Aspectos Semióticos de uma Interface 3D

Luiz Cristovão Gomes Coelho
lula@icad.puc-rio.br
Clarisse Sieckenius de Souza
clarisse@inf.puc-rio.br

PUC–RioInf.MCC25/95 Abril, 1995

Abstract

Testing predictions on the use of graphical interfaces can result on redefinition of systems, and often changes the main assumptions of interface programmers. This work presents experiments done with a graphical geometric modeler. The system's interface is heavily based on direct manipulation of tridimensional entities; many tasks are guided by a moving plane, also controlled by direct manipulation. The events observed during the tests with users are classified. Based on the results and events observed, a methodology is proposed and used to redefine the system's interface.

Keywords: Software test and validation, Geometric modeler, Graphical interface, Direct manipulation.

Resumo

A avaliação feita por testes com usuários de interfaces gráficas pode conduzir a redefinição de sistemas, e invariavelmente alterar as premissas assumidas pelos programadores destas interfaces. Neste trabalho são apresentados testes feitos com um modelador geométrico que apresenta uma interface gráfica. Esta interface possui alto grau de manipulação direta de entidades tridimensionais; muitas operações são orientadas por um plano móvel de interface, que também é controlado por manipulação direta. Os eventos observados ao longo dos testes com os usuários são classificados segundo uma taxonomia específica. Com base nos resultados e eventos observados, usa-se uma metodologia para redefinir a interface do sistema.

Palavras-chave: Teste e validação de sistemas, Modelagem geométrica, Interfaces Gráficas, Manipulação direta.

1 Introdução

Em sistemas de modelagem de sólidos ou de criação de modelos para simulações numéricas de engenharia, o projeto da interface com o usuário cumpre importante papel, uma vez que ela influi tanto no rendimento dos usuários, definindo o tempo de aprendizado e a aceitação das filosofias adotadas, quanto dos programadores, interferindo na estruturação dos dados e, consequentemente, na implementação dos módulos do sistema. Este trabalho avalia os aspectos semióticos inerentes a um sistema de modelagem de cascas para análises por elementos finitos. Alguns testes de caráter eminentemente *exploratório* (i.e., objetivando indicar direções para mais testes e modificações) com usuários são analisados e os resultados são usados para redefinir a interface. O padrão de manipulação direta [ELH86a, Sch83, Sou93] acompanhado da linguagem textual, a interpretação correta dos símbolos do programa e de suas funcionalidades, como alguns aspectos cognitivos e semióticos são discutidos neste texto.

Um grupo de usuários foi escolhido dentro das diversas áreas em que o programa pode ser usado. Tanto nos testes iniciais quanto nos testes feitos com o sistema reprojetado, foram utilizados usuários que não conheciam previamente a interface do sistema; apenas alguns conheciam programas semelhantes.

Por se tratar de um modelador de estruturas tridimensionais que apresenta uma interface por manipulação direta na área de desenho, não se pretendem, com os testes, avaliar todas as funcionalidades do programa. Escolheram-se portanto três testes simples que são representativos do padrão da interface. As tarefas escolhidas para testar a interface são passos na criação de um modelo de elementos finitos. Estas tarefas apresentam um grau de dificuldade razoável pois fazem com que os usuários percorram os diversos modos de manipulação direta existentes. Sendo assim, os resultados dos testes podem ser usados para fazer uma análise global do funcionamento da interface e posteriormente para reprojetá-la.

A seguir, apresentamos a Interface em sua forma inicial, a descrição das tarefas acompanhadas do significado dos símbolos, o resultado dos testes, a interpretação destes resultados, o *redesign*, novos testes e, por fim, algumas conclusões.

2 A Interface

A Interface é mostrada na Figura 1. Os menus na barra superior e os ícones da *toolbar* horizontal logo abaixo controlam as operações de edição, os ícones laterais o modo de interface, e os botões que aparecem na parte inferior da área de desenho acionam funções específicas de cada modo de interface.

3 Grupo de Teste

Os usuários do programa são engenheiros navais, engenheiros de estruturas metálicas ou de mecânica dos solos. Escolheu-se um grupo composto por pessoas com alguma experiência em visualização de modelos tridimensionais, porém sem conhecimento prévio da interface.

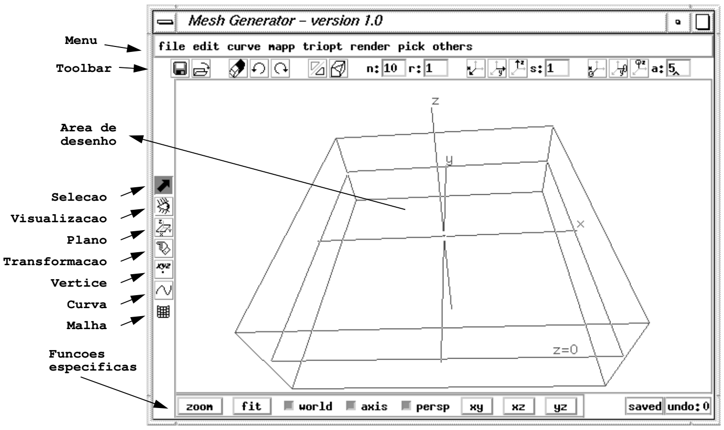


Figura 1: A Interface

Nome	*Formação*	*Especialidade*
A	Doutor em Engenharia	Elementos Finitos
B	Mestre em Engenharia	Estruturas Navais
C	Engenheiro Mecânico	Analista de Sistemas
D	Mestre em Informática	Ferramentas de Interface
E	Engenheiro Naval	Estruturas Navais
F	Mestre em Informática	Animação

Tabela 1: Usuários

Para apresentar os testes à equipe, foi escolhido um procedimento padrão que consta da inicialização do programa, leitura do modelo sobre o qual devem ser feitas as tarefas, e esclarecimento verbal da tarefa a ser executada. Estes esclarecimentos são apresentados na seção seguinte onde são descritas as tarefas a serem testadas.

Na Tabela 1 apresentam-se os componentes do grupo de testes, juntamente com a formação e a especialidade de cada um.

4 Tarefas a executar

O sistema de geração adotado pelo programa envolve a criação das curvas que definem as fronteiras do modelo, seguida das definições dos métodos de geração (*sweeps*, bilineares, triangulações, etc), e da aplicação destes métodos às curvas, para definição dos mapeamentos. A interface é controlada pelos diversos modos de interação, que o usuário deve dominar individualmente para conseguir sucesso na modelagem. Os testes avaliam estes modos gradativamente, explorando seus pontos críticos. O objetivo é avaliar a interface de uma maneira geral, uma vez que os procedimentos por manipulação direta possuem interface semelhante.

