

Modelação em Superfícies Interactivas para Fabricação 3D

Daniel Mendes Pedro Pascoal Miguel Nixo Alfredo Ferreira
INESC-ID / IST / University of Lisbon

{danielmendes, pmbp, miguelnixo, alfredo.ferreira}@tecnico.ulisboa.pt

Resumo

A disponibilidade e utilização de objectos 3D aumentou durante os últimos anos, a par com a redução do custo da impressão tridimensional de objectos. Tal cenário torna necessário que existam ferramentas para a criação e modificação destes objectos de forma eficiente e natural, permitindo que estas possam ser usadas tanto por utilizadores experientes como inexperientes. Com este trabalho, foi nosso objectivo desenvolver uma solução para modelação 3D com foco em posterior impressão, que retira partido de superfícies interactivas, bem como de métodos de recuperação de objectos 3D. De forma a permitir uma experiência de interacção o mais natural possível, criámos e discutimos abordagens que são baseadas apenas em toque, caneta, ou numa combinação de ambas. Depois de uma fase de avaliação com utilizadores, os resultados sugerem que a abordagem baseada em interacção exclusivamente com caneta, apesar de satisfatória e agradável, não é tão eficiente quanto as restantes.

Palavras-Chave

Modelação, Impressão 3D, Superfícies Interactivas, Multi-Toque, Caneta, Recuperação de Objectos

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de impressão 3D e respectiva comunidade têm tido crescimentos significativos nos últimos anos, com o preço médio da impressora 3D padrão a diminuir substancialmente durante esse período. Tendo isto em conta, é previsível que a impressão 3D será tornada gradualmente mais disponível para o utilizador comum, tornando possível fabricar modelos 3D impressos em casa com custos relativamente baixos. Simultaneamente, a cada vez mais elevada disponibilidade de objectos 3D na Internet reforça a importância do desenvolvimento de soluções de modelação 3D que permitam a criação de novos modelos ou a modificação de existentes com facilidade. Embora muito já tenha sido feito para desenvolver ferramentas profissionais, estas requerem conhecimentos avançados e formação de modo a poderem ser utilizadas de forma eficaz, mesmo que o objetivo seja criar uma forma simples.

Além disso, superfícies interactivas com multi-toque, cuja tecnologia já existe há vários anos, estão-se a tornar cada vez mais desejadas e populares, estando presentes em dispositivos do quotidiano. Estas superfícies são amplamente utilizadas em *smartphones*, *tablets*, computadores portáteis e mesmo mesas e quadros interactivos. Desta forma, representam uma alternativa viável à interacção WIMP (baseada em janelas, ícones, menus e apontador). O aparecimento de novas tecnologias e dispositivos originam naturalmente novas possibilidades para o desenvolvimento de novas técnicas de interacção, as quais deverão ser mais familiares para o utilizador comum. Para isso, analogias naturais podem ser utilizadas, tal como a manipulação bi-manual de objectos ou o uso de uma caneta para desenhar.

Embora o uso de superfícies sensíveis ao toque e interfaces caligráficas tenha sido estudado em diversos trabalhos, várias questões continuam por responder, nomeadamente sobre as vantagens e desvantagens de cada um e sobre o seu uso combinado em cenários de modelação 3D.

Pretendeu-se, com este trabalho, desenvolver uma abordagem de modelação 3D focada na fabricação 3D, que tire proveito de superfícies interactivas e de métodos para a recuperação de objetos 3D. O desenvolvimento de uma interface de utilizador natural (NUI - *natural user interface*) deverá permitir que o utilizador comum possa ser capaz de utilizar a solução de uma forma adequada e natural, conseguindo criar e imprimir um objeto idealizado e modelado por si, como exemplificado na Figura 1. Tomamos como hipótese que o uso combinado de toque e caneta permitirá que a modelação 3D possa ser mais atraente e acessível a utilizadores noviços, quando comparado a abordagens que utilizam um único ponto de contacto ou interfaces exclusivamente tácteis.

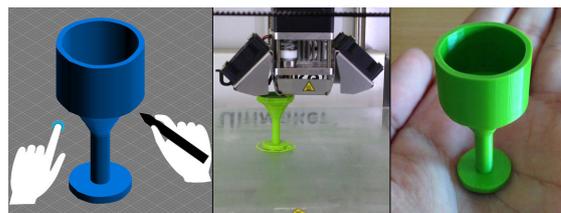


Figura 1. Exemplo de objecto criado com a nossa solução e respectiva réplica física, obtida através de impressão 3D.

2. TRABALHO RELACIONADO

O uso de modelos 3D em aplicações de computação gráfica tem crescido ao longo dos anos, assim como a necessidade de desenvolver ferramentas para os criar e modificar. Uma ferramenta frequentemente utilizada para a modelação 3D é o Maya da Autodesk¹. Apresenta uma interface utilizador complexa, mas consistente, com atalhos fáceis de compreender. Uma característica importante da sua interface é o *Hotbox*, um menu personalizável e flutuante, cuja visibilidade é rapidamente alternada, e contém todas as ações da aplicação, divididas em subsecções. Outro software de modelação 3D é o SketchUp², com foco em design e modelação para arquitetura, engenharia civil e mecânica. O SketchUp está diretamente ligado com 3D Warehouse, um repositório on-line que permite aos utilizadores pesquisar, armazenar e partilhar modelos 3D gratuitos.

