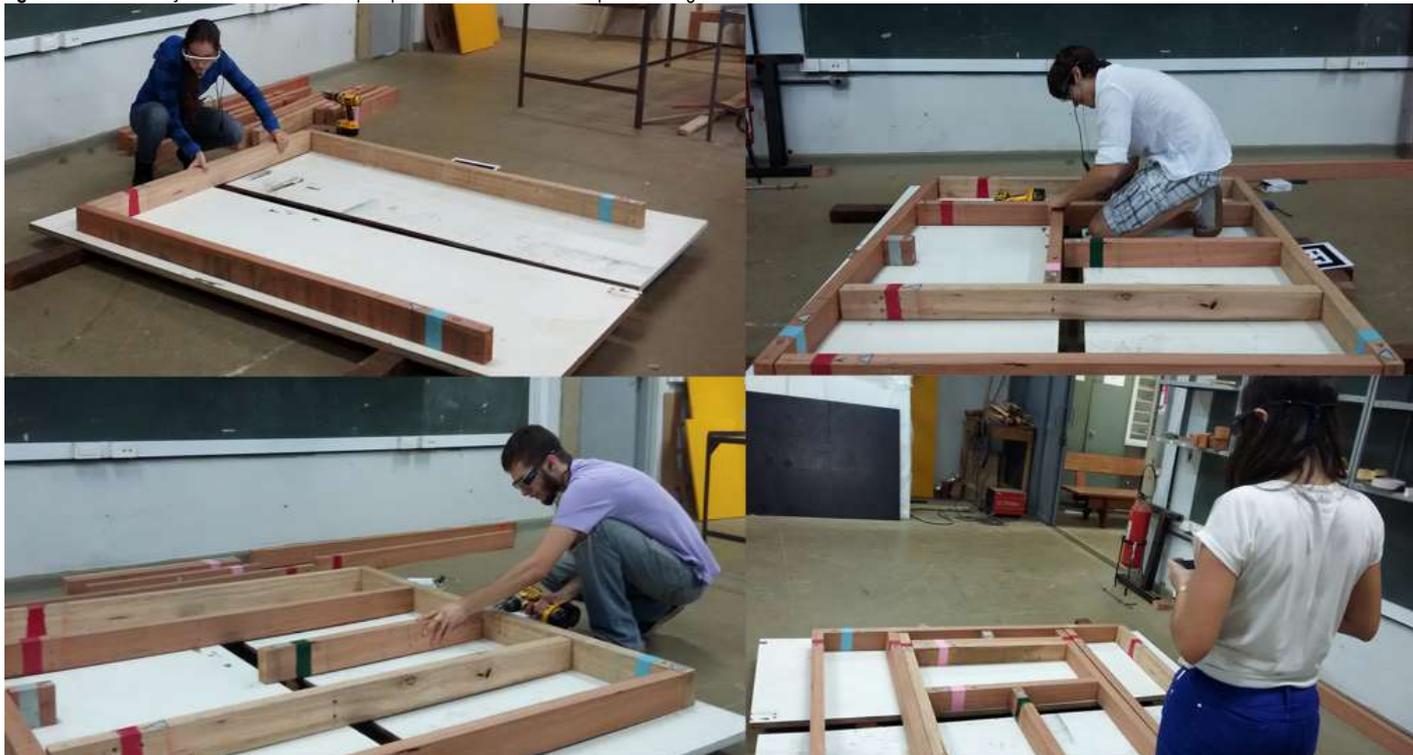
posicionado nos bolsos dos participantes durante a execução da montagem e só era retirado quando era preciso acessar um botão na interface para prosseguir com o próximo passo. Nesses momentos, os participantes se afastavam um pouco do painel para poder visualizar todo o cenário e ouvir as instruções antes de buscar as peças necessárias.

