

# Avaliação da Usabilidade de Produtos Eletroeletrônicos com o Auxílio da Prototipagem Rápida por Impressão 3D e da Realidade Aumentada

## Usability Evaluation Of Eletronic Products With The Aid Of Rapid Prototyping 3D Printing And For Augmented Reality

*Danilo Motta Monaco<sup>1</sup>, Arthur Gimenez Zanduzzo<sup>2</sup>, Leandro Nuerberg Zanette<sup>3</sup>, Tiago Cetecati<sup>4</sup>, Fernando Araújo<sup>5</sup>, Fernando Faust<sup>6</sup>, Marcelo Gitirana Gomes Ferreira<sup>7</sup>*

## Resumo

Durante o processo de desenvolvimento de produtos, vários aspectos são avaliados como função, estética, fabricação, entre outros. Na prática do design, os produtos geralmente são concebidos com a ajuda de desenhos ou representações informatizadas, seguido de protótipos físicos construídos para avaliar alguns dos aspectos mencionados anteriormente. No entanto, estes protótipos geralmente demoram muito tempo para serem confeccionados e geram custos elevados. A Realidade Aumentada surge como potencial para auxílio dos designers na avaliação dos vários aspectos envolvidos no projeto, reduzindo os custos e tempo de projeto, mantendo, ou até mesmo, melhorando a qualidade da avaliação. Este artigo apresenta os procedimentos metodológicos que estão sendo empregados em uma pesquisa, realizada do Departamento de Design da Universidade do Estado de Santa Catarina, que tem como objetivo avaliar o potencial da utilização conjunta da tecnologia de RA e da prototipagem rápida por impressão 3D (FDM – Fused Deposition Modeling)

para avaliação de aspectos de usabilidade de produtos eletrônicos de consumo, relatando os procedimentos utilizados para o projeto e confecção de um modelo em escala real do projetor Epson x14+, da interface para o manejo da tecnologia de realidade aumentada e do arranjo eletrônico que transfere a informação da interface ao computador. São apresentados e discutidos os principais problemas encontrados durante os experimentos realizados usando protótipos aumentados (ou mistos) para avaliar a interação humano produto durante as fases iniciais do projeto do produto. O projeto está na etapa de preparação para a realização das avaliações da usabilidade com usuários, utilizando-se de produtos reais e seus modelos virtualmente aumentados equivalentes e os resultados destas avaliações buscam avaliar objetivamente o potencial da tecnologia de modelagem proposta.

**Palavras-Chave:** : Realidade aumentada, Usabilidade, Design de produto, Prototipagem rápida

ISSN: 1808-3129

---

<sup>1</sup> Graduando da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Florianópolis - SC – Brasil; danilomonaco@gmail.com

<sup>2</sup> Graduando da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC Florianópolis – SC – Brasil; arthurzanduzzo@gmail.com

<sup>3</sup> Graduando da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC Florianópolis - SC - Brasil; lelozanette@hotmail.com

<sup>4</sup> Mestrando Universidade Federal de Santa Catarina – UDESC

Florianópolis – SC – Brasil; tcatecati@gmail.com

<sup>5</sup>Doutoranda Universidade Federal de Santa Catarina – UDESC

Florianópolis – SC – Brasil; feujo@hotmail.com

<sup>6</sup> Mestranda Universidade Federal de Santa Catarina – UDESC

Florianópolis - SC - Brasil; fernandagfaust@gmail.com

<sup>7</sup> Orientador, Prof. Dr. da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Florianópolis – SC – Brasil - marcelo.gitirana@gmail.com

## Abstract

During the product developing process, many aspects like function, aesthetics, manufacturing and others are evaluated. In the product design industry, products are usually conceived with the help of drawings or computerized representations, followed by physical prototypes built to evaluate any of the aforementioned aspects. However, the making of these prototypes takes a long time and comes at a big cost. The augmented reality arises as a potential aid for designers on the evaluation of the project's aspects, lowering costs, time, and even improving the quality of the evaluation. This article shows the methodological procedures being used in a research held by the design department of the Universidade do Estado de Santa Catarina, which has as goal to evaluate the potential use of augmented reality allied with rapid prototyping by 3D printing (FDM- Fused Deposition Modeling) to evaluate the usability aspects of consumer electronics, reporting the procedures used for the project and confection of a full-scale model of the

projector Epson x14+ and of the interface for management of the augmented reality technology and of the electronic arrangement that transfers the interface information to the computer. Are presented and discussed major problems encountered during the experiments conducted using augmented prototypes) to evaluate the Interaction Human-Product .The project is in the preparation phase for conducting usability evaluations with users, using the equivalent real products and their models virtually increased and the results of these assessments seek to objectively evaluate the potential of the proposed modeling technology.

**Keywords:** Augmented reality, Usability, Product design

## 1.Introdução

Durante o desenvolvimento de produtos, aspectos funcionais, estéticos, de produção, entre muitos outros, são usualmente avaliados (BACK et al, 2008; BAXTER, 2000; ROZENFELD, 2006). Protótipos físicos costumam ser construídos para avaliação da funcionalidade do produto, bem como dos demais aspectos anteriormente referenciados. Tais protótipos, em função dos seus altos custos e longo tempo de confecção, frequentemente encarecem e estendem a duração do projeto, com consequências negativas sobre o grau de competitividade do produto quando lançado no mercado. Protótipos virtuais, realizados a partir de modelos computadorizados tridimensionais, são hoje utilizados em avaliações de aspectos técnicos do produto. É neste contexto – da substituição ou complementação das simulações e avaliações físicas pelas virtuais auxiliadas por computador – que as tecnologias de realidade aumentada (RA) surgem com o potencial de auxiliar os projetistas na avaliação de vários aspectos envolvidos no projeto, reduzindo substancialmente o custo e o tempo do projeto (lead time), e mantendo, ou mesmo aprimorando, a qualidade da avaliação realizada (YE, 2007).