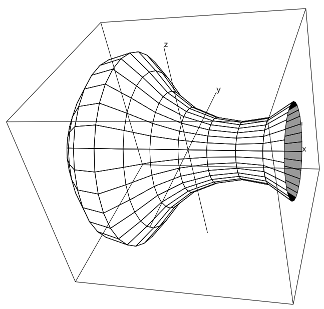


Figura 2: O *Mundo* em modelo de rotação

4.1 Questões relativas aos símbolos gráficos

Dentre os aspectos determinantes da interface, destacamos o *feedback* apresentado para orientar o usuário nos diversos modos de interface e nas diferentes tarefas que ele deve efetuar para construir o modelo final. No programa em questão, este *feedback* é feito pelo desenho de alguns *símbolos gráficos* que possuem objetivos diversos. Estes símbolos foram idealizados para orientar o usuário na realização das tarefas, e o seu desenho é feito simultaneamente ao do modelo.

O desenho do *Modelo* é básico e fundamental para a compreensão do objeto que se está tratando e da estrutura de dados presente na memória do computador. O *Modelo* é desenhado em todos os modos de interface do programa e ele serve como referência principal, auxiliando inclusive na percepção da posição relativa dos demais símbolos gráficos. No sistema em questão o desenho é feito em *wireframe* ou em *constant shading* com o "algoritmo do pintor" [NNS72].

O *Mundo* é um símbolo auxiliar usado no modo de mudança de projeções e dos parâmetros de visualização [CMG94]. O seu desenho é feito com as arestas da caixa envolvente do modelo. Este símbolo é usado para visualizar os limites do modelo e é desenhado durante o movimento do *mouse*, com o botão pressionado, para que o usuário anteveja o aspecto da nova projeção. Não se adotou o desenho completo do modelo pois este desenho pode se tornar lento se o modelo for grande, e inviabilizar a interface por manipulação direta. A Figura 2 mostra o desenho do *Mundo* de um modelo feito pela rotação de uma curva do tipo *spline* em torno do eixo x.

O *Plano* de interface é um símbolo que deve ser usado como base para várias operações disponíveis em todos os modos do programa. O seu desenho é feito com linhas cheias que unem quatro pontos equidistantes do ponto central, possuindo portanto a forma quadrada. Estes pontos não pretendem indicar que este *Plano* possui limites, ou seja, o *Plano* é tratado internamente ao programa como sendo infinito, permitindo movimento em qualquer posição da tela. Os limites são usados apenas identificar o *Plano* e auxiliar no desenho de outros símbolos como o *grid* e as marcas usadas na manipulação direta para mudança de posição. A Figura 3 mostra o desenho do *Plano* de interface com o *grid* e as marcas mostradas no modo de edição do *Plano*.

O *Cursor* é um símbolo usado no modo de criação e edição de curvas e vértices, visualizado com o desenho de duas linhas ortogonais no espaço (*crosshair*), que se movimentam sobre o *Plano* de interface de acordo com o movimento do *mouse*. Pretende-se que a interseção destas duas linhas informe, de maneira precisa, a posição no espaço

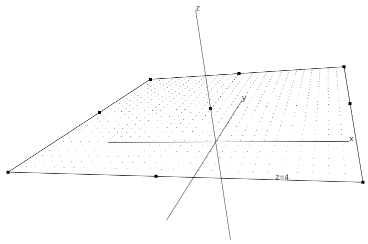


Figura 3: O *Plano* de interface

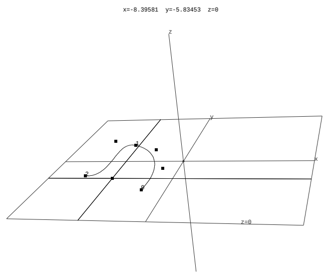


Figura 4: O *Cursor* na criação de uma curva

tridimensional, usando um dispositivo bidimensional de localização, o *mouse*. Um esclarecimento mais detalhado sobre a matemática envolvida neste movimento pode ser encontrada em [CMdSG93]. Além de informar a posição 3D, o *Cursor* é uma indicação de que o modo de edição foi ativado. A Figura 4 mostra a tela de interface com o *Cursor* indicando a posição tridimensional, durante a geração de uma curva.

O *Eixo Global* representa o sistema de coordenadas cartesiano adotado, que é uma referência fixa do modelo que se está gerando. O seu desenho é feito com linhas cheias e textos (x, y, z) posicionados nas extremidades positivas. O *Eixo Global* é um símbolo passivo pois não apresenta pontos sensíveis à seleção ou manipulação direta. O seu desenho pode ser observado na Figura 1 juntamente com o *Mundo*, ou na Figura 2 como referência para o *Cursor*.

O *Eixo Local* ou *Eixo para transformações por manipulação direta* é um indicador de que este modo foi ativado. Este sistema de eixos é inicialmente posicionado com origem no centro geométrico do objeto selecionado, e alinhado com o *Eixo Global*. Assim como no desenho do *Eixo Global*, são desenhadas as linhas e os textos; no entanto, este sistema de eixos é ativo. As marcas indicam os pontos que podem ser selecionados e que permitem que se faça as translações e rotações. Este tipo de manipulação direta é uma implementação das idéias apresentadas em [vE90], suprimindo-se apenas as operações de escala, que não fazem parte do sistema aqui apresentado. A Figura 5 mostra o *Eixo Local* posicionado para transformação de uma curva.

Dependendo do modo de interface corrente, alguns destes símbolos são desenhados e outros suprimidos. A primeira tarefa dos testes é reconhecer a forma e o conteúdo dos diversos símbolos do sistema nos diferentes modos de operação. A Tabela 2 identifica os objetos que são apresentados em cada um dos modos de interface.

A questão central aqui é a avaliação da compreensão dos objetivos da visualização de cada um dos objetos gráficos. Os testes devem ser feitos para averiguar se o usuário é

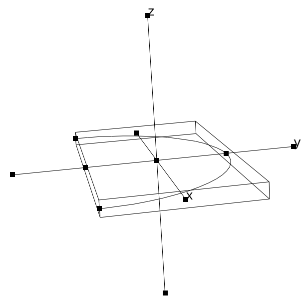


Figura 5: O *Eixo Local* na manipulação de curva

Modo	Modelo	Cursor	Mundo	Plano	Global	Local
Seleção	•			•	•	
Visualização	•		•	•	•	
Plano	•			•	•	•
Transformação	•					•
Modelo	•	•		•	•	

Tabela 2: Objetos nos modos de interface

capaz de discriminar quantos objetos estão disponíveis e quais são os objetos de referência em cada um dos modos de interface. A segunda avaliação deve ser no sentido de testar se os usuários usam os objetos da maneira esperada e para os fins determinados pelo projetista do sistema.