Um exemplo mais clássico de modelação é o SKETCH [Zelevnik 96], no qual o utilizador cria geometrias através de sequências de traços que definem a forma e os seus detalhes. Com três linhas perpendiculares, a entrada é reconhecida como uma caixa com lados definidos pelos tamanhos das linhas. Este método permite ao utilizador criar formas básicas rapidamente, sendo capaz de as alterar mais tarde. O sistema prevê apenas um pequeno conjunto de formas básicas, permitindo que o conjunto de gestos disponíveis possa permanecer relativamente pequeno e icónico das formas que representam. Com uma solução diferente, Teddy [Igarashi 99] baseia-se exclusivamente no traço do utilizador, ao invés de tentar entender a que forma previamente armazenada é que o utilizador se refere. Esta abordagem usa a silhueta 2D desenhada para criar uma versão 3D insuflada dela (uma *blob*). Comparado com o método anterior, a insuflação de *blobs* não é limitada pelo tamanho de conjunto de dados armazenado. Por outro lado, proporciona um menor grau de controlo, sendo mais adequado para formas com faces arredondadas e sem arestas afiadas.

O sistema GIDeS [Fonseca 04] procura melhorar a usabilidade de um sistema de CAD nos estágios iniciais do design de um produto. Para isso, proporciona uma interacção semelhante ao papel e caneta através de uma interface caligráfica, menus dinâmicos e a capacidade de construir desenhos precisos a partir de rascunhos recorrendo restrições. Para manter o utilizador envolvido na modelação, o sistema sugere formas de acordo com o progresso actual, ajudando e fornecendo uma experiência responsiva.

Usando os modelos hierárquicos de volumes implícitos (*BlobTrees*) como uma representação da forma, Schmidt et al. [Schmidt 05] propuseram o ShapeShop, uma ferramenta de modelação de sólidos baseada em esboços e *blobs*, capaz de reproduzir topologias arbitrárias com diversas complexidades. A hierarquia de volume subjacente é usada como uma história da construção, permitindo que os componentes individuais do esboço possam ser não-linearmente editados e removidos. ShapeShop inclui ainda

outras operações baseadas em esboço, como cortar buracos ou adicionar detalhes na superfície. Além da abordagem da insuflação, superfícies podem ser criadas utilizando varrimentos lineares, através de extrusão controlada ou usando superfícies de revolução.

Mais tarde, Lopes et al. [Lopes 11] acrescentaram a possibilidade de utilização de uma caneta digital ao ShapeShop, com o objetivo de alcançar uma experiência mais natural e fluída. Nesta abordagem, os autores delegam as operações de esboço para a mão dominante, usando a caneta, enquanto as operações de manipulação são realizadas com a mão não-dominante através de multi-toque. Esta divisão do trabalho na interacção bimanual foi estudada por Guiard [Guiard 87], o qual descreve a mão dominante como mais apropriada para movimentos finos e manipulação de ferramentas, enquanto que não dominante pode ser usada para movimentos pouco precisos e definir eixos de referência. Trabalhos mais recentes, como o Mockup Builder [DA12] aproveitam a distinção entre as operações das mãos dominante e não dominante para criar e manipular formas 3D com gestos familiares. Este usa técnicas de interacção em e acima da superfície, permitindo a criação de formas 3D usando gestos de empurrar e puxar, efectuando extrusões de perfis previamente desenhados. Embora tenha alcançado resultados satisfatórios, a aplicação requer uma complexa configuração de hardware.

Com o foco num sistema de criação de modelos LEGO, o LSketchIt [Santos 08] combina interacção caligráfica, um solucionador de restrições e um mecanismo de recuperação 3D. O utilizador é capaz de adicionar um objeto à cena desenhando-o. Este esboço é então usado numa interrogação, permitindo que o sistema ofereça uma lista de sugestões em que o utilizador pode seleccionar o objecto a ser usado. A interface caligráfica permite ainda que o utilizador desenhe detalhes nas peças recuperadas, possibilitando o refinamento da pesquisa.

Visto ser difícil modelar precisamente objetos 3D quando estes têm características exactas como simetrias ou subestruturas repetidas usando apenas interfaces gestuais, Igarashi e Hughes [Igarashi 01] desenvolveram uma interface sugestiva para desenho 3D, como parte integrante do Chateau, um sistema de modelação 3D. Quando uma forma é desenhada, o sistema procura inferir possíveis operações seguintes e apresenta-as numa lista de miniaturas. Este método de previsão e apresentação de diferentes resultados possíveis é muitas vezes referida como lista de sugestões ou de expectativas. Quando se lida com um conjunto de formas complexas num cenário de recuperação de objectos 3D, é provável que estas sejam pouco diferentes umas das outras, levando a um maior número de ambiguidades ao analisar a entrada do utilizador. Para resolver este problema, Fonseca et al. [Fonseca 04] e Santos et al. [Santos 08] exploraram o conceito de listas de sugestões como um menu dinâmico não-intrusivo, que é acionado quando os traços do utilizador são reconhecidos ambigualmente. Schmidt et al. [Schmidt 05] também usaram listas de sugestões no ShapeShop para resolver ambiguidades.

¹Maya, www.autodesk.com/products/maya/

²SketchUp, www.sketchup.com/

3 APLICAÇÃO PARA MODELAÇÃO 3D

Com o objectivo de criar uma solução para modelação 3D de fácil utilização e aprendizagem, desenvolvemos uma aplicação web que corre num *browser*, apresentada na Figura 2, tornado-a acessível a computadores com e sem ecrã táctil e tablets. Com foco numa interação mais natural, implementámos ainda três técnicas diferentes de interacção que tiram proveito de tecnologias multi-toque, caneta digital e uma combinação de ambas. Nas próximas subsecções descreveremos as funcionalidades de modelação e manipulação de câmara e objetos. Detalhes específicos da interacção serão descritos mais à frente.