Esta pesquisa, em desenvolvimento no Departamento de Design da Universidade do Estado de Santa Catarina, tem como objetivo avaliar o potencial da utilização conjunta de tecnologia de RA e de prototipagem rápida por impressão 3D (FDM – *Fused Deposition Modeling*) para avaliação de aspectos de usabilidade de produtos eletrônicos de consumo. Desde março de 2010, o grupo de pesquisa vem investigando o uso de realidade aumentada para ajudar na avaliação da interação usuário-produto nos estágios iniciais do processo de design.

Com foco na avaliação da usabilidade do produto, foi desenvolvido um protótipo virtualmente aumentado de um projetor de imagens, modelo Epson x14+. A escolha do produto se deu por se tratar de um objeto comum na universidade. Professores e alunos estão familiarizados com estes projetores facilitando a seleção de usuários e a realização dos testes na Universidade. Primeiramente foi elaborado um modelo físico do projetor de imagens para interação com o usuário, pintado para uso de “Chroma Key”. Para que o usuário utilize as funções do projetor e realize as avaliações de usabilidade foi elaborada uma interface para feita a partir de uma placa microcontroladora Arduino. Percebendo a dificuldade e tempo gasto para modelar diversas interfaces e arranjos de botões do projetor, foi observada a possibilidade da utilização de uma impressora 3D, assim, com a aquisição desta foi possível criar diversas interfaces diferentes para os testes de usabilidade. Também foi feita a programação da placa Arduino para que este fosse usado como o teclado utilizado no modelo físico antigo e também a impressão dos botões e suporte para a interface do projetor.

No momento o projeto está em um processo de preparação para a realização das avaliações da usabilidade com usuários, utilizando-se de produtos reais e seus modelos virtualmente aumentados equivalentes. Os resultados destas avaliações buscam avaliar objetivamente o potencial da tecnologia de modelagem proposta. Este artigo apresenta os procedimentos metodológicos que estão sendo emprega-

dos na pesquisa, quanto à realização da avaliação da usabilidade. Antes disto, porém é realizada uma breve revisão dos principais conceitos relativos à RA e à avaliação da usabilidade de produtos.

## 2. Usabilidade

A ISO 9241-11, de 1998, define usabilidade como: “a medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso”.

Para o melhor entendimento desta definição, é importante esclarecer o significado dos termos segundo Jordan (1998):

- **Eficácia:** se refere à extensão na qual uma meta é alcançada ou uma tarefa é realizada.
- **Eficiência:** se refere à quantidade de esforço requerido para se atingir uma meta. Quanto menos esforço, maior é a eficiência.
- **Satisfação:** se refere ao nível de conforto que os usuários sentem quando utilizam um produto e também ao nível de aceitação do produto pelos usuários para atingir as suas metas.

A definição da ISO 9241-11 (1998) deixa claro que a usabilidade não é uma propriedade intrínseca do produto isoladamente. Depende do seu “contexto específico de uso”: quem está utilizando o produto; para que finalidade; em qual ambiente. Por exemplo, para produtos relacionados ao trabalho, como no caso de uma furadeira, eficácia e eficiência tendem a ser aspectos mais importantes que a satisfação. O inverso ocorre com produtos relacionados ao lazer: um jogo eletrônico, por exemplo.

Algumas métricas são utilizadas para a avaliação da usabilidade de um produto, relacionadas com os três aspectos da usabilidade citados anteriormente, de acordo com Jordan (1998). As métricas de Eficácia se referem à completeza da tarefa, à qualidade do resultado. As métricas de Eficiência estão relacionadas aos desvios do caminho crítico (o mais eficiente para realizar a tarefa); quantidade ou taxa de erros; tempo para a realização da tarefa; carga mental (medida de diferentes formas). Por fim, as métricas de Satisfação, que fazem uma análise qualitativa (por meios de entrevistas e questionários, por exemplo) ou quantitativa da satisfação (por meio de escala quantitativa, como a de Likert).

Os critérios e a rigorosidade das avaliações dependem principalmente do tipo de produto analisado e suas características. Por exemplo, um telefone celular possui várias funcionalidades ou recursos avançados nos quais questões de usabilidade são cada vez mais desafiadoras e que têm um processo de avaliação diferente da de um aparelho de DVD, que possui um número reduzido de funções.

Para uma avaliação efetiva é importante que se estabeleça um roteiro, de acordo com as seguintes etapas (BARRINGTON, 2007; LEE, 2008; LAVIE et al., 2010):

1. Revisar os objetivos e metas: um dos propósitos da avaliação é o de determinar se os métodos, as métricas e os fatores selecionados estão atingindo as metas e objetivos estabelecidos para a avaliação;

2. Desenvolver uma estratégia de avaliação: planejar como, quando e o que avaliar;

3. Coletar e analisar dados para avaliação: uma análise cuidadosa dos resultados identifica falhas e pontos fracos, sucessos e pontos fortes na interação produto-usuário.