4.2 Testes da interface por manipulação direta

Três testes foram idealizados para avaliar o poder de comunicação da interface por manipulação direta proposta. O programa requer que o usuário aponte com o *mouse* as posições relativas aos objetos das operações que ele deseja efetuar. O modo de interface e o *feedback* apresentado devem esclarecer quais são os pontos sensíveis e quais são os objetos gráficos disponíveis.

4.2.1 Teste de seleção

É apresentado ao usuário um modelo de um objeto cúbico com uma única face possuindo um furo central e malhas ao seu redor (Figura 6a). Pede-se que o usuário selecione uma das malhas situadas em torno da face "furada" do cubo.

O teste é iniciado apresentando-se o modelo em *wireframe*. O usuário deve identificar pela posição da projeção que a face furada se encontra no lado oposto em que o modelo está sendo visualizado. A partir desta identificação, ele deve estar ciente de que ele terá que alterar a projeção do modelo para ter acesso à face desejada (Figura 6b). Em seguida, o usuário deve voltar ao modo de seleção e apontar qualquer um dos mapeamentos adjacentes ao furo (Figura 6c).

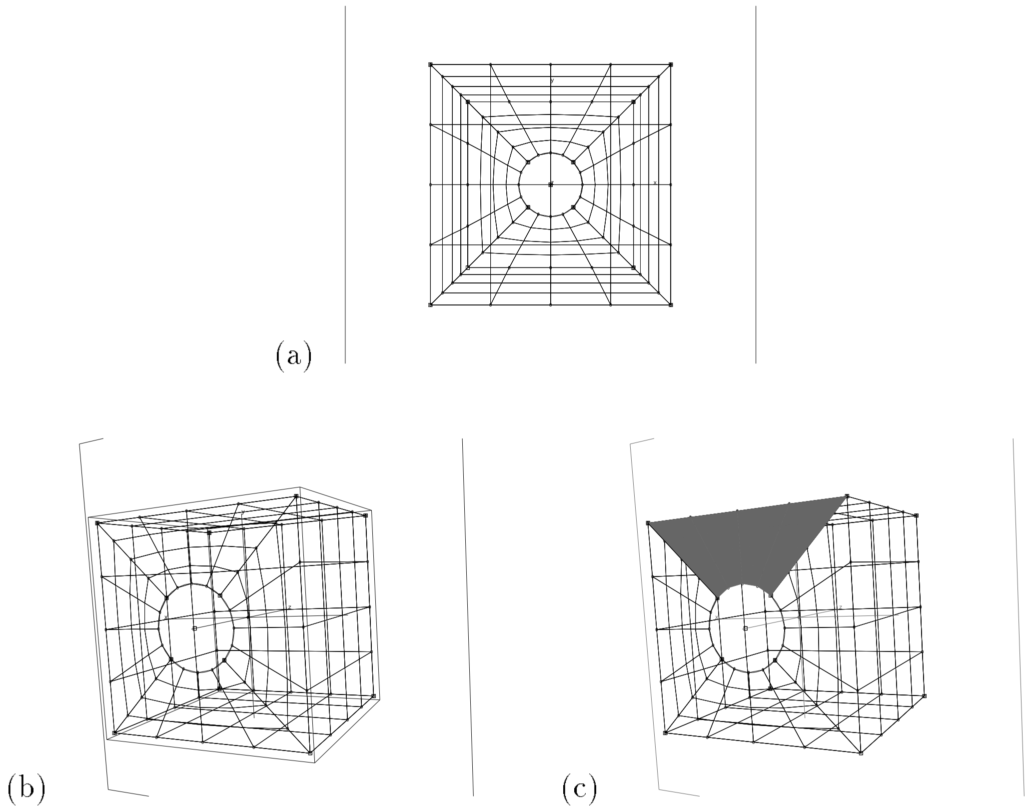


Figura 6: Primeiro teste: seleção de malha

Neste teste, o usuário percorre dois modos de interface distintos: o modo de seleção e o modo de mudança de projeção (visualização). Os ícones referentes a estes modos, assim como a interface para seleção e para mudança de projeção, são testados.

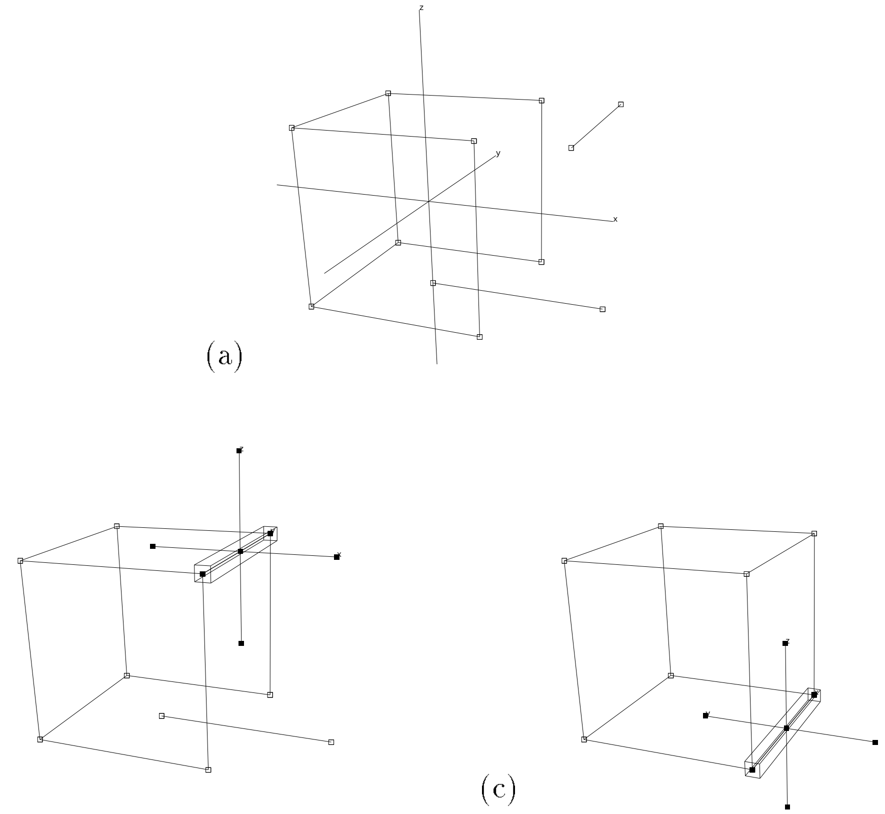
4.2.2 Teste de reconstrução de um modelo

Nesta tarefa, o usuário deve reconstruir um modelo usando as transformações por manipulação direta no espaço tridimensional simulado. Apresenta-se um cubo com duas arestas colocadas em posições incorretas (Figura 7a). O usuário já deverá conhecer o funcionamento do modo de seleção e do modo de mudança de projeção, pois este teste faz uso destas duas interfaces.