3.1 Modelação

Dado que o nosso objetivo era uma solução que possa tirar proveito tanto de multi-toque como de interacção com caneta, foi considerada uma abordagem baseada em esboços para a modelação 3D. À semelhança de outros trabalhos [Igarashi 99, Igarashi 01, Fonseca 04, Santos 08], o processo de modelação baseia-se na captura do desenho livre do utilizador, que é analisado para determinar o resultado desejado. Na nossa abordagem, sempre que um utilizador termina um traço, os possíveis resultados são calculados, podendo o utilizador escolher uma possível transformação através de uma lista de sugestões.

Formas Primitivas: Ao desenhar um ou mais traços, o utilizador é capaz de compor uma forma 2D que pode mais tarde ser utilizada para a criação de um modelo 3D com características semelhantes. Para o fazer, o traço 2D desenhado é projetado sobre o plano base da cena, posicionando o traço no espaço 3D, para criar o novo modelo. Assim, o propósito principal do traço 2D é definir os limites geométricos dos objetos 3D.

Extrusão Giratória: Usando este método, o utilizador é capaz de criar formas extrudidas complexas com elevado nível de controle (Figura 3) com base num perfil 2D fechado. O utilizador pode controlar a extrusão usando duas áreas distintas do ecrã. Tanto na zona lateral esquerda como direita do ecrã (cerca de 20% do tamanho do ecrã

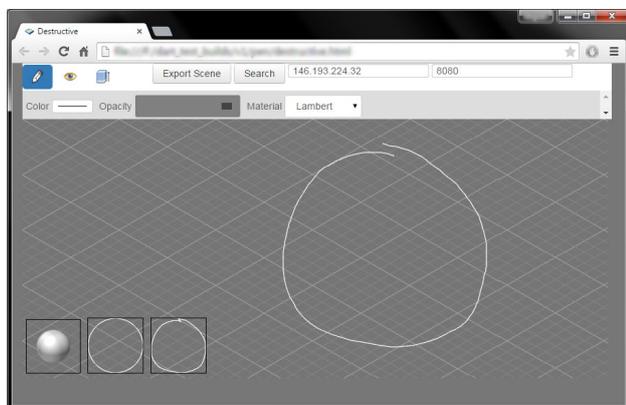


Figura 2. Ecrã da aplicação desenvolvida, com lista de sugestões para um esboço.

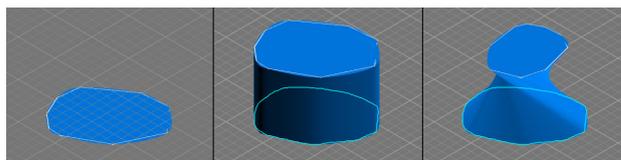


Figura 3. Um modelo criado através de extrusão giratória. A partir de um perfil fechado é possível extrudi-lo e manipulá-lo.

de cada lado) a entrada do utilizar serve para definir a altura (eixo Z) da extrusão. No centro do ecrã, o utilizador pode realizar transformações no perfil 2D fechado. Essas transformações incluem rotação, escala e translação (no plano XY), e permitem a criação de modelos complexos. As três transformações do perfil podem ser individualmente ligadas ou desligadas, uma vez que controlar todas em simultâneo pode ser complexo.

3.2 Manipulação da Câmara

A fim de permitir uma experiência satisfatória e fluida num contexto de modelação 3D, é crucial fornecer controlos naturais da câmara. Para permitir ao utilizador navegar livremente, oferecemos três manipulações diferentes: translação, *zoom* e órbita. A translação (*pan*) consiste em mover a câmara de forma paralela ao plano de visualização. O *zoom* é alcançado pela diminuição ou aumento do campo de visão (*FOV*) da câmara, exibindo uma parte maior ou menor da cena e, portanto, criando a ilusão de que a câmara se aproxima ou afasta. Finalmente, a órbita da câmara permite rodar em torno de um determinado ponto no espaço 3D. Esta manipulação só permite que a direcção da câmara esteja num ângulo entre 15 e 90 graus em relação ao chão da cena. Ângulos abaixo de 15 graus podem causar problemas visto que a direcção da câmara se torna quase paralela ao chão da cena, enquanto ângulos verticais acima de 90 graus irão virar desnecessariamente a câmara. A manipulação da câmara ocorre quando um gesto específico é aplicado directamente na cena, e não num qualquer objeto existente seleccionado.

3.3 Manipulação de Objectos

Para compor modelos complexos, a nossa solução permite a manipulação básica de modelos individuais. Nesta secção iremos descrever informações genéricas para manipulação de objetos, enquanto nas secções seguintes descreveremos interacções específicas em relação a cada tipo de entrada. Um objeto pode ser transformado através de translação no espaço 3D, escala simples (proporcional nos três eixos) e rotação em cada eixo individualmente. Para efeitos de coerência, estas transformações são análogas às transformações da câmara: *pan*, *zoom* e órbita, respectivamente. Para remover ambiguidades, a manipulação de um objecto só pode ser feita se o gesto lhe for aplicado e o próprio objecto esteja seleccionado.

