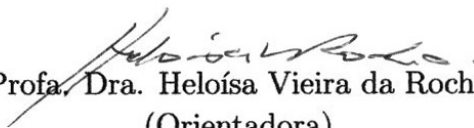


Design Multi-Dispositivo em Contextos de Uso Alternado e Migração de Tarefas

Este exemplar corresponde à redação final da Tese devidamente corrigida e defendida por Rodrigo de Oliveira e aprovada pela Banca Examinadora.

Campinas, 30 de maio de 2008.


Profa. Dra. Heloísa Vieira da Rocha
(Orientadora)

Tese apresentada ao Instituto de Computação, UNICAMP, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação.

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO IMECC DA UNICAMP**

Bibliotecária: Maria Júlia Milani Rodrigues – CRB8a / 2116

Oliveira, Rodrigo de
OL4d Design multi-dispositivo em contextos de uso alternado e
migração de tarefas / Rodrigo de Oliveira-- Campinas, [S.P. :s.n.], 2008.

Orientadora : Heloísa Vieira da Rocha

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Computação.

1. Interação homem-máquina. 2. Interfaces de usuário (Sistema de
computador). 3. Projeto centrado no usuário. 4. Computação móvel. 5.
Planejamento experimental. I. Rocha, Heloísa Vieira da. II.
Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Computação. III.
Título.

Título em inglês: Multi-device design in contexts of interchange and task migration.

Palavras-chave em inglês (Keywords): 1. Human-computer interaction. 2. User interfaces
(Computer systems). 3. User-centered system design. 4. Mobile computing. 5. Experimental
design.

Área de concentração: Interação Humano-Computador

Titulação: Doutor em Ciência da Computação

Banca examinadora:

Profa. Dra. Heloísa Vieira da Rocha (IC-UNICAMP)
Profa. Dra. Joice Lee Otsuka (UAB-UFSCar)
Prof. Dr. André Luiz Zambalde (DCC-UFLA)
Profa. Dra. Anamaria Gomide (IC-UNICAMP)
Prof. Dr. Rodolfo Jardim de Azevedo (IC-UNICAMP)

Data da defesa: 30-05-2008

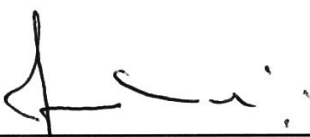
Programa de Pós-Graduação: Doutorado em Ciência da Computação

TERMO DE APROVAÇÃO

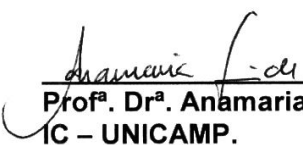
Tese Defendida e Aprovada em 30 de maio de 2008, pela Banca examinadora composta pelos Professores Doutores:



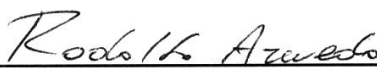
Prof.^a. Dr.^a. Joice Lee Otsuka
UAB – UFSCar.



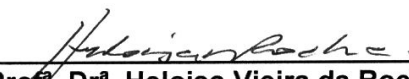
Prof. Dr. André Luiz Zambalde
DCC – UFLA.



Prof.^a. Dr.^a. Anamaria Gomide
IC – UNICAMP.



Prof. Dr. Rodolfo Jardim de Azevedo
IC – UNICAMP.



Prof.^a. Dr.^a. Heloisa Vieira da Rocha
IC – UNICAMP.

Design Multi-Dispositivo em Contextos de Uso Alternado e Migração de Tarefas

Rodrigo de Oliveira¹

Maio de 2008

Banca Examinadora:

- Profa. Dra. Heloísa Vieira da Rocha (Orientadora)
- Profa. Dra. Joice Lee Otsuka
Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR
- Prof. Dr. André Luiz Zambalde
Universidade Federal de Lavras – UFLA
- Profa. Dra. Anamaria Gomide
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
- Prof. Dr. Rodolfo Jardim de Azevedo
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
- Prof. Dr. Delano Medeiros Beder (Suplente)
Universidade de São Paulo – USP
- Prof. Dr. Hans Kurt Edmund Liesenberg (Suplente)
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

¹Suporte financeiro de Capes (2004–2006), CNPq (2006–2007) e Microsoft Research (2007–2008).

Resumo

Com a miniaturização dos componentes digitais e o vasto desenvolvimento tecnológico dos últimos anos, a sociedade tem presenciado a redefinição dos “computadores pessoais” pelo advento dos dispositivos móveis. Além da inovação, eles introduziram o desafio do design multi-dispositivo para as aplicações *desktop*. Enquanto algumas abordagens criaram interfaces móveis sem aproveitar qualquer modelo, outras buscaram adaptações automáticas visando reduzir a sobrecarga de design. Em ambas, o foco do design deixou de ser o usuário, tornando as interfaces tão diferentes ao ponto de comprometerem a usabilidade na realização de uma mesma tarefa em vários dispositivos.

Esta tese afirma que não existe uma abordagem de design multi-dispositivo capaz de garantir boa usabilidade em todos os contextos porque o usuário pode escolher apenas uma forma de acesso à aplicação ou alternar seu uso por meio de vários dispositivos. No primeiro caso, o usuário aprende a usar a interface para realizar suas tarefas, sendo relevante uma abordagem que aproveite os recursos do dispositivo e trate suas limitações. No segundo, o usuário já conhece uma das interfaces, o que gera uma expectativa no uso das demais. Logo, é necessário combinar abordagens com objetivos diferentes para atender ao usuário de acordo com o seu contexto de uso.

Neste sentido, propõe-se o design multi-dispositivo por meio da preservação de uma hierarquia de prioridades de consistência definida em três níveis. Enquanto os dois primeiros dão suporte à expectativa do usuário em contextos de uso alternado (propensos à execução de tarefas em dispositivos diferentes) e migração de tarefas (iniciando tarefas com um dispositivo e concluindo com outro), o terceiro nível garante a personalização das tarefas de maior interesse visando eficiência e satisfação de uso em um dispositivo específico.

A avaliação desta metodologia foi feita por meio de um experimento com três interfaces de *pocket PC* construídas a partir de uma aplicação *desktop* do domínio de Educação a Distância: a primeira delas era uma réplica da original (Migração Direta), a segunda não mantinha consistência de layout e era baseada em um processo de design personalizado adequado ao dispositivo (Linear) e a terceira aplicava apenas os dois primeiros níveis da hierarquia de prioridades (*Overview*). Os resultados da avaliação subjetiva mostraram que a abordagem *Overview* foi capaz de manter o modelo mental do usuário com maior

precisão por preservar os atributos de facilidade, eficiência e segurança de uso na interação inter-dispositivo. Além disso, os resultados medidos para a eficácia (exatidão das respostas) e eficiência (tempo médio de execução das tarefas) foram iguais ou melhores com essa abordagem. Por outro lado, os usuários revelaram uma preferência pela personalização de tarefas presente na abordagem Linear. Este resultado dá suporte à proposta desta tese, mostrando que a eficácia gerada pelos dois primeiros níveis da hierarquia de prioridades (percepção e execução das tarefas) deve ser combinada com o terceiro nível de personalização. Para isso, sugere-se a disponibilização de padrões de interface criados pelo designer para escolha do usuário durante a interação. Essa combinação deve garantir usabilidade no acesso a uma aplicação feito sempre por um mesmo dispositivo ou em contextos de uso alternado e migração de tarefas.