O uso dos questionários permitiu que os usuários expusessem suas dificuldades na interação como sistema. Os resultados dos questionários, no geral, indicaram aceitação do sistema proposto. Todos concordaram que: o passo a passo oferecido foi eficaz, Questão 1 (Q1); o sistema de RA era apropriado para a tarefa proposta, Questão 2 (Q2); o campo de visão oferecido pelo óculos de RA foi apropriado para a atividade desenvolvida, Questão 3 (Q3); se sentiram encorajados e motivados a concluir a tarefa, Questão 7 (Q7); realizaram a tarefa com eficácia, Questão 10 (Q10); se sentiram satisfeitos em quão bem realizaram e concluíram a tarefa, Questão 11 (Q11); sentiram vontade de continuar usando o sistema, Questão 12 (Q12); sentiram envolvidos em algo extraordinário, Questão 13 (Q13); gostaram da experiência de montar um painel estruturado em madeira utilizando o sistema de RA, Questão 14 (Q14).

Por outro lado, três participantes declararam que não foi confortável usar o óculos de RA por todo o período, Questão 4 (Q4). O uso da interface oferecida pelo sistema de RA não foi natural para um dos participantes, Questão 5 (Q5). Dois participantes declararam que a informação virtual superposta ao mundo real causou confusão, Questão 6 (Q6). Dois participantes apontaram que não conseguiram concluir a tarefa de montar o painel sem erros na primeira tentativa, Questão 8 (Q8) e outro preferiu se abster em relação ao auxílio do sistema de RA em relação à percepção e correção de erros, Questão 9 (Q9). A Figura 9 sintetiza as respostas.

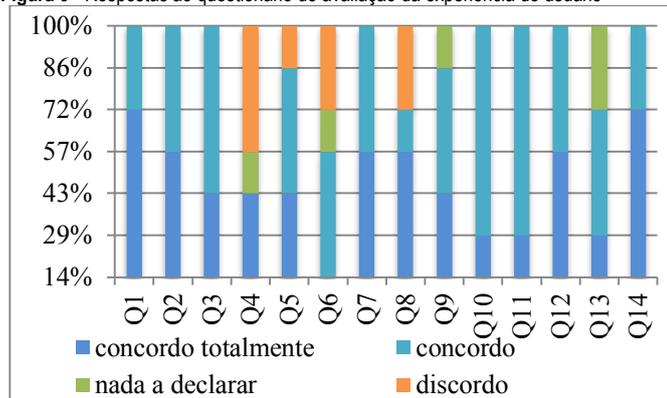
Conforme alertado por Li e Duh (2013), a desordem visual pode causar ambiguidade ou dificuldade de compreensão de conteúdos em RA. Confirmando esta questão, dois participantes se queixaram que, em determinados momentos, a superposição das peças virtuais sobre as reais não era exata. Outro participante se queixou da dificuldade de compreensão da visão em RA afirmando que “(...) a imagem do modelo virtual ou do menu algumas vezes atrapalhava a visão dos objetos reais e sentia receoso de bater o pé ou a cabeça em algum objeto por isso”. Como sugestão para solucionar esta questão, o participante sugeriu que as peças virtuais tivessem maior transparência.

Figura 8 - Demonstração de uso do sistema: pesquisadora utiliza o sistema para montagem e conferência



Fonte: Os autores

Figura 9 - Respostas ao questionário de avaliação da experiência do usuário



Fonte: Os autores

Legenda:

- Q1- O passo a passo oferecido pelo sistema de Realidade Aumentada foi eficaz para montagem do painel
- Q2- Senti que usar o sistema de Realidade Aumentada foi apropriado para a tarefa proposta (montar o painel estruturado em madeira)
- Q3- O campo de visão oferecido pelo óculos de Realidade Aumentada foi apropriado para esta atividade
- Q4- O uso do óculos de Realidade Aumentada foi confortável por todo o período
- Q5- A interface do sistema de Realidade Aumentada foi natural para mim (menu, botões, controle e visualização)
- Q6- A visualização da informação virtual superposta ao mundo real não me confundiu
- Q7- Quando estava usando o sistema de Realidade Aumentada me senti encorajado e motivado a concluir a tarefa
- Q8- Com o uso do sistema de Realidade Aumentada consegui concluir a tarefa de montar o painel sem erros, logo na primeira tentativa
- Q9- Quando estava montando o painel estruturado em madeira, o sistema de Realidade Aumentada possibilitou a percepção e a correção de erros
- Q10- Senti que realizei a tarefa de montar o painel estruturado em madeira com eficácia
- Q11- Me senti satisfeito em quão bem eu realizei e concluí a tarefa de montar o painel utilizando Realidade Aumentada