O usuário terá que identificar e acionar o ícone referente ao modo de transformações tridimensionais. Deve então selecionar uma das duas arestas incorretas e identificar os pontos sensíveis do sistema de eixos apresentado. As operações são feitas nas arestas individualmente, pois uma deve ser transladada (Figura 7b) até a posição correta e a outra deve receber um giro de 90^o (Figura 7c).

4.2.3 Teste de espelhamento de um modelo

Para testar a manipulação do *Plano* de interface, que é um dos símbolos gráficos mais importantes do sistema, idealizou-se um teste no qual é apresentado um modelo de um tronco de cone e se pede ao usuário que construa um modelo formado por dois troncos



(a) (b) (c)

Figura 7: Segundo teste: reconstrução de modelo

de cone justapostos.

O usuário deve reconhecer que a tarefa a ser feita é uma cópia por espelhamento do modelo existente, e que para isso deve usar o *Plano* de interface. O procedimento correto consiste em colocar o sistema no modo de edição do *Plano* e posicioná-lo corretamente, com um giro de 90^o por exemplo. Em seguida, o usuário deve identificar o ícone referente ao espelhamento e acioná-lo. A maneira de fazer cópias é aplicar transformações à entidades selecionadas, com o item relativo a cópias ativado. O programa faz a transformação e cria uma cópia das entidades selecionadas na posição original. O valor *default* do item relativo a cópias é desativado, e se o usuário fizer o espelhamento neste teste sem alterar este valor, deverá desfazer ou refazer a operação após ativar este item. A Figura 8 ilustra as ações que devem ser tomadas pelo usuário para concluir este teste.

5 Tabulação dos resultados dos testes

A Tabela 3 apresenta os resultados de forma objetiva, com s indicando que o usuário completou o teste com sucesso e f que fracassou.

A análise desta tabela deve considerar além da ordem dos testes, o que permite que o usuário conheça a interface a medida em que os testes são realizados, a complexidade crescente das tarefas. Esta complexidade é explicada pelos diferentes modos que devem ser acionados para conclusão das tarefas. No teste 1, o usuário usa os modos de mudança

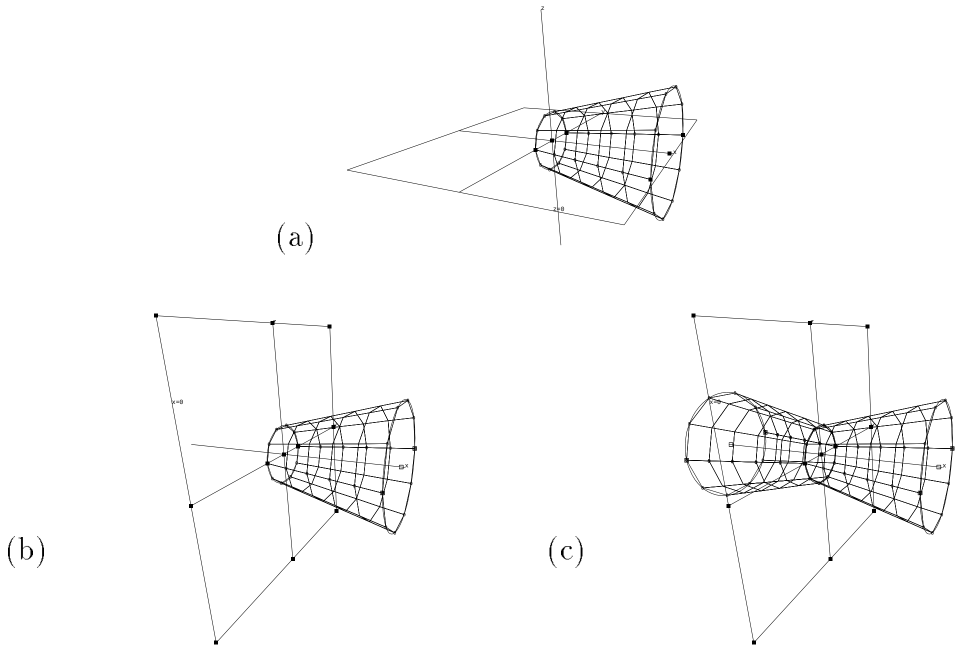


Figura 8: Terceiro teste: espelhamento

Usuário	teste 1	teste 2	teste 3
A	s	s	s
B	f	f	f
C	f	s	s
D	s	s	f
E	s	f	s
F	f	f	s
$\#s$	3/6	3/6	4/6

Tabela 3: Resultados dos testes iniciais

de projeções e o modo de seleção de objetos. Já no teste 2, o usuário deve ser capaz de usar, além dos dois modos do teste 1, o modo de transformações tridimensionais. No teste 3, a compreensão dos símbolos gráficos, a interpretação correta dos modos de interface citados, além do modo de manipulação do *Plano* de interface e da identificação do modo de fazer cópias, todos devem ter sido compreendidos e usados. De qualquer forma, não se observou um maior número de erros em uma tarefa específica.

Os testes conduziram à observação de alguns fenômenos que são listados a seguir.

1. Que tipos de objetos podem ser selecionados?
2. Qual o modo de interface corrente?
3. Uso dos ícones de tranformações relativas aos eixos globais.
4. Qual é o ícone de mudança de projeção?
5. Que objetos estão à frente de outros?
6. Qual é o ícone de transformações por manipulação direta?
7. Posicionamento do *Plano* por manipulação direta.
8. Posicionamento do *Plano* por uso do botão relativo a posições padrão.
9. Uso do *Plano* para transformar objetos.
10. Como fazer cópias de objetos?
11. Manipulação direta para transformações 3D.
12. Operação de espelhamento no *menu*.
13. Operação de espelhamento em botão na *toolbar*.
14. Quais são os pontos sensíveis nas transformações por manipulação direta?
15. O que fazem os pontos sensíveis nas transformações por manipulação direta?
16. Qual é a interpretação do *Mundo*?