Como informação de entrada do utilizador é baseada em posições 2D do ecrã, esta não contém informação sufi-

ciente para descrever transformações nos três eixos do espaço 3D. Assim, para a nossa solução escolhemos definir transformações de translação e rotação dependentes da orientação da câmara (similar a [Mendes 11]). Ao fazê-lo, em qualquer altura, um objeto só pode ser movido ou rodado num máximo de dois eixos, decididos tendo em conta a orientação actual da câmara. Por exemplo, se o sentido de câmara está mais alinhado com o eixo X, então os eixos a ser considerados para translações serão Y e Z e para rotações só X. Esta abordagem não só evita sobrecarregar o utilizador com menus extras ou combinações complicadas de entrada, como também permite posicionamento e rotação precisos de uma forma familiar.

3.4 Listas de Sugestões

Como comprovado noutros trabalhos [Igarashi 01, Schmidt 05, Fonseca 04], durante o processo de modelação é importante manter o utilizador sempre produtivamente empenhado, fornecendo as ferramentas adequadas conforme são necessárias. Para isso, listas de sugestões desempenham um papel fulcral na nossa solução. Recorremos a reconhecedores que procuram activamente transformações possíveis dado o estado actual da aplicação. Estas possíveis modificações são usadas para preencher uma lista de sugestões, através de miniaturas localizadas no canto inferior esquerdo da janela. Cada elemento da lista contém uma visualização tridimensional animada do respectivo resultado. A lista é não-invasiva, sendo que o utilizador pode simplesmente ignorar as sugestões sem qualquer repercussão. É importante notar que as listas de sugestões não devem intimidar o utilizador com muitos resultados, ainda mais visto que a sua maioria provavelmente não será útil no contexto actual.

Os resultados de interrogações para recuperação também podem resultar em resultados para a lista de sugestões. À medida que o utilizador compõe um modelo mais complexo utilizando outras formas mais simples, estas podem ser agrupados como um único objeto a ser utilizado para recuperação. Assim que o servidor de recuperação responde com resultados, as sugestões são preenchidas com os objectos que mais se assemelham.

3.5 Recuperação de Objectos 3D

Como é difícil produzir formas exactas utilizando esboços, a integração com um sistema de recuperação do objecto 3D permite ao utilizador especificar um objecto relacionado com uma forma desejada e consultar uma base de dados usando o esboço como exemplo. Assim é possível adquirir formas complexas modelando apenas uma aproximação. Este processo não só é mais rápido, como mais simples. Por outro lado, é limitado pelo conjunto de formas armazenadas no sistema, bem como pelos descritores usados. Embora o componente de recuperação seja considerado uma característica importante da solução, dado ainda não ser altamente preciso na medição de valores de similaridade entre os modelos, decidimos remover a submissão automática para recuperação. Em vez disso, o utilizador pode seleccionar objectos para executar uma consulta sempre que considerar apropriado.

4 ESTILOS DE INTERACÇÃO

Embora o foco deste trabalho seja o desenvolvimento de uma nova técnica para modelação 3D baseada em esboços e combinando caneta digital e multi-toque, é importante conceber e avaliar outras técnicas para medir e comparar as suas vantagens e desvantagens. Para isso, desenvolvemos inicialmente uma interacção simples baseada em caneta, usando um único ponto de contacto, de forma semelhante a outros trabalhos [Igarashi 01, Schmidt 05].

4.1 Interacção Baseada em Caneta

Nesta abordagem concentrámo-nos em definir claramente as diferentes etapas do processo de modelação, apresentando ao utilizador os menus principais de desenho, extrusão giratória e manipulação. Na secção de desenho o utilizador é capaz de desenhar traços livremente, podendo recorrer à lista de sugestões para transformar as formas desenhadas em objectos 3D.

No menu principal de manipulação (apresentado na Figura 4), o utilizador é capaz de seleccionar e manipular objectos e câmara. Por defeito, as definições da câmara e dos objetos estão definidas para *pan* e translação. Isto permite ao utilizador mover livremente um objeto seleccionado no plano designado (definido pela orientação da câmara) fazendo um traço a partir da localização do objecto para a posição final desejada. A execução do mesmo gesto partindo da cena ou de um objecto não seleccionado executa a operação de *pan*. A (des)selecção de um objecto é executada ao tocar num objeto. Ainda no menu principal de manipulação, é possível alterar as operações para manipulação da câmara e dos objectos.

Para extrusão giratória, nas secções laterais do ecrã é possível realizar traços verticais para aumentar ou diminuir o nível da extrusão. Na restante área central do ecrã, o movimento vertical da caneta afecta a dimensão do perfil de extrusão, enquanto que o movimento horizontal gira o perfil no eixo Z (paralelo com o plano base da cena). Um *tap* com a caneta termina a extrusão e finaliza a forma.

4.2 Interacção Baseada em Toque

Também é importante medir o desempenho de uma abordagem baseada exclusivamente em multi-toque. Portanto, uma abordagem assim foi desenvolvida com os mesmos menus principais utilizados na abordagem baseada em caneta, por forma a isolar as funcionalidades de desenho, manipulação de câmara e objectos, e extrusão giratória.



Figura 4. Menus da abordagem com caneta: modos de desenho, manipulação e extrusão (vermelho), manipulações da câmara (verde) e de objectos (amarelo).

Enquanto no modo de desenho, a modelação com esboços pode ser feita por meio de um ou mais dedos simultaneamente. No modo de manipulação, é possível navegar na cena e manipular objectos usando gestos específicos.