Q12- Quando estava usando o sistema de Realidade Aumentada senti vontade de continuar

Q13- Ao usar este sistema de Realidade Aumentada me senti envolvido em algo extraordinário, foi uma novidade

Q14- Gostei da experiência de montar um painel estruturado em madeira utilizando a Realidade Aumentada

Algumas dificuldades estão ligadas às limitações do *hardware*. Quanto ao uso do Moverio BT200 para realização da montagem do painel, um participante declarou que o uso dos óculos de RA em si não o atrapalhou, mas o controle sensível ao toque e os fios que o interligam com os óculos causaram incômodo. Por essa razão, o uso do sistema não foi natural para este participante.

Durante a execução da tarefa três participantes retiraram um dos fones de ouvido, deixando apenas um para ouvir as instruções. Uma justificativa para isso foi explicitada por um participante que declarou que se sentiu “(...) um pouco inseguro em relação ao fone de ouvido, porque não permitiu que escutasse os sons do entorno”.

Um participante sugeriu a inclusão de um item no menu com instruções iniciais indicando o que é necessário para a montagem como parafusos, peças de madeira, chave Philips ou parafusadeira. Nenhum dos participantes quando terminou a montagem utilizou o item “Conferir” do aplicativo. Dois participantes indicaram a necessidade de visualizar o modelo completo antes de começar.

No tocante à carga de trabalho mental, o foco da atenção era alterado constantemente, ora na visualização do

modelo virtual, ora na execução da tarefa. Além disso, o uso dos *smart glasses* exige que o usuário esteja sempre focado na execução da tarefa para não perder o modelo virtual de vista. Esses fatores aumentam a carga de trabalho mental e devem ser avaliados caso o sistema venha a ser utilizado por um período prolongado.

O sistema “montAR” foi desenvolvido como um modelo, uma representação simplificada, com o propósito específico de avaliar o uso de RA para o processo de montagem. Neste sentido, alguns aspectos foram considerados secundários para esta validação mas que poderiam ser considerados para sua aplicação efetiva. Por exemplo, uma funcionalidade a ser implementada seria a possibilidade de oferecer controle da interface por meio de gesticulação ou comando de voz, para que não haja a necessidade do usuário utilizar o controle sensível ao toque para isso.

A proposta de utilização de RA nesta pesquisa foi como um tutorial para montagem, uma vez que, a utilização como um gabarito demanda que novas tecnologias sejam desenvolvidas, tanto no tocante ao *software* quanto ao *hardware*. Dado esta limitação, o uso das cotas forneceu a precisão necessária para montagem e permitiu a verificação da estrutura montada.

Conclusão

Nesta pesquisa é proposto um guia interativo de montagem de painel estruturado em madeira com a utilização de RA. Para tanto, propôs-se o uso do modelo BIM do painel associado à tecnologias de RA, fazendo uso da possibilidade de interação com o usuário e da mescla entre ambiente virtual e real proporcionada por esta tecnologia.

Para tanto, foi desenvolvido um aplicativo de RA, o montAR, para o Epson Moverio BT200. O aplicativo exibe o processo de montagem de um painel estruturado em madeira de forma interativa, de forma a facilitar a montagem, mesmo para os iniciantes. O sistema foi desenvolvido para que os usuários pudessem realizar a montagem do painel sem a necessidade de manuais impressos.