A Tabela 4 mostra como a interpretação de cada um destes fenômenos contribuiu para o resultado dos testes. Um + colocado ao lado da identificação dos testes indica que o usuário obteve sucesso na interpretação do fenômeno; um − indica o contrário. Nos testes 2 e 3, além dos fenômenos assinalados, foram observadas interpretações corretas de alguns fenômenos dos testes anteriores. Estas observações foram suprimidas uma vez que os fenômenos vão sendo assimilados à medida que os testes são feitos e o usuário conhece a interface.

A Tabela 5 sumariza os resultados obtidos, separados por fenômenos.

	teste 1	*teste 2*	*teste 3*
A	5+ 1− 3− 4+ 16+ 2+	6+ 2+ 11− 14+ 15+	8+ 9+ 10+
B	5+ 1− 2− 3− 4−	6+ 2− 14− 15− 11−	10− 9− 13− 2+
C	1− 2− 3− 4− 16+	6− 2+ 11+ 14+ 15+	9+ 7− 10+ 2+
D	5+ 1+ 2+ 4+ 16+	6+ 2+ 11− 14+ 15+	9+ 12+ 3− 13− 7−
E	1− 4− 5− 16+ 2+	9− 6− 11+ 14+ 15−	9+ 7+ 12+ 10+
F	3− 2+ 4− 1− 16+	6− 11− 14− 15−	10− 9+ 7+ 10+ 13+

Tabela 4: Interpretação dos fenômenos

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
+	1	9	0	2	3	3	2	1	5	4	2	2	1	4	3	5
−	5	3	5	4	1	3	2	0	2	2	4	0	2	2	3	0

Tabela 5: Resumo das interpretações dos fenômenos

6 Considerações iniciais sobre os testes

De maneira a diferenciar os aspectos dos testes apresentam-se separadamente os resultados sobre reconhecimento dos símbolos gráficos e transformações por manipulação direta.

6.1 Reconhecimento dos símbolos gráficos

Observando as tabelas da seção anterior, destacam-se algumas questões sobre o reconhecimento e uso dos símbolos gráficos:

1. Que tipo de objetos existem e podem ser selecionados?
2. Que objetos estão selecionados?
3. Existe prioridade para selecionar objetos "à frente"?
4. O *Mundo* foi interpretado e usado corretamente?
5. O *Plano* foi interpretado e usado corretamente?

A pergunta 1 surge para qualquer usuário que desconheça o sistema e pode ser esclarecida a priori (o sistema em questão possui vértices, curvas e mapeamentos feitos com as curvas). Os testes indicaram dificuldades na interpretação e diferenciação dos objetos gráficos existentes pois o fenômeno 1 indica apenas 1 acerto contra 5 erros. Na Seção 8 apresenta-se uma estratégia para alteração deste quadro.

A pergunta 2 é respondida pelo próprio sistema pois o desenho dos objetos selecionados é feito com uma cor diferente dos demais. Alguns sistemas, como *Corel Draw* e

Canvas, adotam marcas colocadas nas fronteiras dos objetos. Nestes sistemas estas marcas são sensíveis à manipulação direta, mesmo no modo de seleção. No modelador em questão, por abordar modelos 3D e necessitar de alta precisão nas operações, os modos de seleção e de transformações geométricas possuem interfaces distintas.

A pergunta 3 é também respondida pelo sistema, pois o usuário não consegue selecionar objetos se houver outros situados "à frente" na projeção. O apontamento de um objeto a que está atrás, na projeção, de um outro objeto b, provoca a seleção do objeto b, sugerindo que o usuário deve mudar a projeção para acessar o objeto a.

No modo de mudança de projeções, a visualização do retângulo representando o *Mundo*, por um lado esclareceu de maneira inquestionável os limites do modelo; por outro lado, no entanto, criou a ilusão de que há uma correlação entre a posição do cursor relativamente aos vértices deste retângulo [CMG94]. Este segundo aspecto não foi observado pelos fenômenos descritos na seção anterior pois não comprometeu a tarefa de mudança de projeções que foi realizada com bastante sucesso como pode-se observar pelo rendimento dos fenômenos 2 e 16.

Sobre a questão 5, pode-se dizer que o objetivo foi parcialmente alcançado: se por um lado os usuários conseguiram identificar a sua funcionalidade (vide resultado do fenômeno 9) muitos não foram capazes de identificar, ou o ícone referente à sua manipulação direta, ou quais são os pontos sensíveis a esta manipulação e como se coloca este *Plano* na posição desejada, de acordo com o resultados observados pelos fenômenos 7 e 8. A grande deficiência correspondeu a duas questões relativas à percepção de símbolos e operações com o *Plano*:

- Quais são os pontos sensíveis para manipulação?
- Quais são as transformações que podem ser feitas com cada ponto sensível?

Quanto ao reconhecimento dos ícones ocorreram inúmeros erros. A exposição dos ícones para transformações relativas aos eixos globais na *toolbar* causou confusão pois foram acionados para qualquer tipo de transformação que se desejava fazer, como indicam os resultados do fenômeno 3. Da mesma forma, os ícones controladores dos modos de interface não foram esclarecedores, embora todos os usuários tenham identificado como controladores da interface da área de desenho.

Houve relativo sucesso na identificação do modo de interface pelo *feedback* apresentado (fenômeno 2). No modo de edição para criação de curvas ou vértices, que não foi testado aqui, mas acionado algumas vezes durante os testes, há uma indicação da posição em três dimensões feita com o *Cursor*. A forma encontrada para identificação dos outros modos limita-se ao desenho de determinados símbolos gráficos, e apresentou algumas falhas.

6.2 Transformações por manipulação direta

A filosofia de fazer as operações de seleção, mudança de projeção e transformações tridimensionais por manipulação direta na área de desenho obteve boa aceitação pelos usuários. No modo de seleção, por exemplo, foi bastante intuitiva a forma de apontar com o *mouse* as entidades uma vez que esta interação se assemelha aos sistemas de interface do *Microsoft Windows* e do *Macintosh*, que são sistemas bastante divulgados no meio computacional.