Os gestos de manipulação de objetos estão exemplificados na Figura 5. Antes de um objecto poder ser manipulado, tem de ser seleccionado através da realização de um toque simples (*tap*) sobre ele. Para aplicar uma transformação de translação a um objeto, um gesto de arrastar com um único toque (a partir do objeto) permite que ele seja movido no espaço. A rotação e escala têm lugar assim que são feitos dois toques no objecto. Alterações tanto na distância como no ângulo entre estes determinam a escala e a rotação, respectivamente. O tamanho do objecto varia directamente com esta distância. O objecto é rodado no eixo mais próximo da orientação da câmara.

Quando os gestos de manipulação são aplicados na cena ou a objectos não seleccionados, a câmara é manipulada. Os gestos de manipulação da câmara estão na Figura 6. Para fazer *pan* da câmara, o arrastar de um toque moverá a câmara paralelamente à base da cena, mantendo a sua altura. Com dois toques simultâneos é possível mudar o *zoom* e órbita da câmara. Um ponto médio é calculado e utilizado para projectar um ponto no plano XY, fornecendo um ponto central para as transformações. Para o *zoom*, as variações na distância dos toques determinam se a câmara se aproxima ou afasta do ponto projectado. Para a órbita, o ponto projectado actua como centro, o que significa que no final a câmara continuará para aí virada.

Tendo um esboço fechado e mudando para o menu principal de extrusão giratória inicializa o método. Neste estado, o controlo do nível de extrusão pode ser feito com um único toque ao longo do lado esquerdo ou direito da janela da aplicação. Na área central restante, o utilizador é capaz de, com dois toques, modificar o perfil da extrusão. As alterações no ângulo e na distância dos toques alteram a escala e a rotação (no eixo Z) do perfil. Um *tap* na extrusão em curso finaliza o seu progresso.

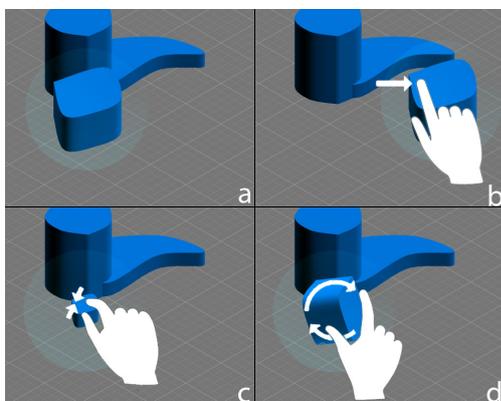


Figura 5. Manipulação de objectos com gestos multi-toque: a) objecto seleccionado; b) translação; c) escala; d) rotação.

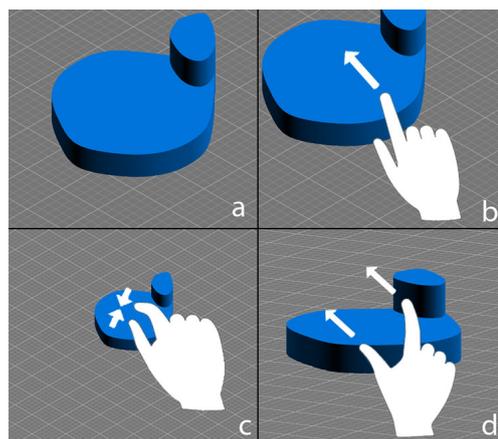


Figura 6. Manipulação da câmara com gestos multi-toque: a) estado inicial; b) pan; c) zoom; d) órbita.

4.3 Interação com Caneta e Toque Combinados

A abordagem que combina caneta e toque visa tirar partido das características mais positivas de ambos os métodos. Nesta abordagem, a interação com caneta é orientada à criação de esboços e ao controlo do nível da extrusão, enquanto transformações e interação com a lista de sugestões são feitas através de toque. Uma vez que as interações com caneta e toque podem ser claramente distinguíveis, nesta abordagem não há menus e todas as acções são realizadas directamente na vista da cena.

O desenho de esboços na abordagem combinada é feito usando a caneta. Como anteriormente, os resultados são mostrados na lista de sugestões e permitem que o utilizador escolha um destes tocando nele. Quanto às manipulações da câmara e de objectos, estas são directamente herdadas da abordagem baseada em toque, recorrendo a um *tap* para (des)seleccionar formas, ao arrastar de um toque para *pan* da câmara e translação de objectos, e a dois toques para *zoom* e órbita da câmara, bem como para escala e rotação de objectos. Sem uma opção de menu para a extrusão giratória, o método é iniciado quando existe um esboço fechado e é realizado um traço para cima com a caneta num dos lados da janela. Ao entrar no modo de extrusão giratória, traços verticais com a caneta ajustam o nível de extrusão, enquanto a interação multi-toque controla as transformações do perfil da extrusão (Figura 7).

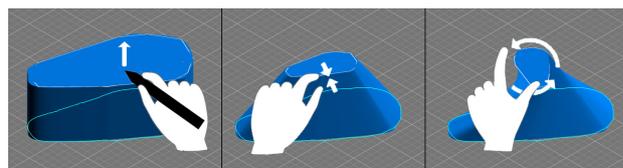


Figura 7. Extrusão giratória na abordagem de caneta e toque. A altura é definida com a caneta e a manipulação do perfil com toque.