Enquanto as pesquisas de Hou et al. (2013), Ong e Wang (2011), Wang, Ong e Nee (2013) e Wang et al. (2013), lidavam com a montagem de modelos de pequena dimensão (sobre o tampo da mesa), esta pesquisa explorou

a montagem de um painel estruturado em madeira em tamanho real e, portanto, de grande dimensão. A pesquisa de Hou, Wang, e Truijens (2015) explorava a montagem de sistema de encanamento em tamanho real, entretanto, a forma de visualização era por meio de projeção externa, enquanto nesta pesquisa, foi utilizada a visualização direta por HMD. Portanto, esta inovou em relação a proposta de emprego de RA e sua forma de utilização.

Todos os participantes foram capazes de concluir, com sucesso, a tarefa de montar o painel estruturado em madeira utilizando o sistema de RA. No geral, os participantes apontaram aceitação do sistema e demonstraram interesse pela tecnologia utilizada. O sistema deve ser refinado até que se obtenha um aplicativo com funcionamento adequado para o propósito. Portanto, devem ser realizadas melhorias na aplicação de RA conforme as necessidades que apontadas na avaliação, quais sejam: maior transparência das peças virtuais, inclusão no menu de instruções iniciais e de visualização de todo o painel.

O presente estudo reforça o potencial de uso de RA em AEC, mais especificamente, no sistema de *wood-frame*. O *wood-frame* é um sistema que alia comprometimento com o meio ambiente e novas técnicas construtivas, mas que ainda não é muito difundido no Brasil. Com o desenvolvimento de uma aplicação que ofereça um passo a passo interativo em RA para montagem de edificações que utilizam esse sistema construtivo, espera-se auxiliar na montagem de edificações em *wood-frame*. Com isso, essa aplicação pode contribuir com a difusão do sistema de *wood-frame* no processo de construção brasileiro, propiciando sua adoção e divulgação. O artefato resultante da pesquisa poderá ser utilizado tanto por operários no canteiro de obras como por profissionais, professores e estudantes no campo de AEC como forma de ensino e aprendizado.

Adotando uma visão mais abrangente, esta pesquisa indica que o uso de RA poderá ser importante para os processos de construção como um todo, até mesmo, daqueles já consolidados. Por isso, é importante a realização de novos estudos neste sentido. Como trabalho futuro, pretende-se ampliar o tutorial para englobar as instalações elétrica e hidráulica e o fechamento do painel com chapas de *Oriented Strand Board* (OSB).

Agradecimentos

A realização desta pesquisa foi possível graças ao apoio dado pelo Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU), Universidade de São Paulo (USP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Pós-doutorado Júnior (Processo: 151435/2014-6) e pela bolsa de Iniciação Científica (Processo: 149755/2015-5).

Notas

(1) Disponível em < <https://itunes.apple.com/at/app/dokadek-30/id560068293?mt=8> >.