Abstract

With the miniaturization of digital components and the vast technological development of the past years, society has remarked the redefinition of “personal computers” by the advent of modern mobile devices. Besides the innovation, these handhelds also introduced the challenge to develop multi-device interfaces for today’s desktop applications. While some created mobile interfaces from scratch to get the best from the devices, others looked for automatic adaptations to reduce the load imposed to the designer. In both cases, the user wasn’t the focus anymore, which resulted interfaces so different from each other to the point of compromising usability when performing one task on many devices.

This thesis claims that there is no multi-device approach capable to provide full usability in every context because the user may choose only one interface to access the application or interchange its use via many devices. In the first case, the user learns to perform tasks with the given device, which makes relevant an approach that takes advantage of its resources and solves its limitations. In the second, the user already knows one of the available interfaces, which generates an expectation for the others. Therefore, it is necessary to combine approaches with different goals and suit the user according to the appropriate context.

In this sense, we propose multi-device design via maintenance of a consistency priorities hierarchy defined in three levels. The first two levels give support to the user’s expectation in contexts of interchange (prone to task execution with different devices) and task migration (starting tasks with one device and finishing with other). On the other side, the third level provides task personalization according to the user’s interest towards higher efficiency and satisfaction of use with a specific device.

The evaluation of this methodology was conducted by an experiment with three pocket PC interfaces designed from an e-learning desktop application: the first interface was an exact replica of the original desktop version (Direct Migration), the second didn’t maintain layout consistency and was based in a personalized design process adequate to the device (Linear) while the third applied only the first two levels of the consistency priorities hierarchy (*Overview*). The subjective evaluation results pointed the *Overview* approach as the best to maintain the user’s mental model by preserving easiness, efficiency and

safety of use on inter-device interaction. Additionally, both measured efficacy (task result accuracy) and efficiency (task execution mean time) were the same or even better with this approach. On the other hand, users revealed their preference for the task personalization present in the Linear approach. This result gives support to our proposal, corroborating that the efficacy generated by the first two levels of the consistency priorities hierarchy (task perception and execution) should be combined with the third level of personalization. This could be done by letting designers create interface patterns and make them available to users during interaction. Such combination should guarantee usability while constantly accessing one application through the same device or in contexts of alternated use and task migration.

Publicações

OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Towards an approach for multi-device interface design. In: *WebMedia'05: Proceedings of the 11th Brazilian Symposium on Multimedia and the web*. Poços de Caldas, Brazil: ACM, 2005. p. 1–3.

OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Mobile access to web systems using a multi-device interface design approach. In: *PSC'06: Proceeding of the International Conference of Pervasive Systems & Computing*. Las Vegas, USA: CSREA, 2006. p. 37–46.

OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. *Conceptual Multi-Device Design: Improving Theoretical Foundations*. Technical Report, IC-07-01, Campinas, SP, Brazil: Unicamp. February 2007. 14 p.

OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Conceptual multi-device design on the transition between e-learning and m-learning. In: *ICALT'07: Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. Niigata, Japan: IEEE, 2007. p. 332–334.

OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Consistency on multi-device design. In: *INTERACT'07: Proceedings of the 11th IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*. Rio de Janeiro, Brazil: Springer, 2007. v. 2, p. 617–623.

OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Consistency priorities for multi-device design. In: *INTERACT'07: Proceedings of the 11th IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*. Rio de Janeiro, Brazil: Springer, 2007. v. 1, p. 426–429.

OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. H. da. *Consistency priorities towards a user oriented multi-device design*. Technical Report, IC-07-36, Campinas: Unicamp, December 2007, pp. 16-18

OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Multi-device design in contexts of interchange and task migration. In: – (Ed.). *Advances in Human-Computer Interaction*. Vienna, Austria, EU: I-Tech Education and Publishing, 2008. ISBN 978-3-902613-38-7. (to appear).

Agradecimentos

A Deus,
a Quem tudo devo e a Quem tudo faço.
A Ti,
ofereço mais este passo.

À UNICAMP,
pela oportunidade de realização do curso.
E também à Capes, CNPq e Microsoft Research,
que nunca me faltaram com o devido recurso.

À querida amiga Heloísa,
pela orientação, confiança e carinho marcante.
E ao amigo Fábio Dadam,
pelo apoio quando eu me achava um mero coadjuvante.

Aos revisores de congressos,
pelo amadurecimento do que era apenas uma idéia.
À Joice, André, Anamaria e Rodolfo,
pelo refino no dia da minha grande estréia.

Aos amigos Tiago, Gustavo e Edgar,
presentes em tantos anos não importa o lugar.

E aos amigos Xaveco, Ygor e Pardal
Diferenças que se cruzam com estima fraternal.

Não me esqueço dos amigos Delano e Emille,
auxílio e acolhimento às viagens de negócio.
Tão menos do Natan e da Myleni,
mais interessados naquelas de ócio.

Também aos amigos Celmar, Eduardo e André,
braços amigos da área de estudo.
E a tantos aqui não listados.
Acreditem. É difícil lembrar de tudo.

De modo especial,
agradeço meus pais Antonio Ilson e Terezinha.
Razão e emoção,
pilares do sustento incondicional.

Também não me esqueço
do irmão Alessandro,
Afeto e preocupação,
por ti grande apreço.

Suzana é meu grande amor,
expresso em cada segundo.
Alegria e espontaneidade,
em tua essência, precioso valor.

E ao leitor me perdoe a ousadia
de agradecer como quem escreve poesia.
Da pretensão erudita à forma almejada,
a todos agradeço a atenção dispensada.