5 AVALIAÇÃO COM UTILIZADORES

Tendo sido implementados os três diferentes tipos de interação já descritos, conduzimos uma avaliação com utilizadores para os compararmos. Cada participante executou a mesma tarefa usando as três abordagens, com uma ordem alternada. Para cada sessão, a duração prevista foi de 50 minutos. Antes de qualquer interação com a aplicação, um pequeno vídeo com as funcionalidades básicas do tipo de interação actual foi mostrado aos participantes. Em seguida, estes foram convidados a usar a aplicação numa sessão de habituação com um máximo de 2 minutos. Após executarem a tarefa que lhes era então fornecida, os participantes eram solicitados a preencher um questionário sobre a sua experiência.

A tarefa proposta consistiu na modelação de um candeeiro de mesa (Figura 8.a), composto por cinco sólidos separados: base, coluna, braço, abajur e lâmpada. Cada participante recebeu uma folha de instruções com cinco passos aconselhados, embora não fossem obrigados a segui-los. Da mesma forma, os participantes também não eram obrigados a realizar pesquisas de recuperação, embora tenham sido encorajados a tentar. Para modelar correctamente o candeeiro, os participantes tinham que modelar cilindros simples para a maioria dos componentes (coluna, base e braço), o que poderia ser feito com extrusões. Para a lâmpada, pode-se utilizar uma esfera primitiva. O elemento mais complexo era o abajur, que requer uma extrusão com pelo menos três passos, tendo-se de manipular o perfil da extrusão.

A avaliação com utilizadores contou com a participação de 20 pessoas, a maioria do sexo masculino, com idades entre os 21 e os 57 anos, embora a grande maioria estivesse abaixo dos 30 anos. Em relação ao nível de escolaridade, a maioria dos participantes tinham pelo menos o grau de licenciado. A grande maioria dos participantes tinha vasta experiência com dispositivos multi-toque. Foi utilizado uma mesa interactiva de grandes dimensões, como é visível na Figura 8.b, que conta com uma televisão de 55", tem capacidade de seguir 10 toques e suporta a utilização de uma caneta digital.

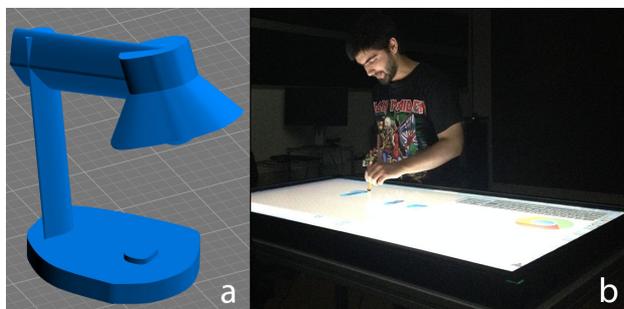


Figura 8. Avaliação com utilizadores: a) candeeiro de mesa a ser modelado; b) participante desenha com caneta na abordagem combinada.

5.1 Dados Objectivos

Tendo sido medido o tempo necessário para cada participante completar a tarefa usando cada tipo de interação, aplicámos o teste de Shapiro-Wilk às amostras, sendo que nem todas seguem uma distribuição normal, pelo que seguimos a análise com testes não paramétricos. O teste de Friedman sugere que houve uma diferença estatisticamente significativa no tempo gasto pelos utilizadores para completar a tarefa usando diferentes abordagens de interação ($\chi^2=17.360$, $p=.001$). Uma análise post hoc com o teste de Wilcoxon Signed-Ranks foi realizada, aplicando a correção de Bonferroni, resultando num nível de significância de $p<.017$. Este teste sugere que existem diferenças estatisticamente significativas ao comparar a abordagem baseada em caneta com a de toque ($Z=-2.495$, $p=.013$) e com a combinada ($Z=-3.461$, $p=.001$), mas tal não se verifica ao comparar as abordagens de toque e combinada. A Figura 9 mostra a visão global dos resultados com os três tipos de interação, notando-se a abordagem baseada exclusivamente em caneta como a mais lenta.

5.2 Dados Subjectivos

Nos questionário, pedimos aos participantes que classificassem a facilidade sentida para realizar a tarefa, bem como para as várias operações de câmara e de objetos, usando uma escala de Likert com 4 pontos (1 - Muito Difícil, 4 - Muito Fácil). Também foi medido o factor diversão (1 - Nada Divertido, 4 - Muito Divertido) e fluidez da abordagem (1 - Nada Fluída, 4 - Muito Fluída). O teste de Wilcoxon Signed-Ranks foi utilizado mais uma vez para determinar se as diferenças encontradas eram estatisticamente significativas. Considerando-se a Tabela 1 podemos assumir que, em geral, os utilizadores consideraram a solução (incluindo todos os três tipos de interações), pelo menos, divertida e fluída. Quanto à facilidade global, os participantes consideraram os três tipos de interação relativamente semelhantes.

Em relação à facilidade de desenhar formas 2D, seleccionar objetos e translação, as diferenças não são signifi-

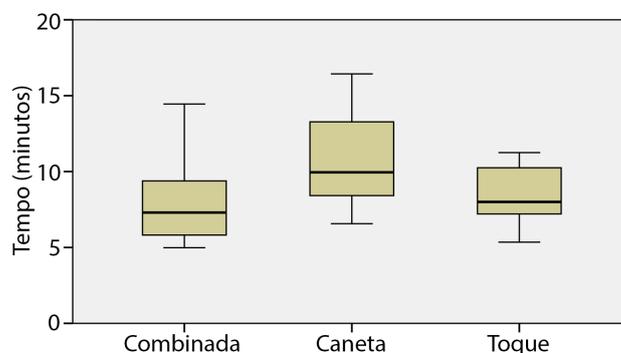


Figura 9. Tempo para completar a tarefa com as três abordagens: mediana, intervalo interquartil (caixas) e intervalo de confiança a 95% (bigodes).