É também de grande importância que ocorra uma descrição do ambiente em que ocorrerá a avaliação, para que se possa realizar uma análise dos dados de acordo com o local em que foi realizado. Rubin e Chisnell (2008) orientam que, sempre que possível, deve-se realizar um pré-teste, a fim de ajustar os objetivos e as metas da avaliação e torna-la válida e, principalmente, confiável. Entende-se que as avaliações da usabilidade são indispensáveis no desenvolvimento de produtos, visto que, sem eficiência, eficácia e satisfação, não é possível que haja uma boa experiência na interação do usuário com o produto.

### 3. Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada surge como potencial apoio para designers na avaliação dos diversos aspectos envolvidos na fase de concepção, reduzindo custo e tempo, mantendo ou mesmo melhorando a qualidade da avaliação. Esta tecnologia pode ser definida como a sobreposição de objetos virtuais (imagens, textos, sons, entre outros) sobre o ambiente real do usuário. Desta forma, de acordo com Kirner e Tori (2006), na Realidade Aumentada objetos reais coexistem com objetos virtuais gerados por computador, fazendo com que o usuário experimente uma interação multisensorial (visão, audição, olfato, tato, força, entre outros) e em tempo real.

Os sistemas de RA são implementados de tal maneira que o cenário real e os objetos virtuais permanecem ajustados, mesmo com a movimentação do usuário no ambiente real. Frente a uma vasta gama de tecnologias que emergiam e se posicionavam entre o ambiente puramente real e a realidade totalmente virtual, Milgram et al. (1994) propuseram um continuum representado pelo diagrama da Figura 1.



Figura 1: Continuum de Milgram. Fonte: Milgram et al (1994)

As tecnologias acerca da Realidade Aumentada estão em constante expansão e várias são as formas sob as quais a RA pode ser tecnologicamente implementada, fazendo uso de equipamentos diversos, tais como: monitores de computador, óculos de realidade virtual, dispositivos portáteis e projetores.

### 4. Método de pesquisa

Este projeto está dividido em quatro etapas (Figura 2). Na primeira etapa foi realizada uma revisão bibliográfica em livros, periódicos e sites atuais acerca dos temas abordados a fim de identificar e compreender os conceitos e a forma como os mes-

mos vinham sendo aplicados. Na segunda etapa, de preparação do teste, foi realizada a seleção do produto, os ajustes da tecnologia, planejamento de teste, seleção dos participantes e pré-teste. A realização destas atividades permitirá que o teste seja realizado de acordo com os objetivos e tarefas pré-estabelecidas, bem como no tempo e com os recursos necessários. A terceira etapa diz respeito ao teste, convite aos participantes e realização do teste. A última etapa se refere a análise dos resultados, que contempla a análise dos vídeos do teste, das observações, das métricas e do questionário pós-teste e as conclusões.

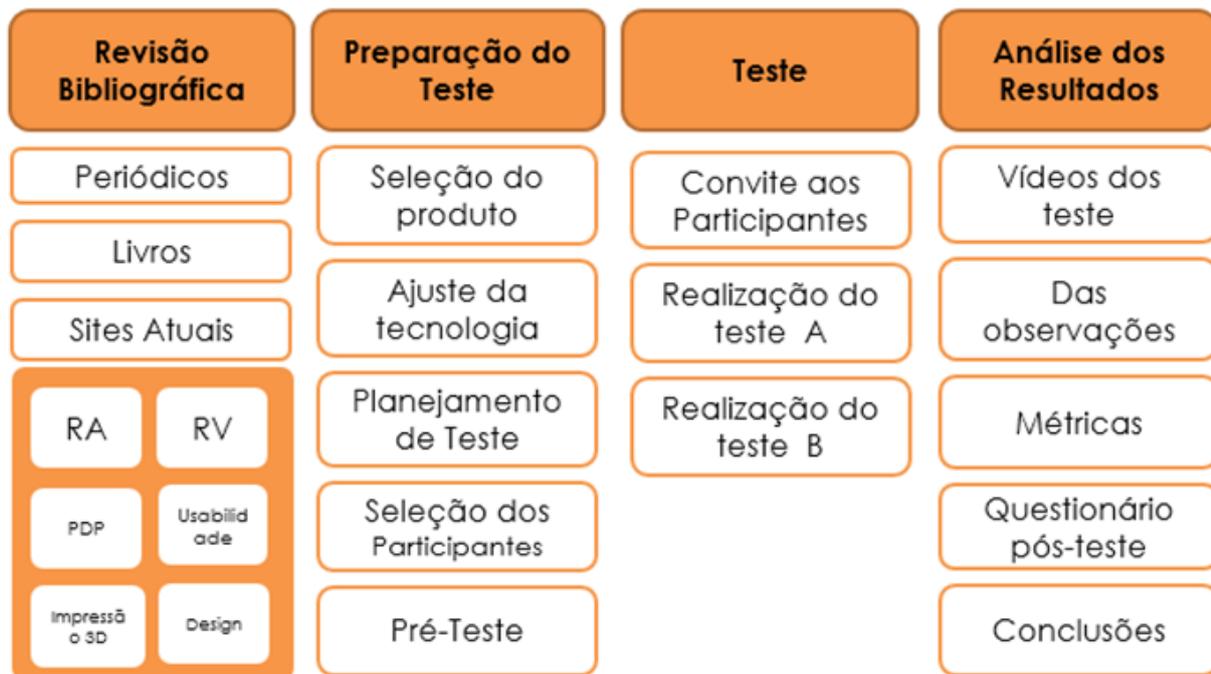


Figura 2 – Etapas do projeto. Fonte: Os autores.