Sumário

Resumo	vii
Abstract	ix
Publicações	xi
Agradecimentos	xiii
1 Introdução	1
1.1 Cenário do Problema	2
1.2 Justificativas	3
1.3 Hipóteses e Proposta	5
1.4 Contribuições	6
1.5 Visão Geral da Tese	7
2 Design Centrado no Usuário	9
2.1 Importância do Usuário no Design de Interação	10
2.2 Conhecendo o Usuário: Processos Cognitivos	12
2.2.1 Atenção	14
2.2.2 Percepção	16
2.2.3 Memória	19
2.2.4 Aprendizado	22
2.3 Modelando o Usuário: Modelos Mentais	26
2.3.1 Conceito e Natureza Dinâmica	27
2.3.2 Principais Abordagens	29
2.3.3 Comparativo das Abordagens	41
2.3.4 Críticas e Projeções para o Futuro	42
3 Design Multi-Dispositivo	47
3.1 Principais Propostas da Atualidade	49

3.1.1	Arquitetura de Hodes (Controlador Universal)	49
3.1.2	WebTwig (Estrutura de Links)	51
3.1.3	Power Browser (Estrutura de Link)	52
3.1.4	Técnicas de Eisenstein (Interface Adaptável)	53
3.1.5	ICrafter (Controlador Universal)	55
3.1.6	Smartview (Consistência de Layout)	57
3.1.7	PIMA/MORE (Interface Adaptável)	58
3.1.8	Damask (Interface Adaptável)	61
3.1.9	PUC/Uniform (Controlador Universal)	63
3.1.10	TERESA (Interface Adaptável)	66
3.1.11	Gateway (Consistência de Layout)	67
3.1.12	Proposta de Banerjee (Estrutura de Links)	69
3.1.13	MADE (Interface Adaptável)	70
3.1.14	Dygimes/DynaMo-Aid (Interface Adaptável)	70
3.1.15	SUPPLE (Interface Adaptável)	72
3.1.16	Interface Adaptável baseada em Personalização	74
3.1.17	Thumbnail Resumido (Consistência de Layout)	75
3.1.18	Minimap (Consistência de Layout)	77
3.1.19	AWT2XIML (Interface Adaptável)	79
3.2	Comparativo das Propostas	80
3.3	Consistência no Design Multi-Dispositivo	84
3.3.1	Histórico do Conceito	84
3.3.2	Dimensões de Abrangência	86
3.3.3	Foco no Usuário ou na Consistência de Interfaces?	87
4	Prioridades de Consistência no Design Multi-Dispositivo	89
4.1	Construção da Proposta	89
4.1.1	Ciclo de Atualização do Modelo Mental do Usuário	90
4.1.2	Prioridades de Consistência	91
4.1.3	Teoria reforçando Teoria	93
4.2	Aplicação da Proposta	96
4.2.1	Domínio da Aplicação	97
4.2.2	Modelo de Tarefas	99
4.2.3	Fluxo de Ações das Tarefas de Usuário	106
4.2.4	Análise de Restrições do Dispositivo	109
4.2.5	Implementação das Prioridades de Consistência	110

5	Experimento	125
5.1	Domínio, Aplicação e Foco das Tarefas	125
5.2	Participantes	127
5.3	Material	129
5.4	Tratamentos e Procedimentos	129
5.4.1	Distribuição da Amostra	131
5.4.2	Variáveis Estudadas	131
5.4.3	Escolha das Tarefas	132
5.4.4	Precauções para Construção do Estado Inicial das Tarefas	135
5.5	Método de Análise	136
5.6	Resultados Esperados	137
5.7	Resultados Obtidos	138
5.7.1	Tarefa 1: Principal Interesse do Usuário	138
5.7.2	Tarefa 2: Variação da Tarefa 1	141
5.7.3	Tarefa 3: Interesse Secundário do Usuário	143
5.7.4	Satisfação Subjetiva	145
5.8	Resultados Esperados versus Resultados Obtidos	147
6	Conclusão	149
	Bibliografia	153
A	Experimento: Questionários de Avaliação das Interfaces	171
B	Experimento: Interfaces Construídas para a Transformação Linear	179
C	Experimento: Coleta de Dados	181
D	Experimento: Teste Complementar	189
E	Experimento: Análise de Dados	193

Lista de Tabelas

2.1	Características importantes da <i>atenção</i> no design.	16
2.2	Características importantes da <i>percepção</i> no design.	19
2.3	Características importantes da <i>memória</i> no design.	22
2.4	Comparação entre os principais aspectos das Teorias Comportamentalista e Cognitivista (MERRIAM; CAFFARELLA, 1991)	26
2.5	Design Conceitual: dimensões e notações dos principais componentes do modelo (adaptado de Sasse, 1997).	31
2.6	Comparação das principais abordagens de modelos mentais.	43
3.1	Comparação das principais propostas de design multi-dispositivo.	81
4.1	Exemplos de tarefas de usuário e seus fluxos de ações para a ferramenta Avaliação do TelEduc.	108
4.2	Comparação das características perceptivas dos dispositivos de entrada e saída de um computador <i>desktop</i> , <i>pocket PC</i> e <i>smartphone</i> padrões.	109
5.1	Pontuação das ferramentas do TelEduc quanto ao total de acessos.	126
5.2	Pontuação das ferramentas do TelEduc quanto ao total de desafios de visualização de informação para adaptação da interface <i>desktop</i> na de <i>pocket PC</i> .127	
5.3	Média da pontuação das ferramentas do TelEduc quanto ao total de acessos e desafios de visualização de informação.	128
5.4	Distribuição dos indivíduos da amostra em grupos com diferentes ordens de aplicação dos tratamentos	131
C.1	Frequência de acesso às ferramentas do TelEduc por parte dos participantes da disciplina “Construção de Interfaces de Usuários” ministrada no segundo semestre de 2007 na UNICAMP. O período corresponde a 83 dias de disponibilização do ambiente de ensino para uso até a véspera da realização do experimento.	182
C.2	Resultado do questionário demográfico do experimento.	183

C.3	Resultado da avaliação de usabilidade do experimento - Tarefa 1: checar a nota de um aluno do TelEduc. As três interfaces móveis avaliadas foram construídas usando as seguintes abordagens: Migração Direta (M), Transformação Linear (L) e Transformação <i>Overview</i> (O).	184
C.4	Resultado da avaliação de usabilidade do experimento - Tarefa 2: checar quantos participantes do TelEduc tiraram nota maior que a do aluno. As três interfaces móveis avaliadas foram construídas usando as seguintes abordagens: Migração Direta (M), Transformação Linear (L) e Transformação <i>Overview</i> (O).	185
C.5	Resultado da avaliação de usabilidade do experimento - Tarefa 3: checar as avaliações atuais disponíveis no TelEduc. As três interfaces móveis avaliadas foram construídas usando as seguintes abordagens: Migração Direta (M), Transformação Linear (L) e Transformação <i>Overview</i> (O).	186
C.6	Resultado da avaliação de satisfação do experimento.	187
D.1	Tempo de duração (segundos) para execução das sub-tarefas restantes à conclusão da Tarefa 2 usando a abordagem Linear.	191
E.1	Análise de variância da duração de cada tarefa do experimento com as três abordagens (Migração Direta, Linear e <i>Overview</i> por prioridades de consistência).	193
E.2	Tempo de duração médio ajustado (segundos) para cada tarefa do experimento usando os três tratamentos.	193