Referências

- AMIM, R. R.; LANDAU, L.; CUNHA, G. G. Realidade Aumentada Aplicada à Arquitetura e Urbanismo *In: WORKSHOP DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA*, 7., 2007. **Anais...** Itumbiara, Goiás: 2007. p. 155-157.
- AMORIM, K. Minha Casa, Minha Vida entrega o primeiro residencial do Paraná construído com *wood-frame*. **Portal PINIweb**, 26 mar 2015. Disponível em < <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/obras/minha-casa-minha-vida-entrega-o-primeiro-residencial-do-parana-341265-1.aspx> > Acesso em 18 dez. 2015.
- BIMBER, O; RASKAR, R. **Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds**. Boca Raton: A K Peters, 2005. 369p. ISBN 1-56881-230-2.
- BURROWS, J. **Canadian Wood-Frame House Construction**. 3. ed. Toronto: Canada Mortgage and Housing Corporation, 2014. 351p. ISBN 0-660-19535-6.
- DAUM, K.; BREWSTER, J.; ECONOMY, P. **Building your own home for dummies**. Indianopolis: John Wiley & Sons, 2011, 365p. ISBN 0-76645-5709-2.
- FERREIRA, R. MCMV de madeira: Conheça a tecnologia e os custos de construção do primeiro empreendimento em *wood-frame* do programa Minha Casa, Minha Vida. **Construção**, v. 146, p.16-21. set 2013. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/146/artigo299692-1.aspx>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- FLUMIAN, H. Madeira!. **Revista Gol**, v. 156, p. 108-112, mar. 2015. Disponível em: < http://www.voegol.com.br/pt-br/servicos/entretenimento-a-bordo/RevistasArquivos/GOL_156_PDF.pdf > . Acesso em 10 de ago. de 2015
- HALLER, M.; BILLINGHURST, M.; THOMAS, B. **Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design**. London: Idea Group Publishing, 2007. 415p. ISBN 1-59904-066-2.
- HANZL, M. Information technology as a tool for public participation in urban planning: a review of experiments and potentials. **Design Studies**, v. 28, n. 3, p. 289-307, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2007.02.003>. Acesso em: 18 dez. 2015.
- HOU, L. et al. Using animated augmented reality to cognitively guide assembly. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 27, n. 5, p. 439-451, 2013. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000184](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000184). Acesso em: 18 dez. 2015.
- HOU, L.; WANG, X.; TRUIJENS, M. Using augmented reality to facilitate piping assembly: an experiment-based evaluation. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 29, n. 1, p. 05014007, 2013. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000344](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000344). Acesso em: 18 dez. 2015.
- LI, N.; DUH, H. B.-L. Cognitive Issues in Mobile Augmented Reality: An Embodied Perspective. *In: HUANG, W., ALEM, L., & LIVINGSTON, M. (Eds.). Human factors in augmented reality environments*. New York: Springer, 2013. cap. 5, p. 109-135.
- MACCHIARELLA, N. D.; LIU, D.; VINCENZI, D. A. Augmented Reality as a Means of Job Task Training in Aviation. *In: VINCENZI, D. A. et al. Human factors in Simulation and Training*. New York: CRC Press, 2009. p.201-228. ISBN 978-1-4200-7283-9.
- MOLINA, J. C.; CALIL JR, C. Sistema construtivo em *wood-frame* para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, dez. 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewFile/4017/6906>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- ONG, S. K.; WANG, Z. B. Augmented assembly technologies based on 3D bare-hand interaction. *In: CIRP ANNALS-MANUFACTURING TECHNOLOGY*, 60, 2011. **Proceedings...** 2011. p. 1-4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2011.03.001>. Acesso em: 18 dez. 2015.

OLSSON, T. D. Concepts and Subjective Measures for Evaluating User Experience of Mobile Augmented Reality Services. In: HUANG, W., ALEM, L., & LIVINGSTON, M. (Eds.). **Human factors in augmented reality environments**. New York: Springer, 2013. cap. 9, p. 203-232.

SCHMORROW, D. et al. Virtual Reality in the Training Environment. In: VINCENZI, D. A. et al. **Human factors in Simulation and Training**. New York: CRC Press, 2009. p.201-228. ISBN 978-1-4200-7283-9.

WANG, X. Exploring an Innovative Collaborative Design Space through Mixed Reality Boundaries. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED COOPERATIVE WORK IN DESIGN, 11., 2007, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne: CSCWD, 2007. p. 264-269.

WANG, Z. B. et al. Assembly planning and evaluation in an augmented reality environment. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 23-24, p. 7388-7404, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2013.837986>. Acesso em: 18 dez. 2015.

WANG, Z. B.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C. Augmented reality aided interactive manual assembly design. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 69, n. 5-8, p. 1311-1321, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-013-5091-x>. Acesso em: 18 dez. 2015.

¹ **Ana Regina Mizrahy Cuperschmid**

Arquiteta e Urbanista. Doutora em Arquitetura, Tecnologia e Cidade pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP .
Endereço postal: Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, São Carlos - SP – Brasil, CEP 13566-590

² **Marina Graf Grachet**

Graduanda em Engenharia Civil na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Endereço postal: Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, São Carlos - SP – Brasil, CEP 13566-590

³ **Márcio Minto Fabrício**

Engenheiro Civil. Livre - Docente em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Professor do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Endereço postal: Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, São Carlos - SP – Brasil, CEP 13566-590