O produto selecionado para esta avaliação foi um projetor multimídia EPSON modelo PowerLite X14+ (Figura 3). A escolha deste produto se deu por se tratar de uma pesquisa acadêmica e este produto ser considerado acessível e constantemente utilizado por professores e eventualmente por alunos. O teste será realizado em duas versões (A e B), cada uma com uma atividade considerada fácil, uma média e uma difícil. Nas duas versões a escolha dos procedimentos de avaliação foi baseada em Nielsen (1993) e Rubin e Chisnell (2008).



Figura 3: Projetor PowerLite X14+.

O teste será realizado em três etapas. Primeiramente a familiarização dos participantes com o uso da realidade virtual, seguido pelas instruções de como proceder durante o teste (com e sem a tecnologia de RA). Por fim, serão realizados os testes na Versão A e Versão B com os participantes selecionados.

#### 4.1 Seleção dos Participantes

Para a realização do teste foram selecionados professores que utilizam o produto com frequência e que conheçam as principais funções do mesmo (Experts) e alunos que já utilizaram ou não o produto, mas não o dominam. Foi realizado um questionário de triagem (RUBIN e CHISNELL, 2008; UNGLER e CHANDLER, 2009), para verificar o nível de conhecimento dos professores em relação ao produto. Serão realizados os testes na Versão A e Versão B com os 16 participantes selecionados, separados em Amostra 1 (A1) e Amostra 2 (A2), segundo Tabela 1. Seguindo as recomendações de Rubin e Chisnell (2008) que afirmam que a realização de testes de usabilidade com 10 a 12 participantes já é suficiente para detectar pelo menos 80% dos problemas de usabilidade com um custo relativamente baixo.

Participante	A1	A2
Professor 1	A	B (RA)
Professor 2	A	B (RA)
Professor 3	A	B (RA)
Professor 4	A	B (RA)
Professor 5	B	A (RA)
Professor 6	B	A (RA)
Professor 7	B	A (RA)
Professor 8	B	A (RA)
Participante	A1	A2
Aluno 5	A	B (RA)
Aluno 6	A	B (RA)
Aluno 7	A	B (RA)
Aluno 8	A	B (RA)
Aluno 1	B	A (RA)

Aluno 2	B	A (RA)
Aluno 3	B	A (RA)
Aluno 4	B	A (RA)

Tabela 1: Matriz de participantes e atividades.

Além dos participantes, estarão presentes três avaliadores e um moderador. O moderador irá ambientar o participante e conduzir o teste. Os avaliadores irão registrar as informações, como tempo de realização da tarefa, erros entre outros e anotar as observações orais, bem como reconhecer e observar as expressões faciais mais perceptivas durante a avaliação.

## 5. Local e Ambiente de Avaliação

A avaliação será realizada em uma sala de aula usual do departamento de Design da Universidade do Estado de Santa Catarina. O local foi escolhido por ser de fácil acesso e rotineiro para os participantes, inclusive quanto à utilização do produto. Para Rubin e Chisnell (2008), realizar a avaliação no contexto habitual do participante, facilita a obtenção de resultados mais próximos da realidade.

Foram desenvolvidos dois layouts diferentes de acordo as necessidades dos testes. A primeira ambientação (Figura 4) foi desenvolvida para o teste com o produto físico e deverá conter: o projetor (1) ligado a um notebook (2), permitindo que todas as funções do produto funcionem corretamente. Um espaço reservado em frente ao projetor para o participante (3). Uma parede livre (4) para projetar as imagens e uma cadeira em frente ao notebook (5) para que o mediador possa monitorar e guiar o participante durante o teste. Três cadeiras em frente à mesa (6) com vista direta ao participante do teste, onde estarão três observadores para tomar nota de tempo, expressões faciais e expressões verbais. Uma câmera (7) posicionada de modo que consiga captar as mãos do participante e suas expressões faciais e outra câmera (8) para captar os caminhos na interface do projetor que o participante percorre durante o teste.

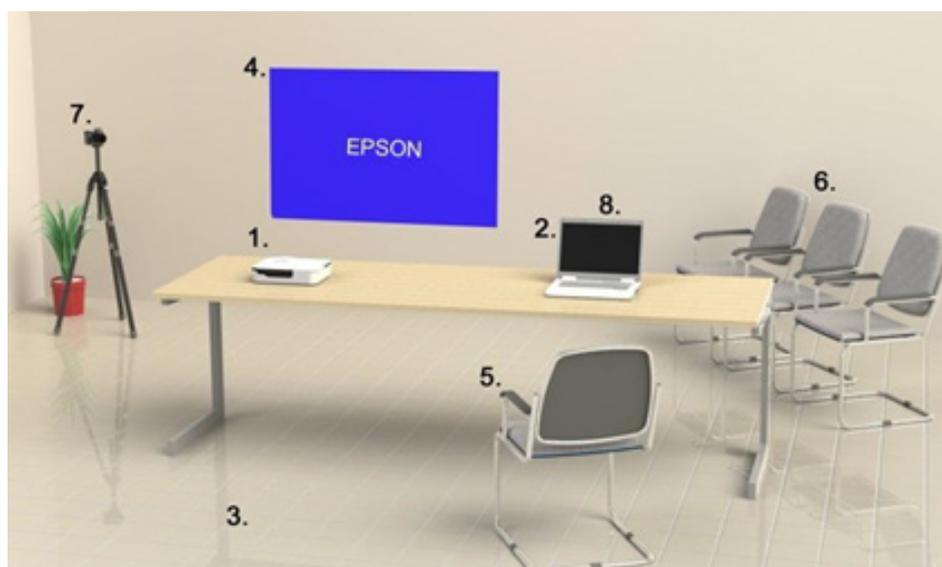


Figura 4: Layout 1 - Modelado Virtualmente. Fonte: O autores.