Lista de Figuras

1.1	Componentes interativos do design (NORMAN, 1986, p.46). Em uma situação ideal, ambos usuário e a equipe de designers possuem a mesma compreensão do comportamento esperado da aplicação. Como resultado, a imagem do sistema reflete a harmonia de ambas as partes e o usuário interage com a interface do sistema sem ambiguidades para a tomada de decisão.	3
1.2	Componentes interativos do design multi-dispositivo (adaptado de Norman, 1986, p.46). Por não conseguir tomar decisões baseadas em sua experiência com a interface original, o usuário desenvolve um novo modelo ambíguo ao primeiro, o que dificulta uma interação eficiente, segura e prazerosa.	4
2.1	Exemplo de imagens mutáveis com diferentes interpretações perceptivas para um mesmo estímulo visual: em (a), o famoso desenho do cartunista W.E. Hill que consegue unir, em uma só imagem, as faces de três pessoas: uma garota jovem olhando ao longe à esquerda, uma senhora olhando para o chão e um senhor de bigode à direita (FISHER, 1968); em (b), a imagem ambígua de um pato e um coelho (JASTROW, 1899).	17
2.2	Exemplos de imagens que ilustram os princípios de fechamento e segregação figura-fundo. Em (a), o triângulo de Kaniza revela um segundo triângulo branco, composto do fechamento das falhas nas demais formas que compõem a figura. Em (b), a dificuldade em identificar qual é o fundo da imagem: o vaso branco ou as duas faces se entreolhando.	18
2.3	Modelos de Memória: Em (a), o modelo <i>Multi-Store</i> (ATKINSON; SHIFFRIN, 1968) e em (b) o modelo atualizado da Memória de Trabalho (BADDELEY, 2000) que substitui a Memória de Curta Duração do modelo <i>Multi-Store</i>	21
2.4	Exemplos de representação de modelos mentais segundo a teoria de Johnson-Laird (1983). Em (a), uma possível representação para a asserção “Nenhum dos atletas é um atendente” e em (b) a alteração do modelo de (a) pela inclusão da asserção “Todos os vendedores são atletas”.	38

3.1	Exemplo da interface de controle de equipamentos de áudio e vídeo na arquitetura de (HODES et al., 1997, p.9). O excesso de controladores em uma mesma interface dificultam sua portabilidade para um dispositivo móvel com tela pequena. Mesmo que fossem apresentados controles de um único serviço por tela, a implementação das interfaces no servidor e sua renderização no cliente parece ser um processo propício para a adição de inconsistências (<i>ex.</i> : botões de ligar/desligar a luz estão invertidos em relação aos dos demais controladores e o botão do toca-fita não se encontra no grupo de seleção adequado).	50
3.2	Exemplo de telas geradas pelo Power Browser para uma página <i>web</i> de universidade (BUYUKKOKTEN et al., 2000, p.432-433). Em (a), a tela obtida após a navegação por sete links até encontrar o pesquisador de nome “Arturo” do grupo de Bancos de Dados (“ <i>Database Group</i> ”). Em (b), as informações de contato desse pesquisador obtidas através de um clique com a caneta sobre o link “ <i>Contact Information</i> ” na interface (a).	53
3.3	Exemplo de aplicação do ICrafter (PONNEKANTI et al., 2001, p.64). Em (a), o Gerenciador de Interfaces que permite a escolha dos serviços disponibilizados em uma sala ubíqua; em (b), a interface gerada com a agregação dos serviços escolhidos. Arrastar o retângulo correspondente ao laptop em (b) para o mural (canto esquerdo) ou para um dos três quadros eletrônicos (topo) faz com que o <i>site web</i> mostrado no laptop seja apresentado também nesses dispositivos.	56
3.4	Exemplo de transformação do Smartview para um <i>site</i> de notícias (MILIC-FRAYLING; SOMMERER, 2002a, p.4). Em (a), tem-se o <i>thumbnail</i> da página original particionado em seções visuais e, em (b), a visão expandida de uma delas (conteúdo central).	58
3.5	Exemplo de telas geradas pelo PIMA para uma aplicação de comércio eletrônico acessada em (a) um navegador <i>web</i> , (b) uma aplicação <i>desktop</i> ou (c,d,e) num celular (BANAVAR et al., 2004, p.233). Por serem destinadas ao mesmo dispositivo, as interfaces de (a) e (b) são muito parecidas, não revelando a necessidade de qualquer tipo de adaptação em alto nível. Por outro lado, as telas de (c), (d) e (e) mostram que a adequação às telas pequenas de celulares exige uma reestruturação da interface original.	60

- 3.6 Interface do Damask sendo usada na prototipação de uma aplicação de comércio eletrônico (LIN, 2005, p.3). Cada seta ligando um objeto a um diagrama representa um link na interface *desktop* que liga uma página *web* à outra (note que a aba de seleção de painel mostra o design relativo ao *Desktop*, mas poderia mostrar também o do *Smartphone* ou de voz - *Voice*). Na janela sobreposta, tem-se um *thumbnail* com todos os diagramas miniaturizados e a região de foco apresentada na área principal do Damask. 62
- 3.7 Exemplo de telas geradas pelo PUC para controlar duas impressoras multifuncionais da marca HP e Canon usando um *pocket PC* (NICHOLS et al., 2007, p.1284). O PUC obteve duas vezes mais eficiência e quatro vezes mais sucesso na realização de tarefas comuns do que as interfaces dos próprios fabricantes. Essa eficiência foi duas vezes maior com as interfaces (c) e (d) do que com as interfaces (a) e (b), comprovando que a consistência é um fator de grande importância para o design multi-dispositivo. 65
- 3.8 Exemplo de telas geradas pelo Gateway para um *site* de notícias (MACKAY et al., 2004, p.232). Em (a), tem-se o *thumbnail* da página original e, em (b), a visão expandida da região marcada com um círculo em (a). 67
- 3.9 Exemplo de interfaces geradas com a proposta de Banerjee para *sites* de notícias (BANERJEE et al., 2003, p.284-285). Em (a), tem-se a página principal dividida em categorias. Após expandir o link das manchetes (*Headlines*) arrastando a caneta da esquerda para a direita sobre o link, (b) mostra a tela seguinte contendo três títulos de notícias organizados como uma subcategoria das manchetes. Com a expansão do título sobre o interrogatório da polícia (*"Police question seven..."*), o usuário visualiza a tela (c) com um resumo dessa notícia (*"Seven people were been questioned..."*). Por fim, a interface em (d) oculta a estrutura hierárquica de links para apresentar a matéria completa sobre o interrogatório da polícia, resultado de um clique sobre o título dessa notícia. 70
- 3.10 Exemplo de múltiplas interfaces geradas pelo SUPPLE para uma aplicação de controle dos aparelhos de uma sala de aula: luz, projetor, computador, tela e ventilador (GAJOS; WELD, 2004, p.98). Em (a), tem-se a interface gerada para um dispositivo baseado em apontador e, em (b), a interface equivalente para uma tela sensível ao toque. Note como o gerador automático do SUPPLE faz o mapeamento espacial dos controles de luz em (a) de maneira intuitiva, o que não ocorre em (b). 73