No modo de mudança de projeções, a movimentação do *mouse* com o botão pressionado provoca uma rotação similar a de uma esfera sobre um plano, sendo o ponto de contato a posição do cursor na tela. O principal problema encontrado é que, por não se visualizar esta esfera, o usuário algumas vezes associou os vértices do "retângulo" representativo do *Mundo* com a posição do cursor na tela, e estes não possuem correlação direta.

Quanto às transformações dos objetos por manipulação direta, além das questões relativas ao *feedback* relacionadas na subseção anterior, existe o problema da escolha da transformação a ser feita. Ao selecionar um ponto de controle qualquer e movimentar o *mouse* em uma direção específica, o programa adota como direção de movimento aquela dada pela maior componente do movimento. A partir daí, até a soltura do botão do *mouse*, o programa assume que os movimentos seguintes são alterações do valor escalar da transformação inicial. Não é permitido, por exemplo, fazer uma translação na direção z e mudar para a direção x ou y, antes de completar a translação original, soltando o botão do *mouse*. O que se observou durante os testes (vide fenômenos 7 e 11) foi que os usuários normalmente cometem erros de movimentação após a seleção do ponto no eixo auxiliar, e, muitas vezes, tentam anular o erro e fazer a transformação na direção desejada.

Uma outra dificuldade encontrada com a manipulação de entidades em três dimensões é a dependência da projeção para se fazer determinadas transformações. Para exemplificar, suponhamos que se deseje fazer uma rotação do *Plano* de 90^o em torno do eixo y e a projeção atual consiste de uma vista no plano xy com o observador sobre o eixo z (Figura 9a). Fica muito dificultada a tarefa de "levantar" o ponto de rotação do *Plano*. O usuário deve então acionar o modo de mudança de projeções e fazer uma adaptação da vista para a transformação desejada (Figura 9b) e retornar ao modo de edição do *Plano* para concluir a tarefa de rotação (Figura 9c).

7 Interpretação do resultado dos testes

A Tabela 6 apresenta a contribuição de cada um dos fenômenos para o sucesso ou falha de cada um dos testes. As linhas 1, 4 e 7 mostram o número de usuários que experimentaram determinado fenômeno. As linhas 2, 5 e 8 mostram os usos (ou interpretações) dos fenômenos nos testes que foram concluídos com sucesso; as linhas 3, 6 e 9, os usos nos testes que resultaram em fracasso.

Esta tabela permite identificar que fenômenos se mostraram decisivos para o sucesso ou falha de testes específicos. Para o fenômeno 1, se analisarmos o teste 1, veremos que o único usuário que o interpretou corretamente teve sucesso em todos os outros fenômenos. Todos os outros usuários, a despeito de interpretarem de forma errada este fenômeno, obtiveram sucesso ou falha, indicando que a interpretação a priori dos tipos de objetos disponíveis não foi determinante para o sucesso da tarefa global.

Quanto ao fenômeno 2, correspondente à identificação do modo de interface corrente, pode-se afirmar que todos os que fracassaram na sua interpretação também falharam na realização do teste, como se pode concluir pelas linhas 3 e 6 da tabela.

O fenômeno 3 foi usado de maneira errada por todos os que por ali se aventuraram. Na realidade, os botões correspondentes às transformações relativas aos eixos globais não

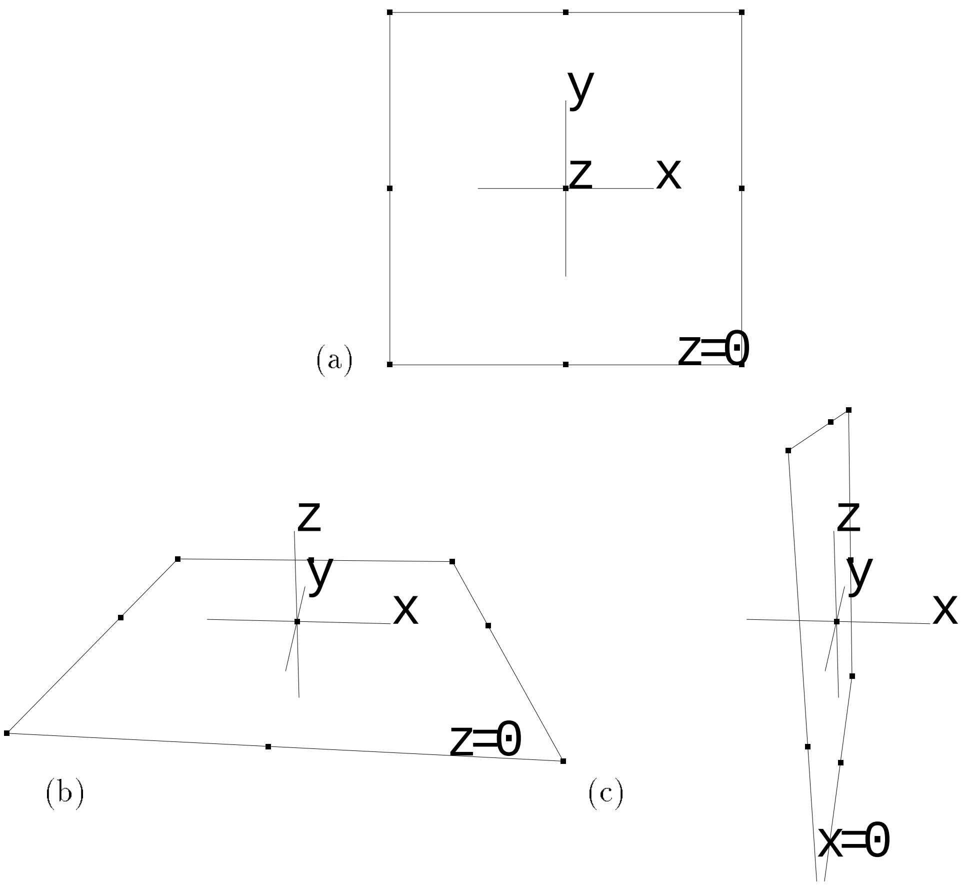


Figura 9: Dificuldades com a rotação do *Plano*

	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*
1	6	6	3	6	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5
1s	1+ 2−	3+	1−	2+ 1−	2+ 1−	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3+
1f	3−	1+ 2−	2−	3−	1+	0	0	0	1−	0	0	0	0	0	0	2+
2	0	4	0	0	0	6	0	0	1	0	6	0	0	6	6	0
2s	0	3+	0	0	0	2+ 1−	0	0	0	0	1+ 2−	0	0	3+	3+	0
2f	0	1−	0	0	0	2− 1+	0	0	1−	0	1+ 2−	0	0	2− 1+	3−	0
3	0	2	0	0	0	0	4	1	6	5	0	2	1	0	0	0
3s	0	1+	0	0	0	0	1− 2+	1+	4+	4+ 1−	0	1+	1+	0	0	0
3f	0	1+	1−	0	0	0	1−	0	1− 1+	1−	0	1+	0	0	0	0

Tabela 6: Influência das interpretações nos resultados

deveriam ter sido usados em nenhum dos testes.