O segundo layout (Figura 5) planejado para o teste com o HMD deverá conter: O mock-up funcional com o marcador fiducial correspondente ao produto (1) com a placa de circuito integrado (botões) conectada ao computador (2) e o projetor real (3) que estão conectados ao processador de vídeo do óculos (4). O participante (5) em frente ao mock-up utilizando o óculos (6) e uma parede livre em frente ao projetor com a projeção correspondente as ações do participante no mock-up.

Uma cadeira em frente ao notebook (7) para que o mediador possa monitorar e guiar o participante durante o teste e três cadeiras em frente a mesa(8) para os observadores. Uma câmera (9) posicionada de modo que consiga captar as mãos do participante e suas expressões faciais.

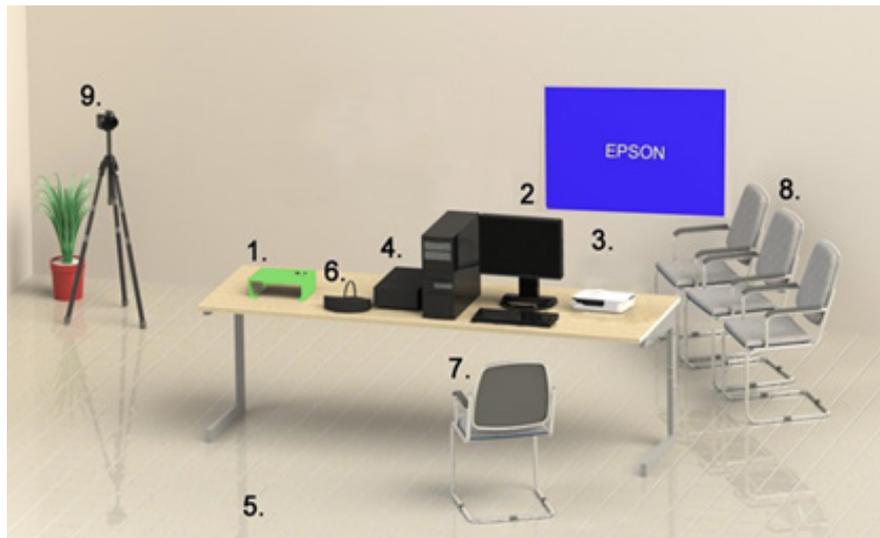


Figura 5: Layout2 - Modelado virtualmente. Fonte: Os autores.

## 6. Testes Preliminares

Com o avanço da pesquisa, foram realizados testes preliminares para refinamento e estudo da avaliação a ser aplicada, buscando evitar os possíveis problemas que possam ocorrer durante a avaliação e o melhoramento das tecnologias até que o teste esteja apto a realização.

O foco inicial do desenvolvimento da pesquisa foi o maior entendimento do produto, onde foi realizado o mapeamento das funções do projetor observando os caminhos que cada tecla permite ao usuário. Após este mapeamento foi possível alinhar as configurações dos botões (placa de circuito), para o teste com o projetor real. Paralelamente foi desenvolvido o modelo virtual (Figura 6), assim o projetor multimídia foi cuidadosamente (com riqueza de detalhes) modelado e renderizado utilizando o software SolidWorks e convertido em com extensão .DAE, adequando este ao mock-up para que o participante consiga ver virtualmente e manipular fisicamente.

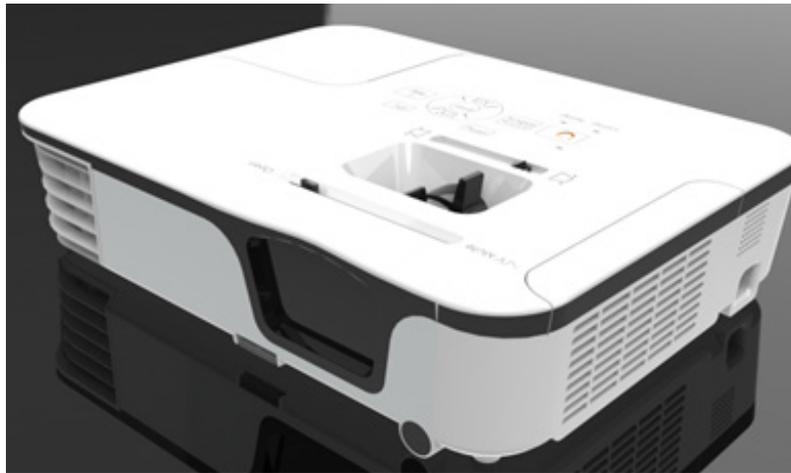


Figura 6 - Modelo virtual do projetor PowerLite X14+ da Epson. Fonte: os Autores.

Iniciou-se a construção de modelo físico (mock-up), com uma base plana com limites laterais do mesmo volume do projetor original, porém, simplificado nos detalhes e curvaturas. Foram encontrados problemas como o hand occlusion, sobreposição da imagem virtual sobre a real, no caso as mãos. Optou-se então por utilizar a técnica de "Chroma key", frequentemente usada em filmes e na televisão para a inclusão da imagem de um cenário natural em uma cena gravada em um estúdio. Usando esta técnica, a imagem virtual se sobrepõe à imagem do mundo real, apenas nas regiões detectados como verde (Figura 7).