3.11	Exemplo de telas geradas por (a) uma proposta comum de <i>thumbnail</i> e (b) o Thumbnail Resumido (LAM; BAUDISCH, 2005, p.682). Os textos legíveis de (b) permitem a leitura de boa parte da página sem a necessidade constante de acesso às visões detalhadas.	76
3.12	Exemplo de telas geradas pelo Minimap para um <i>site web</i> acessado por um navegador de <i>smartphone</i> (ROTO et al., 2006, p.38-39). Em (a), a tela correspondente à uma região da página original; em (b), a implementação do Minimap aplicada à mesma página mostrada em (a), permitindo leitura e visualização adequada dessa região; e em (c), o <i>thumbnail</i> sobreposto à tela de (b) quando o usuário utiliza a barra de rolagem. Note que a região visualizada no <i>smartphone</i> está marcada por um retângulo no Minimap. . .	78
4.1	Ciclo de atualização do modelo mental do usuário ao executar tarefas em interfaces computacionais.	91
4.2	Modelo do ciclo de vida de uma aplicação com foco nos passos da metodologia de design multi-dispositivo por prioridades de consistência.	97
4.3	Exemplo de tela do ambiente de EaD TelEduc.	98
4.4	Exemplo de tela com as avaliações atuais disponíveis no TelEduc. Ao clicar sobre qualquer avaliação, uma janela <i>popup</i> é aberta com opções para visualização de seus detalhes ou do histórico de desempenho dos participantes.100	
4.5	Modelo de tarefas obtido com a tela de avaliações atuais do TelEduc (ver Figura 4.4).	101
4.6	Exemplo de tela com a visualização dos detalhes de uma avaliação no TelEduc.102	
4.7	Modelo de tarefas estendido com a tela de visualização dos detalhes de uma avaliação atual disponível no TelEduc (ver Figura 4.6).	103
4.8	Exemplo de tela com o histórico de desempenho dos participantes do TelEduc.104	
4.9	Modelo de tarefas estendido com a tela de histórico de desempenho dos participantes do TelEduc (ver Figura 4.8).	104
4.10	Modelo de tarefas para avaliações atuais, passadas e futuras do TelEduc. .	105
4.11	Exemplo de tela com as notas dos participantes do TelEduc.	106
4.12	Modelo de tarefas da ferramenta Avaliações do TelEduc.	107
4.13	Exemplo da abordagem de Migração Direta na visualização da tela de notas dos participantes do TelEduc (Figura 4.11). Em (a), a aplicação da abordagem em uma página simples e, em (b), em uma página com <i>frames</i> . 110	

4.14	Exemplo da abordagem de Coluna Simples na visualização da tela de notas dos participantes do TelEduc (Figura 4.11). Em (a), o início da página gerada contendo o menu de ferramentas e, em (b), a matriz de notas dos alunos localizada abaixo dele. A duplicação dos itens do menu em (a) não faz parte dessa abordagem, mas resulta de uma falha do recurso <i>Fit To Screen</i> do Opera na interpretação da página original.	112
4.15	Exemplo da proposta Gateway na visualização da tela de notas dos participantes do TelEduc (Figura 4.11). Em (a), uma réplica reduzida e não-funcional da página para <i>desktop</i> e, em (b), a sobreposição do menu de ferramentas com funcionalidade completa após um toque sobre sua região no <i>thumbnail</i> de (a).	113
4.16	Exemplo da proposta de Thumbnail Resumido na visualização da tela de notas dos participantes do TelEduc (Figura 4.11). Em (a), uma réplica reduzida funcional da página para <i>desktop</i> com textos legíveis e resumidos e, em (b), a visão em detalhes da região tocada pelo usuário.	114
4.17	Exemplo de implementação da abordagem desta tese na visualização de algumas telas do TelEduc. Em (a), a tela de notas dos participantes (Figura 4.11) similar à proposta do Thumbnail Resumido mas com preservação do princípio de mapeamento; em (b), a visão em detalhes sobreposta a este <i>thumbnail</i> para evitar a perda de contexto na troca de visões; e em (c), a tela com as avaliações atuais (Figura 4.4), exemplificando a ativação do link na janela da visão detalhada. Como este procedimento de navegação é mantido por toda a interface, a consistência na execução das tarefas é mantida.	116
4.18	Primeira personalização no modelo de tarefas da ferramenta Avaliações do TelEduc para aumentar a eficiência na checagem da nota do aluno em uma dada avaliação.	119
4.19	Primeira personalização da interface do TelEduc visando eficiência na checagem da nota do aluno em uma dada avaliação.	120
4.20	Segunda personalização no modelo de tarefas da ferramenta Avaliações do TelEduc resultando na junção de sub-árvores diferentes para ganho de eficiência.	121
4.21	Segunda personalização da interface do TelEduc que elimina o menu no topo da tela e combina os seus conteúdos em busca de eficiência para checagem de notas.	121
4.22	Terceira personalização no modelo de tarefas da ferramenta Avaliações do TelEduc para equilibrar a continuidade de interação e o ganho em eficiência.	122

4.23	Terceira personalização da interface do TelEduc visando o equilíbrio entre a continuidade de interação e o ganho em eficiência.	123
5.1	Telas utilizadas no experimento para visualização das notas dos participantes do TelEduc usando cada um dos três tratamentos aplicados: (a) Migração Direta, (b) transformação Linear e (c) transformação <i>Overview</i> por prioridades de consistência.	130
A.1	Introdução aos questionários.	172
A.2	Questionário demográfico.	173
A.3	Questionário de avaliação da primeira interface na execução da primeira tarefa. O mesmo questionário foi utilizado para as demais interfaces, alterando apenas o seu título.	174
A.4	Questionário de avaliação da primeira interface na execução da segunda tarefa. O mesmo questionário foi utilizado para as demais interfaces, alterando apenas o seu título.	175
A.5	Questionário de avaliação da primeira interface na execução da terceira tarefa. O mesmo questionário foi utilizado para as demais interfaces, alterando apenas o seu título.	176
A.6	Questionário de avaliação das três interfaces na execução de uma dada tarefa. Este questionário foi aplicado após a execução de cada uma das três tarefas.	177
A.7	Questionário de avaliação da satisfação do usuário com as interfaces utilizadas, independente das tarefas executadas.	178
B.1	Exemplo de telas do TelEduc para <i>pocket PC</i> construídas manualmente usando a abordagem de transformação Linear. Em (a), a tela de acesso às ferramentas do TelEduc permite a ativação do link “Avaliações”, cuja tela em (b) garante o acesso a um dos itens de seu menu interno. Em (c), tem-se a tela com as avaliações passadas, a partir da qual pode-se acessar os submenus de visualização dos detalhes de uma delas em (d) ou o histórico de desempenho dos participantes em (e). Por último, a tela referente ao item de menu “Notas dos Participantes” é apresentada em (f).	180
D.1	<i>Pocket PC</i> utilizado no teste (modelo HP iPAQ h5500).	190