Com relação ao fenômeno 9, pode-se dizer que todos os que realizaram o teste 3 com sucesso interpretaram o uso do *Plano* corretamente. O único usuário a falhar na sua interpretação também falhou na tarefa de copiar o objeto pois nem tentou fazer espelhamento do modelo (i.e. falha pior do que o que teve 9+, pois este fez o espelhamento corretamente e esteve perto de realizar o teste com sucesso). Observa-se também que, onde houve erro de interpretação do fenômeno 9, nos testes 2 e 3, também houve falha na realização do teste.

No teste 3, com referência ao fenômeno 10, pode-se dizer que é imperativo que o usuário descubra como fazer cópias de objetos para construir o modelo final. O usuário *B* falhou no teste 3 por não ter identificado o modo de cópias e não ter reconhecido no *Plano* de interface o instrumento para definir o espelhamento.

Sobre os fenômenos 14 e 15, pode ser observado na tabela que todos os que acertaram o teste 2 também interpretaram corretamente quais eram os pontos sensíveis e o que faziam. O único usuário a falhar no teste, apesar de ter identificado os pontos sensíveis, não identificou quais deles faziam rotação (15−). Este fato indica uma alta correlação entre os fenômenos 14 e 15. De resto, nas outras falhas, observou-se 14− e 15− indicando, novamente a correlação. O fenômeno 15 foi determinante para o sucesso do teste 2.

Sobre o fenômeno 16, correspondente a interpretação correta do *Mundo*, pode-se dizer que o único usuário que não teve um 16+ não concluiu o teste 1 com sucesso. No mais, quem acertou e quem falhou teve 16+, donde pode-se dizer que este fenômeno não foi determinante para o sucesso das tarefas.

8 Redesign

Algumas estratégias foram adotadas para reprojetar a interface no sentido de observar a reação dos usuários quanto aos pontos críticos do sistema.

No que tange à identificação dos tipos de objetos que podem ser selecionados (fenômeno 1), pode-se criar uma linguagem gráfico-textual fazendo-se uma distinção dos objetos, à medida que o usuário movimenta o *mouse*, desenhando-os com um padrão diferente e mostrando em uma janela textual que tipo de objeto está em foco e pode, portanto ser selecionado. Para os usuários que participaram do teste, esta questão foi esclarecida verbalmente a priori. Na redefinição do projeto, implementamos a estratégia do movimento do *mouse*; os resultados são apresentados na seção seguinte.

A exclusão dos ícones referentes às transformações relativas aos eixos globais da *toolbar* (fenômeno 3), e colocação no *menu* parece ser mais indicada uma vez que estas operações não possuem características de manipulação direta e sim uma linguagem quase que exclusivamente textual, pois o usuário apenas observa o desenho do modelo para se certificar da posição dos eixos.

Para melhorar a compreensão dos ícones que não obtiveram sucesso (fenômenos 4 e 6), os substituímos por outros que usam outras associações, pois interpretamos que estes eram os únicos itens que não seguiam a mesma estratégia de relacionar os símbolos gráficos com as operações por eles indicadas.

A Figura 10 mostra o aspecto da interface após o *redesign*.

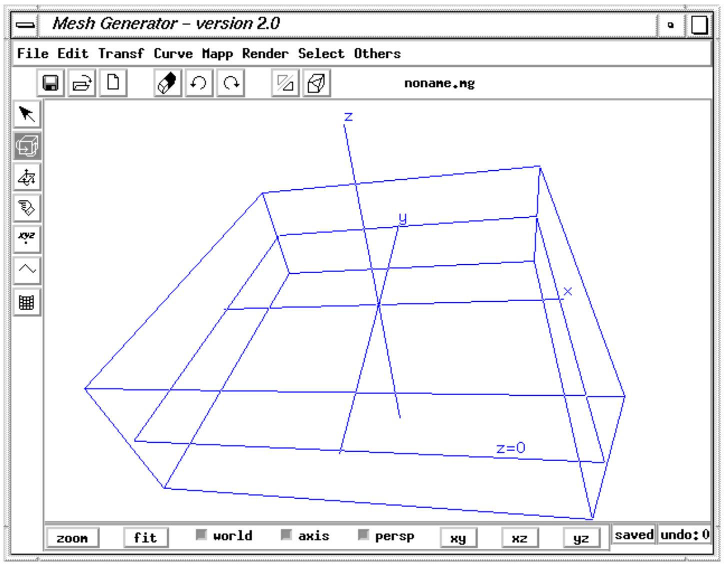


Figura 10: A Interface após o *redesign*

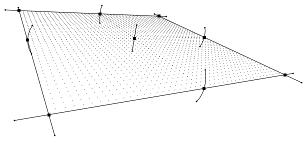


Figura 11: Vetores no *Plano* de interface

Para identificação do modo corrente de interface, naqueles onde não havia nehuma indicação pelo movimento do *mouse*, criaram-se novos cursores indicativos para cada um especificamente. Para o modo de seleção, mantivemos o apontador tipo *arrow* padrão da interface. Para o modo de mudança de projeções, foi criado um cursor do tipo "mão espalmada" com o objetivo de indicar a manipulação de uma esfera (o *Mundo*). Para o modo de transformações tridimensionais por manipulação direta, usou-se um cursor idêntico ao ícone que representa um dedo indicador, com o ponto sensível na ponta do dedo.

Na questão relacionada com os fenômenos 14 e 15, adicionou-se às marcas sensíveis a manipulações o desenho de vetores indicativos das operações que podem ser feitas com estes símbolos. A Figura 11 mostra os vetores que são desenhados na interface para movimentação do *Plano* de interface.

A Figura 12 mostra o eixo para manipulação direta no modo de transformações tridimensionais de objetos gráficos. Três círculos são desenhados para mostrar as possibilidades de rotações disponíveis.