Figura 7- Versão final do Mock-up. Fonte: os Autores

No protótipo do projetor foi necessário desenvolver uma placa eletrônica que gera um sinal de teclado específico, que é interpretado pelo computador como o acionamento um dos botões presentes no projetor real e unida a um processador Arduino. Respeitando os tamanhos e posicionamentos dos botões do projetor real (dez ao todo), utilizando de prototipagem rápida por impressão 3D (FDM – Fused Deposition Modeling) a fim de possibilitar a interação (física) usuário-modelo. Para que o módulo pudesse ser acoplado no mock-up do projetor foi necessário criar um compartimento com as dimensões do modulo no mock-up. Este compartimento foi feito via usinagem com o auxílio de uma micro retífica equipada com uma base com altura de corte ajustável e uma fresa, visto que o modelo foi feito em espuma de poliuretano, um material fácil de usar.

Para o desenvolvimento do módulo, a impressora 3D foi recebida no segundo semestre de 2013. Inicialmente houveram problemas de configuração e instalação do end-stop (limitador do eixo X da impressora), o que fazia com que a impressora não parasse ao atingir o eixo. Após a correção dos problemas, foram feitas calibrações e testes a fim de capacitar os usuários na operação do equipamento.

O módulo consiste numa estrutura inferior, que suporta o Arduino, a placa eletrônica e os botões, e uma chapa superior que suporta as teclas e leva um acabamento verde. Foi projetado para aceitar uma placa eletrônica de 12,5cm por 6,8cm com 10 botões posicionados de forma com que satisfaçam a mesma interface do projetor, apresentadas na Figura 8 e 9.

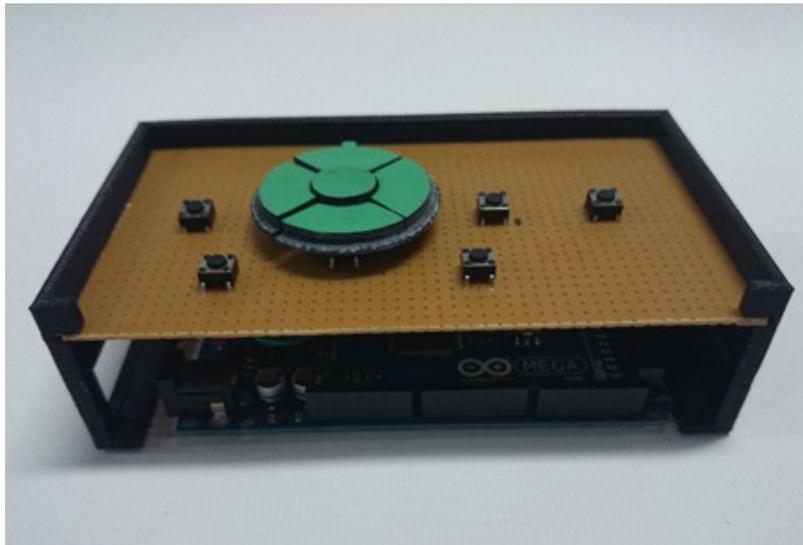


Figura 8- Conjunto, módulo, arduino e placa de circuito Fonte: Os autores.

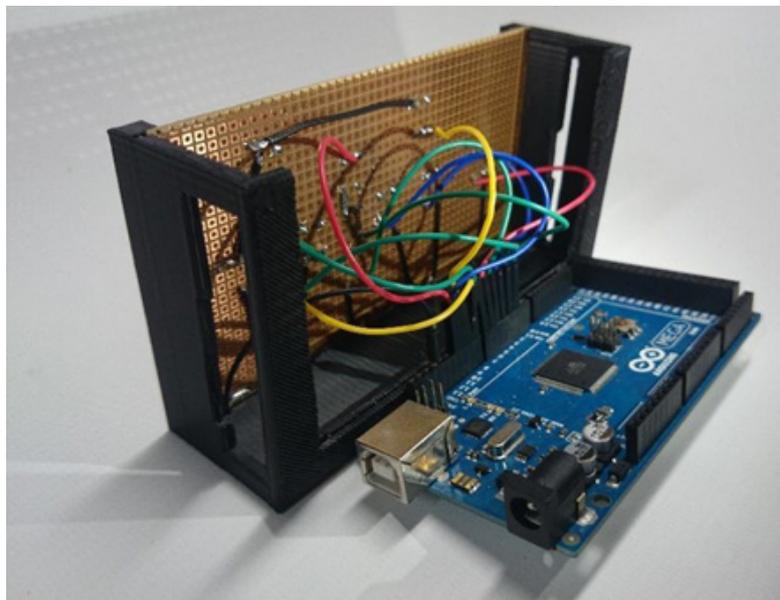


Figura 9- Módulo internamente junto com placa de circuito e arduino Fonte: Os autores.

As teclas dos botões foram projetadas para se assemelharem as do projetor, com uma concavidade em sua superfície. Embaixo das teclas estão posicionados os botões na placa eletrônica de forma com que para cada tecla há um botão embaixo

ligado a placa que por sua vez está ligada ao circuito Arduino. A chapa superior do módulo possui os recortes para as teclas dos botões que estão posicionados da mesma maneira que no projetor. A chapa superior e as teclas formam a interface com o que o usuário interage. O processo de confecção do módulo na impressora 3D provou sua eficiência e eficácia na prototipagem rápida (Figura 10).