Capítulo 1

Introdução

Durante muito tempo, os principais objetivos da construção de aplicações computacionais eram a confiabilidade e eficiência dos sistemas sob a perspectiva do dispositivo para o qual eles eram construídos. Na década de 1940, por exemplo, os primeiros computadores digitais capazes de armazenar e executar listas de instruções tinham seus programas escritos tendo o hardware como o principal cliente a ser satisfeito. Eram máquinas de até 70 m² que chegavam a pesar 80 toneladas, um aparato maciço tão complexo ao ponto de provocar o desinteresse de grande parte das pessoas, exceto das grandes empresas, bancos e instituições militares. Após mais de 20 anos, em uma conferência da OTAN¹ realizada em 1968, o termo *Engenharia de Software* surgiu de maneira mais incisiva, sendo de sua responsabilidade “a criação e utilização de sólidos princípios de engenharia a fim de obter software de maneira econômica, confiável e de uso eficiente em máquinas reais” (SCIENTIFIC AFFAIRS DIVISION, 1968).

A década de 1980 trouxe os primeiros computadores pessoais (PC) além do *Design de Interação* como área de pesquisa, trazendo o usuário para o foco do processo de design de aplicações computacionais. Pouco tempo depois, as interfaces gráficas proviam um meio de comunicação humano-computador mais simples, sem grandes exigências de treinamento para o seu uso. Ainda assim, este uso restringia-se ao de um único computador com acesso a diferentes aplicações, fossem elas editores de textos, planilhas eletrônicas ou tantas outras mais. Embora tais programas pudessem ser executados em vários computadores, todos eles eram, sob o ponto de vista de interação, fundamentalmente iguais. Teclado e mouse constituíam os dispositivos de entrada padrão, juntamente com a impressora e o monitor de proporção 4:3 informando a saída do processamento realizado.

Esse cenário típico de um escritório eletrônico limitado por barreiras físicas e contextuais atinge hoje um patamar totalmente diferente. O uso de uma aplicação não se restringe mais a um dispositivo fixo, rígido e similar aos demais disponíveis sobre

¹Organização do Tratado do Atlântico Norte estabelecida em 1949 para colaboração militar.

uma mesa de trabalho. Com a miniaturização dos componentes digitais e o vasto desenvolvimento tecnológico/comercial, dispositivos como laptops, PDAs (Assistentes Digitais Pessoais), celulares, *smartphones*, pagers, dentre outros, surgiram como novas fontes de processamento de dados que rapidamente se tornaram indispensáveis para grande parte da população. Frequentemente deseja-se realizar uma mesma tarefa em situações e condições especiais, seja esta verificar o saldo bancário através de um terminal eletrônico disponível em uma esquina, por um PDA no meio de um engarrafamento de trânsito ou no conforto de casa através de uma ligação telefônica. Ambos contextos de uso e tipos de interação são totalmente diferentes do que se tinha há décadas atrás. Embora essa grande abrangência de soluções aponte para um enriquecimento nas possibilidades de interação, é necessário repensar as metodologias de design sendo empregadas até então, visto que o foco inicial no dispositivo tem sido predominante nas interfaces multi-dispositivos. Na tentativa de tirar o maior proveito possível dos diversos produtos interativos disponíveis no mercado, uma série de inconsistências vêm sendo introduzidas no processo de design, fazendo com que o usuário enxergue as várias interfaces de acesso a uma mesma aplicação como aplicações diferentes. Logo, sentimentos de frustração, insatisfação e insegurança fazem com que o usuário não desfrute das vantagens de eficiência conferidas a essas novas interfaces orientadas ao dispositivo. A seção a seguir caracteriza melhor este problema.

1.1 Cenário do Problema

Seja um sistema desenvolvido há alguns anos atrás com o objetivo de auxiliar o usuário na execução de um conjunto de tarefas através de um computador pessoal. Considere que este computador possui a configuração de um *desktop* padrão, sendo teclado e mouse seus dispositivos de entrada e um monitor para saída de dados. Agora assuma que tal sistema tenha sido construído de maneira tão adequada ao ponto de ambos os modelos de design e do usuário se tornarem iguais (NORMAN, 1986). A Figura 1.1 ilustra esse cenário.

A partir desse cenário ideal, suponha que a evolução tecnológica dos últimos anos tenha despertado no usuário o desejo de acessar esse sistema em contextos e condições diferentes, variando desde a localidade até as formas de acesso. Esta influência de mercado, responsável pela geração de novas necessidades de consumo, faz com que os desenvolvedores do sistema se preocupem em garantir o fator de mobilidade para seus usuários. Em outras palavras, o velho sistema deve prover novas formas de interação, as quais podem ser implementadas num simples celular ou num *pocket PC* mais robusto.

O problema surge quando a equipe de design se depara com essa situação não prevista anos atrás. As novas necessidades implicam em alterações significativas no software, podendo perturbar sua curva de maturidade e levar à perda de confiabilidade no uso da aplicação. Como resultado, um novo sistema é construído a partir deste. O modelo de

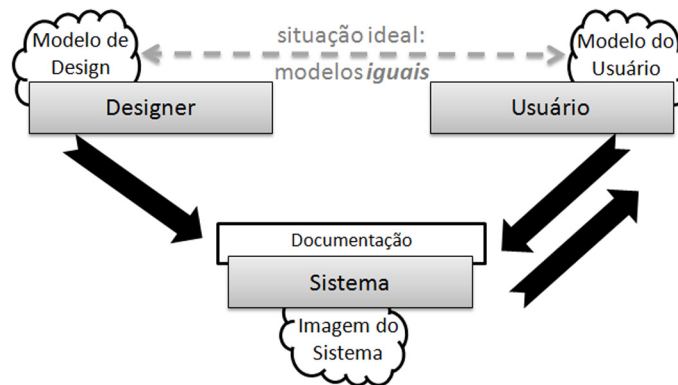


Figura 1.1: Componentes interativos do design (NORMAN, 1986, p.46). Em uma situação ideal, ambos usuário e a equipe de designers possuem a mesma compreensão do comportamento esperado da aplicação. Como resultado, a imagem do sistema reflete a harmonia de ambas as partes e o usuário interage com a interface do sistema sem ambiguidades para a tomada de decisão.