	Caneta	Toque	Combinada
Geral			
Diversão	2.90 (1)	3.25 (1)	3.45 (1)
Facilidade	2.65 (1)	2.65 (1)	2.75 (1)
Fluidez	2.65 (1)	3.00 (0)	3.50 (1)
Desenho	3.75 (1)	3.70 (1)	3.65 (1)
Câmara			
<i>Pan</i>	3.45 (1)	3.15 (1)	3.15 (1)
Órbita	3.10 (1)	2.60 (1)	2.45 (1)
<i>Zoom</i>	3.40 (1)	2.80 (1)	2.65 (1)
Objectos			
Seleção	3.60 (1)	3.50 (1)	3.60 (1)
Translação	3.10 (1)	3.00 (2)	3.10 (1)
Rotação	2.70 (1)	2.35 (1)	2.30 (2)
Escala	3.30 (1)	2.80 (1)	2.55 (1)

Tabela 1. Preferências dos participantes para os diferentes aspectos de cada tipo de interação (média e intervalo inter-quartil). Valores entre 1 (pior) e 4 (melhor).

cativas entre os tipos de interação. No geral, os participantes consideraram tanto o desenho de formas em 2D como a seleção dos objetos operações triviais, enquanto a translação de objectos foi considerada uma tarefa fácil. Para orbitar e fazer *zoom* da câmara, os participantes concordaram fortemente que na interação com caneta são mais fáceis. Orbitar usando a caneta é consideravelmente mais simples do que com apenas toque ($Z=-2.887$, $p=.004$) ou que a abordagem combinada ($Z=-2.982$, $p=.003$). Da mesma forma, o *zoom* também é considerado mais simples com a caneta, do que com toque ($Z=-3.207$, $p=.001$) ou com a combinada ($Z=-3.441$, $p=.001$). Quanto a rodar um objeto, os participantes consideraram todas as abordagens algo difíceis. Por outro lado, redimensionar objectos foi considerada uma operação fácil, tendo sido significativamente melhor na abordagem baseada em caneta do que na de toque ($Z=-2.324$, $p=.020$). Uma vez que a interação baseada em caneta divide as operações de manipulação em diferentes sub-menus, apenas uma operação de manipulação (no máximo) está a ocorrer, em qualquer dado momento. Por outro lado, nos outros dois métodos de interação, várias operações de manipulação podem estar activas num determinado momento, permitindo ao utilizador rodar e escalar simultaneamente um objeto, ou fazer *zoom* e orbitar com a câmara. Da mesma forma, os participantes consideraram a manipulação com caneta mais fácil, uma vez que é mais simples e atómica, embora requeira que se mude os modos de manipulação várias vezes para efectuar uma transformação simples.

Quanto às diferentes ferramentas presentes na solução, a sua utilidade foi classificada com uma escala de 4 pontos (1 - Nada útil, 4 - Muito Útil), apresentadas na Tabela 2. Os participantes concordaram que tanto a ferramenta de extrusão giratória e a lista de sugestões são muito úteis num contexto de modelação 3D. Especificamente para a ferra-

Ferramenta	Utilidade
Extrusão giratória	3.80 (0)
Recuperação de objectos	2.10 (1)
Listas de sugestões	3.70 (1)

Tabela 2. Satisfação dos participantes relativamente às diferentes ferramentas (média e intervalo inter-quartil). Valores entre 1 (pior) e 4 (melhor).

menta de extrusão, esta permitiu a modelação da maioria das peças necessárias para a tarefa do candeeiro de mesa com um número mínimo de interações e com boa precisão. Quanto à lista de sugestões, não só foi considerada crucial para transformar esboços 2D em formas 3D, como também forneceu sugestões úteis para o fecho de traços 2D e apresentação dos resultados de recuperação. Em relação à ferramenta de recuperação de objectos, os participantes consideraram-na pouco útil, dado o facto de que os resultados nem sempre serem os esperados. No entanto, a maioria dos participantes concordou que ter um sistema de recuperação funcional como parte de um aplicativo de modelação 3D pode ser substancialmente útil.

5.3 Observações

No que diz respeito à seleção de objetos, alguns participantes revelaram alguma dificuldade com o facto do objeto ter de ocupar uma quantidade considerável de espaço no ecrã para poder ser tocado. Para contrariar esta situação, um participante sugeriu a criação de uma ferramenta de seleção em caixa, capaz de seleccionar com certeza um ou mais objectos dentro da área.

Ao usar a abordagem combinada de caneta e toque, alguns participantes descreveram as manipulações com uma mão uma tarefa difícil. Estes participantes sentiram-se mais confortáveis colocando a caneta de parte ao fazer manipulações complexas e usando as duas mãos. Em relação às interações baseadas exclusivamente em toque e caneta, os menus foram considerados menos naturais, já que muitas vezes exigiam que se aprendesse que botão estava associado a cada transformação. Além disso, para os métodos baseados em gestos, devido à falta de referências visuais, alguns participantes sentiram inicialmente dificuldades em recordar como executar uma certa acção.

Ao usar a ferramenta de extrusão giratória, um *tap* para finalizar o processo pode ser um problema, uma vez *taps* indesejados podem ocorrer. Foi sugerido a introdução de um menu de confirmação para garantir que o utilizador terminou a extrusão, ou o uso de um gesto mais complexo. Os participantes que escolheram desenhar todas as peças primeiro e montado-as mais tarde foram capazes de realizar a tarefa mais rapidamente. Realizar tarefas semelhantes de forma sequencial requer menos mudanças de menus e de interações com uma e duas mãos.