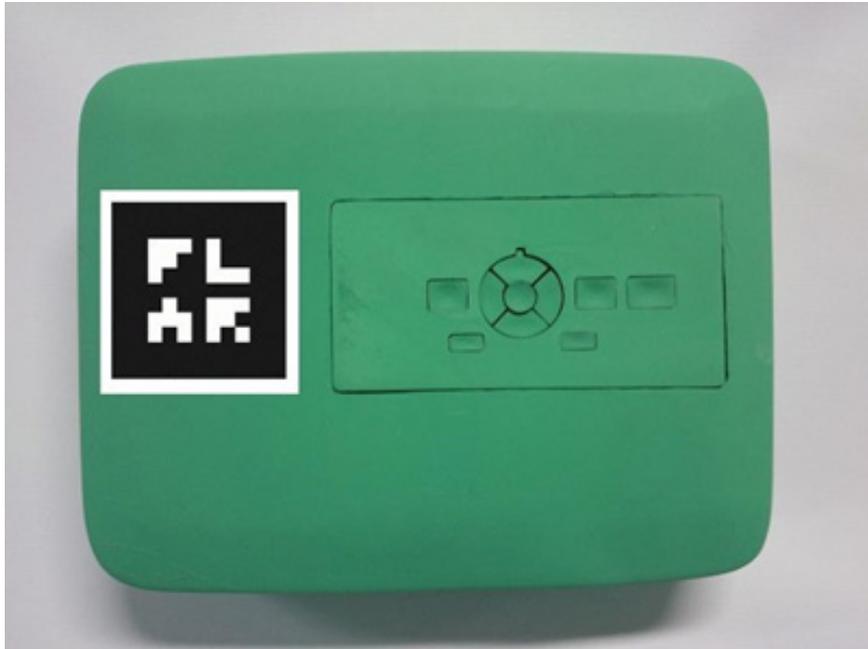


Figura 10- Mock-up com módulo e interface acoplados Fonte: Os autores.

A modelagem foi feita por meio do CAD SolidWorks para posterior prototipagem na impressora 3D. O projeto do módulo é antecessor às peças (placa eletrônica, botões e arduino), a medida que essas peças ficaram prontas (ou em alguns casos foram compradas) foi necessário fazer alterações no projeto do módulo, sendo realizado ao todo 3 protótipos do módulo na impressora 3D. As teclas também foram projetadas por modelamento virtual via CAD SolidWorks e impressas na impressora 3D, foi na impressão das teclas em que a impressora se mostrou muito importante devido a geometria orgânica da superfície das teclas e ao tamanho pequeno.

Após o desenvolvimento do módulo, a placa de circuito foi cortada com dimensões devidamente calculadas para encaixar no módulo de maneira com que não fosse necessário adicionar algum agente fixador da placa. Os botões eletrônicos foram posicionados na placa eletrônica de forma com que ficassem alinhados com as teclas, devido aos furos pré feitos na placa eletrônica os botões não podiam ser posicionados com máxima liberdade. Isso resultou em uma falta de alinhamento entre as teclas e os botões, porém esta condição não influenciou negativamente o desempenho da interface. Após o posicionamento dos botões, os mesmos foram soldados a placa usando uma solda fraca, devido ao calor produzido pelo ferro de solda algumas folhas de cobre da placa eletrônica se soltaram. Assim, a placa eletrônica foi substituída por uma nova, o ferro de solda substituído por um que não produzia calor excessivo, finalizando o desenvolvimento do conjunto de botões e da placa eletrônica.

O teste de montagem do conjunto revelou uma disparidade entre a altura das

teclas devido à falta de rigidez da placa eletrônica, a alternativa mais viável foi a impressão 3D de novas teclas com alturas variáveis em cota, porém alinhadas quando montadas no conjunto. Os testes iniciais mostraram que o conjunto era operável, porém foi constatado que a impressora criava as peças com uma pequena margem de erro de menos de meio milímetro, o que criou fricção indesejada entre as teclas e a interface. Para eliminar a fricção foram limadas as peças que estavam em arrasto criando folgas que conferiam as teclas o movimento vertical livre de fricção. Em um novo teste o módulo funcionou de maneira adequada, mostrando-se pronto para o recebimento do acabamento e para a acoplagem ao modelo do projetor.

Após o desenvolvimento do módulo foi feita a programação da placa microcontroladora Arduino de forma que a mesma funcionasse como a uma interface "HID", isto é, como um dispositivo de interação humana, onde ao pressionar botões ligadas a placa microcontroladora fosse registrado como teclas de teclado (Figura11).

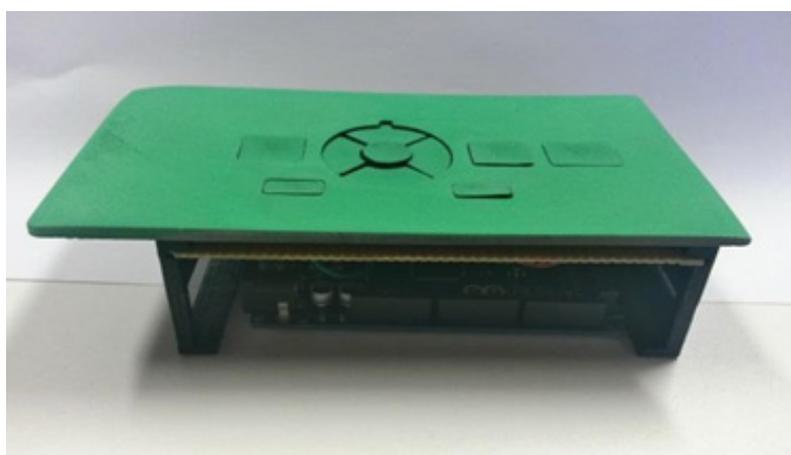


Figura 11: Conjunto, módulo, Arduino, placa de circuito e interface Fonte: Os autores.