ciclo de vida encerra para uma interface e inicia para a outra, devolvendo o foco do design para o dispositivo como um regresso às abordagens da metade do século. **A principal falha vem da necessidade de adequar as tarefas às características dos novos dispositivos, fazendo com que duas interfaces de uma aplicação se tornem, aos olhos do usuário, duas aplicações diferentes.** Isso ocorre porque o usuário tenta aplicar as mesmas regras aprendidas com o sistema original na nova interface, mas esta se difere muito nos níveis de percepção e execução das tarefas. Na maioria das vezes, tais diferenças geram ambiguidades que impedem uma boa produtividade quando o usuário precisa **alternar o uso** de ambas as interfaces durante um dia de trabalho. O problema pode se intensificar ainda mais em contextos de **migração de tarefas**, nos quais o usuário inicia uma tarefa em um dispositivo mas precisa concluí-la em outro. A Figura 1.2 altera o modelo da Figura 1.1 para caracterizar a desconsideração quanto à expectativa do usuário, resultando em modelos ambíguos que comprometem a usabilidade da aplicação.

1.2 Justificativas

Algumas das principais justificativas para o estudo do problema de design de interfaces multi-dispositivos são:

- Diminuição da carga cognitiva do usuário: Se as interfaces multi-dispositivos forem compreendidas pelos usuários como extensões da interface da aplicação original de tal forma que eles possam reutilizar conhecimentos e habilidades desenvolvidas pre-

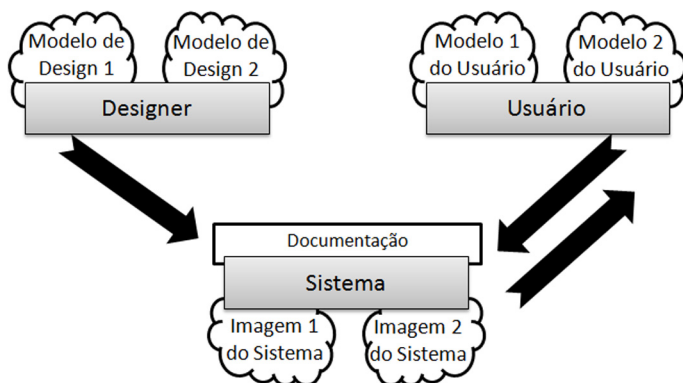


Figura 1.2: Componentes interativos do design multi-dispositivo (adaptado de Norman, 1986, p.46). Por não conseguir tomar decisões baseadas em sua experiência com a interface original, o usuário desenvolve um novo modelo ambíguo ao primeiro, o que dificulta uma interação eficiente, segura e prazerosa.

viamente, então o processo de adaptação às novas formas de interação ocorrerá naturalmente, sem a carga cognitiva extra para o reconhecimento e aprendizado de procedimentos diferentes em situações semelhantes;

- **Redução nos esforços de manutenção do software:** Várias técnicas de transformação automática têm oferecido soluções para o problema além de poupar esforços na manutenção das interfaces multi-dispositivos (PONNEKANTI et al., 2001; BERGMAN et al., 2002; NICHOLS et al., 2002; BANERJEE et al., 2003; CONINX et al., 2003; BANDELLONI et al., 2004; MACKAY et al., 2004; LAM; BAUDISCH, 2005);
- **Apoio a outras áreas de estudo:** A área de *Computação Ubíqua* tem interesse direto neste assunto para contribuir na integração do processamento de informação com os objetos e atividades do dia-a-dia (*ex.*: a área de *Gerenciamento de Informação Pessoal* pode se beneficiar de soluções para o design multi-dispositivo fornecendo maior facilidade de busca pela informação correta no local e hora certa);
- **Incentivo à pesquisa de novas técnicas de visualização de informação:** Abordagens orientadas ao usuário, como a apresentada nesta tese, provavelmente irão incentivar novas técnicas de visualização de informação na tentativa de evitar ambiguidades no processo de tomada de decisão do usuário. Alguns trabalhos já demonstram esse incentivo (FURNAS, 1986; DIEBERGER; RUSSELL, 2002; BAUDISCH et al., 2004a, 2004b; LAM; BAUDISCH, 2005; ROTO et al., 2006);
- **Estímulo comercial de novos produtos interativos:** O interesse pelos dispositivos emergentes será ainda maior quando eles representarem apenas uma forma alternativa

de interação com os velhos aplicativos, sem a criação de universos tecnológicos diferentes, incompatíveis e incomunicáveis, tanto com o usuário quanto entre si. A fração de usuários que não se empolga com o lançamento de um novo produto ou ainda aqueles que evitam ou têm fobia às tecnologias modernas também podem vir a se tornarem consumidores em potencial.

Tendo tais justificativas como incentivo ao estudo do problema de design de interfaces multi-dispositivos, apresenta-se a seguir as principais hipóteses dessa tese juntamente com a proposta que aponta para uma possível solução dos problemas identificados.

1.3 Hipóteses e Proposta

A hipótese inicial assumida por esta tese é a de que:

Não existe uma abordagem de design multi-dispositivo capaz de garantir boa usabilidade em todos os contextos porque o usuário pode escolher apenas uma forma de acesso à aplicação ou alternar seu uso por meio de vários dispositivos. No primeiro caso, o usuário aprende a usar a interface para realizar suas tarefas, sendo relevante uma abordagem que aproveita os recursos do dispositivo e trata suas limitações. No segundo caso, o usuário já conhece uma das interfaces, o que gera uma expectativa no uso das demais. Se essas interfaces estiverem adaptadas à realidade dos dispositivos e não à do usuário, pode-se ter uma perda na usabilidade da aplicação. Logo, é necessário combinar abordagens com objetivos diferentes para atender ao usuário de acordo com o seu contexto de uso.

A partir dessa hipótese, realizou-se um estudo teórico dos vários processos cognitivos do usuário, suas representações em modelos mentais e modelos de tarefas, impactos das várias dimensões de consistência em design e metodologias atuais para construção de interfaces multi-dispositivos. Deste estudo, formalizou-se uma nova hipótese de apoio à primeira:

A falta de consistência na percepção e execução das tarefas em interfaces multi-dispositivos tem gerado modelos mentais ambíguos sobre os quais torna-se difícil fazer previsões quanto aos efeitos da ativação de um mecanismo de controle ou à compreensão correta das unidades de informação de uma interface.