Com esta atitude, pretendemos melhorar a compreensão de todas as transformações feitas por manipulação direta, sejam elas de translação ou de rotação.

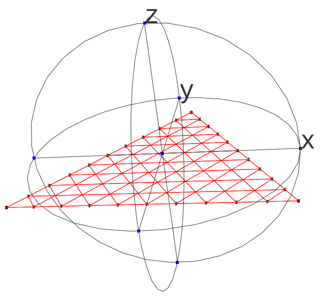


Figura 12: Eixo com círculos para transf. 3D

Usuário	teste 1	teste 2	teste 3
A'	f	s	s
B'	s	f	s
C'	s	s	s
D'	s	s	s
E'	s	f	s
F'	s	s	s
G'	s	s	f
$\#s$	6/7	5/7	6/7

Tabela 7: Resultados após *redesign*

9 Novos testes

Para reavaliar a interface foram feitos testes com outros usuários que possuíam perfil semelhante ao grupo de teste original. Para diminuir o efeito do contraste entre os dois grupos, fizemos os testes com um número maior de usuários. Os resultados dos testes são apresentados na Tabela 7.

Os resultados mostram uma boa média de acertos nos testes 1 e 3. No teste 2, a maior dificuldade continuou sendo a interpretação correta dos pontos para fazer transformações de rotação por manipulação direta. As indicações com os vetores (Figuras 11 e 12) esclareceram as operações, no entanto, para o usuário G' o desenho ficou confuso.

Não houve erros na questão relativa à interpretação do modo de interface corrente.

Com relação aos ícones, houve correção total na interpretação da mudança de projeções e da edição do *Plano* de interface. Algumas dificuldades quanto ao ícone relativo ao modo de seleção foram observadas nesta segunda etapa e não tinham ocorrido com o primeiro grupo de testes.

Um outro aspecto observado foi a insistência em acionar as funções de transformação relativas aos eixos globais, que foram remanejadas da barra de ícones para a linguagem textual nos *menus*. Este fato levou a uma falha no teste 2 para o usuário E'.

10 Conclusões

A análise dos resultados dos testes nos permite classificar os fenômenos observados segundo uma taxonomia específica. Os fenômenos relacionados com os objetos gráficos formam a classe *objetos*; identificamos os fenômenos 1 e 5 nesta classe.

A segunda classe identificada é a das *operações*, onde colocamos os fenômenos 7 e 8, no aspecto de edição do *Plano*, e os fenômenos 10, 12 e 13, com respeito aos objetos gráficos.

A última classe, onde identificamos os principais problemas da interface, diz respeito ao *look and feel* do programa. Nesta categoria incluímos os fenômenos relativos aos ícones e sua identificação (3, 4 e 6), à identificação do modo corrente de interface (2), aos símbolos auxiliares (9 e 16), e os fenômenos de identificação e uso dos marcas para manipulação direta (14 e 15). Esta taxonomia é mostrada abaixo. abaixo apresenta esta taxonomia.

objetos	*operações*	*look and feel*
(1)	alternativos $^{(8)}_{(7)}$	(2) modo
(5)	alternativos $^{(12)}_{(13)}$	(3) (4) (6) ícones
	(10)	sequencializados $^{(14)}_{(15)}$
		feedback $^{plano(9)}_{mundo(16)}$

Além desta taxonomia, observamos uma forte correlação entre alguns dos fenômenos observados. O fenômeno 16 não pode ser identificado sem a interpretação correta do fenômeno 15, relativos ao *Plano*. Da mesma forma, para fazer o espelhamento do modelo (fenômenos 12 e 13), o usuário deve ser capaz de identificar o *Plano* como sendo a referência (fenômeno 9).

Em alguns casos, foram identificadas situações onde erros na interpretação de algum fenômeno não comprometeram o sucesso na tarefa global. Por exemplo, o espelhamento (fenômenos 12 ou 13) foi feito, muitas vezes, sem se identificar que deveria ter sido acionado o modo de cópias (fenômeno 10). O usuário refazia então o espelhamento com o modo de cópias ativado. Um outro exemplo se deu com os usuários que tiveram dificuldade na interpretação dos objetos à frente de outros (fenômeno 5) no teste 1. O programa selecionava sempre os mapeamentos frontais. Estes são casos de fenômenos que ofuscam erros de interpretação de outros.

Do *redesign*, onde se procurou corrigir justamente os erros de interpretação dos fenômenos da classe *look and feel*, pode-se concluir que as soluções representaram uma possível melhoria em relação ao projeto original, ou seja, a nossa percepção, ou interpretação, das reações dos usuários do grupo de teste parece ter sido bem classificada e reprojetada. A origem da maioria dos erros se localizam em torno da incerteza dos usuários de se posicionarem temporalmente dentro da tarefa global [ELH86b], isto é responder a:

- O que pode ser feito?
- O que se está fazendo?
- O que falta fazer?

Apresentar *feedback* das operações futuras, presentes e passadas é tarefa primordial para sistemas baseados em manipulação direta.

Referências

[CMdSG93] L. C. G. Coelho, L. F. Martha, C. S. de Souza, and M. Gattass. Geração de malhas de superfície no espaço com manipulação direta e orientação a objetos. *Anais do XIV CILAMCE*, pages 1275–1284, 1993.

[CMG94] B. Castier, L. F. Martha, and M. Gattass. Uma taxonomia para manipulação interativa e visualização de objetos 3d. *Anais do VII SIBGRAPI*, pages 149–156, 1994.

[ELH86a] J. D. Hollan e D. A. Norman E. L. Hutchins. *User Centered System Design*, chapter Direct Manipulation Interfaces. Lawrence Eralbaum, Hillsdale, NJ, 1986.

[ELH86b] J. D. Hollan e D. A. Norman E. L. Hutchins. *User Centered System Design*. Lawrence Eralbaum and Associates, Hillsdale, NJ, 1986.

[NNS72] N. E. Newell, R. G. Newell, and T. L. Sancha. A new approach to shaded picture problem. *Proc. ACM Nat. Conf.*, page 443, 1972.

[Sch83] B. Schneiderman. Direct manipulation: a step beyond programming languages. *IEEE Computer*, 9:57–69, 1983.

[Sou93] C. S. Souza. The semiotic engineering of user interface languages. *International Journal of Man-Machine Studies*, 39:753–773, 1993.

[vE90] M. J. G. M. van Emmerik. A direct manipulation technique for specifying 3d object transformations with a 2d input device. *Computer Graphics Forum*, 9:355–362, 1990.