O acabamento no modelo do projetor se baseia em duas camadas, uma de massa que cria uma superfície lisa sobre a textura porosa da espuma de poliuretano e outra de tinta na cor verde que serve para interagir com o efeito chroma key. Já na chapa superior, feita de plástico ABS, foram aplicadas uma camada de primer e outra da mesma tinta verde aplicada no modelo de PU. O primer e a tinta foram aplicados dentro da oficina Metal Mecânica da universidade com o auxílio de uma pistola pneumática de tinta e uma cabine de pintura. As teclas receberam o mesmo acabamento da chapa superior, porém foram aplicadas com o uso de um pincel devido ao tamanho reduzido das teclas. O modelo foi esculpido em espuma de poliuretano, com formato do projetor Epson x14+ usado na universidade com as seguintes dimensões 29cm de largura, 8,5cm de altura e 22cm de profundidade. O mesmo tem em si um compartimento em que o módulo se acopla e um furo na parte inferior para o escape do cabo que conecta o arduino ao computador.

Somente estes elementos constituem os elementos físicos desenvolvidos para o protótipo em RA para o projetor. Todos os demais elementos - aparência, funcionalidade, imagem projetada, entre outros - são gerados, e facilmente reconfigurados, virtualmente no computador.

Após as avaliações, os dados (quantitativos e qualitativos) levantados serão

analisados buscando a identificação, ou não, de diferenças significativas nos resultados. Serão utilizados testes estatísticos de hipótese e os resultados destas análises subsidiarão a elaboração das conclusões do projeto.

## 7. Considerações Finais

Através desta pesquisa, será possível aprimorar o conhecimento sobre o potencial da utilização das tecnologias atuais de realidade aumentada para a realização de protótipos mistos (ou virtualmente aumentados) de produtos. Utilizando tais protótipos, a equipe de design poderá avaliar aspectos de aparência, de funcionalidade e de usabilidade, desde as fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto. Uma área para a qual se acredita que os protótipos mistos encontrem aplicação importante é a de produtos eletroeletrônicos, exemplificada pelo projetor de imagens utilizado nesta pesquisa.

Ao longo do processo de prototipagem do conjunto a impressora 3D se mostrou uma ferramenta muito útil que poupou ao grupo tempo e recursos. As peças que a impressora cria ainda são carentes de acabamento devido ao método de construção que ela usa, porém criar tal acabamento baseia-se apenas em lixar a superfície da peça que é uma tarefa relativamente simples se a geometria da peça não for muito complexa.

Este artigo apresentou e discutiu os principais problemas encontrados durante nossos experimentos usando protótipos aumentados (ou mistos) para avaliar a interação humano produto durante as fases iniciais do projeto do produto. Ambos os problemas técnicos (hardware e software) e de gestão foram abordados neste estudo.

Assim, este artigo faz o registro das lições aprendidas durante este projeto. Além disso, ele serve como indicador para o redirecionamento do projeto para a busca de parcerias no desenvolvimento dos experimentos e também para o uso de tecnologias de AR mais acessíveis. Esperamos que, no futuro próximo, engenheiros, designers e outros membros de uma equipe de desenvolvimento de produto possam aproveitar o conhecimento gerado por esta pesquisa.

## 8. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 9241-11**. "Requisitos ergonômicos para trabalho de escritórios com computadores: parte 11 – orientações sobre usabilidade". Rio de Janeiro, 2011

AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. **Teleoperators and virtual environments**. 1997. cap.6, pag.355-385

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J; C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.

BARRINGTON, S. Usability in the Lab: Techniques for Creating Usable Products. **Journal of the Association for Laboratory Automation**, 2007 pag. 6-11.

BAXTER, M. A **Practical Guide to systematic methods of new product development**. United Kingdom: Edgard Blucher, 2000

BIMBER, O.; RASKAR, R. Modern approaches to augmented reality. **International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques**. New York: ACM, 2006

DANTAS, T. 2010 [on line] Disponível em: <<http://brasil.blog.nimbuzz.com/2010/06/01/dicas-de-aplicativos-com-realidade-aumentada/>> Acessado em: Abr. 2012

JORDAN, P. **An introduction to usability**. London: Taylor & Francis, 1998

KIRNER, C.; TORI, R. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre: SBC, 2006

LAVIE, T.; ORON-GILAD, T.; MEYER, J. Aesthetics and usability of in-vehicle navigation displays. **Int. J.Human-Computer Studies**, 2011 v.69, pag.80-99.

LEE, C. F; CHEN, L. H. Perceptual Information for User-Product Interaction: Using Vacuum Cleaner as Example. **International Journal of Design**, v. 2, n. 1, pag. 45-53, Apr 2008. ISSN 1991-3761.

MILGRAM, P.; TAKEMURA, H.; UTSUMI, A.; KISHINO, F. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. **Proceedings of Telemanipulator and Telepresence Technologies**, pag. 282–292, 1994.

NIELSEN, J. **Usability engineering**. San Diego: Academic Press., 1993

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; et. al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva., 2006

RUBIN, J.; CHISNELL, D. **Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests**. Indianapolis: Wiley Publishing, 2008

TED. TEDConferences. Disponível em <<http://conferences.ted.com/TED2009/>>. Acesso em: out. 2011.

URBAN SCREEN. (2009) AR in BMW. Disponível em: <<http://elliotttrent.wordpress.com/2009/05/11/urban-screen/>>. Acesso em: maio 2011.

YE, J.; BADIYANI, S.; RAJA, S.; V.; SCHLEGEL, T. Applications of Virtual Reality in Product Design Evaluation. **Human-Computer Interaction**, LNCS 4553, 2007, pag. 1190–1199.