6 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A fabricação 3D tornou-se um tema popular nos últimos anos, impulsionado pela alta disponibilidade de recursos em 3D online. Além disso, superfícies tácteis são cada vez mais comuns, sendo possível explorar técnicas de interacção novas e mais naturais. Ao longo dos últimos anos, vários trabalhos de modelação 3D foram apresentados, mas nem sempre podem ser generalizadas para outros cenários, nomeadamente para fabricação 3D. Neste trabalho, propusémos-nos identificar vantagens e desvantagens de diferentes tipos de interacção num contexto de modelação 3D, que exploram o uso de superfícies interactivas, com multi-toque e/ou interacção caligráfica. Independentemente do tipo de interacção, pretendeu-se desenvolver uma solução que possa ser utilizada por utilizadores experientes e noviços. Foram implementados três abordagens de interacção: uma com caneta digital, outra com multi-toque e uma que combina as duas anteriores. Para cada uma, diferentes acções são usadas para criar e transformar modelos, bem como para os manipular e ao ponto de vista. As diferentes abordagens de interacção foram avaliadas com utilizadores.

Os resultados revelaram que os participantes foram capazes de realizar a tarefa solicitada mais rapidamente usando a abordagem combinada e, em seguida, a baseada exclusivamente em toque. Esta relação também é consistente com o nível de complexidade dos menus nas abordagens: a abordagem com a caneta usa dois níveis de profundidade, enquanto a de toque tem apenas um, e a combinada não usa menus. Os participantes consideraram fácil e útil a utilização das ferramentas desenvolvidas, como as listas de expectativa, a extrusão giratória e a recuperação de objectos 3D. Com a nossa solução, independentemente de terem experiência prévia com outras ferramentas de modelação, os participantes foram capazes de criar modelos 3D de forma autónoma, prontos para poderem ser posteriormente exportados, armazenadas ou impressos.

Como trabalho futuro, existem alguns detalhes da solução que poderão ser melhorados: recuperação de objectos 3D - embora não sendo o foco do nosso trabalho, este componente é bastante relevante, sendo necessário melhorar o cálculo dos descritores de forma e dos valores de semelhança; gestos multi-toque - como alguns utilizadores apontaram, um simples gesto de tocar para terminar uma extrusão pode levar a que esta fosse concluída involuntariamente, pelo que se deverá encontrar uma alternativa para este gesto; novas ferramentas para modelação - ficou claro que os utilizadores se sentem motivados ao usar ferramentas de criação de formas complexas, como a extrusão giratória. Como seguimento, seria interessante o desenvolvimento de uma ferramenta para criar modelos através de revolução, tirando proveito da interacção multi-toque.

AGRADECIMENTOS

O trabalho apresentado neste artigo foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através dos projectos TECTON-3D

(PTDC/EEI-SII/3154/2012), UID/CEC/50021/2013 e da bolsa SFRH/BD/91372/2012.

Referências

- [DA12] Bruno R. De Araújo, Géry Casiez, e Joaquim A. Jorge. Mockup builder: Direct 3d modeling on and above the surface in a continuous interaction space. Em *Proceedings of Graphics Interface 2012*, GI '12, páginas 173–180, Toronto, Ont., Canada, Canada, 2012. Canadian Information Processing Society.
- [Fonseca 04] Manuel J. Fonseca, Alfredo Ferreira, e Joaquim A. Jorge. Towards 3d modeling using sketches and retrieval. Em *Proceedings of the First Eurographics Conference on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, SBM'04, páginas 127–136, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 2004. Eurographics Association.
- [Guiard 87] Yves Guiard. Asymmetric division of labor in human skilled bimanual action: The kinematic chain as a model. Em *Journal of Motor Behavior* 19, páginas 486–517, 1987.
- [Igarashi 99] Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, e Hidehiko Tanaka. Teddy: A sketching interface for 3d freeform design. Em *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '99, páginas 409–416, New York, NY, USA, 1999. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [Igarashi 01] Takeo Igarashi e John F. Hughes. A suggestive interface for 3d drawing. Em *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '01, páginas 173–181, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [Lopes 11] Pedro Lopes, Daniel Mendes, Bruno Araújo, e Joaquim A. Jorge. Combining bimanual manipulation and pen-based input for 3d modelling. Em *Proceedings of the Eighth Eurographics Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, SBIM '11, páginas 15–22, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [Mendes 11] Daniel Mendes, Pedro Lopes, e Alfredo Ferreira. Hands-on interactive tabletop lego application. Em *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '11, páginas 19:1–19:8, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [Santos 08] Tiago Santos, Alfredo Ferreira, Filipe Dias, e Manuel J. Fonseca. Using sketches and retrieval to create lego models. Em *Proceedings of the Fifth Eurographics Conference on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, SBM'08, páginas 89–96, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 2008. Eurographics Association.
- [Schmidt 05] Ryan Schmidt, Brian Wyvill, Mário Sousa, e Joaquim Jorge. ShapeShop: Sketch-Based Solid Modelling with BlobTrees. *EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, 2005.
- [Zelevnik 96] Robert C. Zelevnik, Kenneth P. Herndon, e John F. Hughes. Sketch: An interface for sketching 3d scenes. Em *Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '96, páginas 163–170, New York, NY, USA, 1996. ACM.