A partir desta última suposição, acredita-se na existência de dimensões de consistência que, quando aplicadas às interfaces multi-dispositivos, irão facilitar a migração de tarefas de um dispositivo para outro por evitarem ambiguidades nas expectativas do usuário. Sendo assim, a proposta desta tese para colaborar na solução do problema de design de interfaces multi-dispositivos pode ser formalizada como a seguir:

Esta tese propõe o design multi-dispositivo orientado a uma hierarquia de prioridades de consistência. Enquanto os dois primeiros níveis desta hierarquia dão suporte à expectativa do usuário para garantia da facilidade de aprendizado/lembrança e segurança em contextos de uso alternado e migração de tarefas, o terceiro nível garante a personalização para um dispositivo específico por meio de customização e/ou escolha de padrões criados pelo designer. A combinação destes níveis de consistência deve atender tanto os usuários de um único dispositivo, conferindo maior eficiência e satisfação de uso na execução das tarefas de maior interesse, quanto os de vários, preservando os seus modelos mentais desenvolvidos previamente com uma das interfaces.

1.4 Contribuições

As principais contribuições dessa tese são:

- **Revisão das abordagens de design:** embora não seja uma contribuição original, o referencial teórico apresenta uma revisão detalhada tanto das abordagens mais famosas de design baseado em modelos mentais quanto das de design multi-dispositivo mais relevantes nos últimos dez anos. Em ambos os casos, faz-se um resumo comparativo das mesmas, identificando suas principais diferenças. Em particular, também foi realizada uma classificação de todos os métodos de design multi-dispositivo estudados, visando uma melhor identificação das linhas de pesquisa da atualidade;
- **Proposta de uma metodologia de design multi-dispositivo:** A proposta desta tese foi apresentada sobre ambas as perspectivas teórica e prática, revelando não apenas as diretrizes para preservação das prioridades de consistência e as teorias que dão suporte à ela (*ex.*: lei do efeito do Conexionismo, constância perceptiva da Psicologia, modelos de aprendizado do Cognitivismo, *etc.*), mas também um exemplo completo de sua implementação para uma aplicação do domínio de Educação a Distância (EaD);

- **Experimento comparativo de abordagens:** Ao invés de repetir a comparação com a transformação Linear (Coluna Simples) realizada em vários trabalhos (MACKAY et al., 2004; LAM; BAUDISCH, 2005; ROTO et al., 2006), optou-se pela construção manual de uma versão Linear com qualidade superior, adaptada tanto ao dispositivo quanto aos interesses do usuário para ganho de eficiência na tarefa mais relevante. Acredita-se que a comparação dessa abordagem Linear com a abordagem proposta nesta tese é mais justa devido aos seguintes aspectos:

- garante a melhor forma de ambas as abordagens;
- mantém a abordagem Linear com foco no dispositivo;
- auxilia na conclusão quanto à importância dos três níveis de consistência, visto que esta versão Linear preserva apenas o terceiro nível (personalização) e a abordagem proposta nesta tese para contextos de uso alternado e migração de tarefas (*Overview*) mantém os dois primeiros (percepção e execução).

Embora os resultados coletados também confirmem a superioridade da abordagem *Overview* (consistência de layout) sobre a Linear em vários atributos de usabilidade, a satisfação subjetiva foi maior com a Linear por garantir personalização da tarefa de interesse. Isto não foi observado em trabalhos anteriores devido às comparações com a coluna simples, incapaz de personalizar tarefas para ganho de eficiência;

1.5 Visão Geral da Tese

A seguir, o Capítulo 2 faz uma revisão histórica dos vários conceitos envolvidos no design centrado no usuário, incluindo os processos cognitivos mais relevantes, a importância do uso de modelos mentais e a variedade de propostas destes modelos.

O Capítulo 3 discute algumas das principais metodologias de construção de interfaces multi-dispositivos da atualidade, as dimensões de abrangência da consistência para essa forma de design e suas implicações na garantia da migração ou continuidade de interação.

O Capítulo 4 detalha a proposta desta tese e reforça sua base teórica apresentando resultados de outros trabalhos que dão suporte às idéias sugeridas. Em seguida, a implementação prática desta abordagem também é exemplificada para a construção de uma aplicação do domínio de EaD.

O Capítulo 5 descreve o experimento realizado para validação empírica das hipóteses da seção 1.3, buscando identificar vantagens e desvantagens da metodologia de preservação das prioridades de consistência. Ainda nele, faz-se a discussão dos resultados obtidos bem como de suas implicações para o design de interfaces multi-dispositivos.

Por fim, o Capítulo 6 resume as principais conclusões desta tese, impactos e contribuições para áreas correlatas além de apresentar sugestões de linhas de pesquisa e questões em aberto para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Design Centrado no Usuário

Segundo Reddy (1979), o modelo da comunicação humana é baseado no que ele chama de *metáfora do conduto*: idéias ou significados são objetos, expressões linguísticas são recipientes e a comunicação é um canal ou conduto. Em resumo, o orador insere idéias em palavras e as envia por esse conduto até os espectadores. Uma vez que o significado está dentro da expressão, o recipiente precisa apenas devolvê-lo. Ou seja, o espectador não contribui em nada. É um mero receptor. Nesse modelo, o orador acredita que o significado inserido nas expressões vai ser compreendido do outro lado do conduto.

No entanto, é importante lembrar que o espectador não recebe significados, mas apenas palavras. Logo, não é direta a afirmação de que ele sempre extrai o conteúdo semântico original atribuído ao signo linguístico. A individualidade de experiências e valores pessoais fazem com que ele gere significado, seja este consistente ou não com o do orador. Em outras palavras, ***a consistência dos significados atribuídos aos diversos objetos, sejam eles palavras, sentenças, imagens ou mesmo interfaces de sistemas computacionais, não depende apenas de seu criador, mas principalmente de quem irá interagir com eles.***

Essa visão de usuário no centro do processo de interação é a essência das abordagens de *Design Centrado no Usuário* (DCU). Cabe ao designer a responsabilidade de compreender esse usuário, suas tarefas, objetivos, habilidades e experiências a fim de produzir interfaces adequadas às suas expectativas.

Quando se fala em design de interfaces multi-dispositivos, o raciocínio deve ser o mesmo. A experiência com interfaces similares deve ser reaproveitada de tal forma que ambiguidades funcionais sejam eliminadas e que o esforço cognitivo extra seja o de adaptação à nova forma de interação, mas não o de memorização dos novos procedimentos para realizar uma mesma tarefa. Do contrário, o usuário pode não apenas evitar interfaces alternativas por se sentir sobrecarregado no processo de aprendizado, mas também perder a confiança nas mesmas sempre que se comportar de maneira similar ao usar duas interfaces

e obter resultados diferentes em ambas. Retomando a metáfora de Reddy (1979), é como se o espectador compreendesse apenas uma língua mas tivesse que usar vários dicionários para traduzir as palavras que chegassem pelo conduto, escritas em outros idiomas; além da maior carga de trabalho, possivelmente o usuário construiria significados diferentes para textos ambíguos escritos em línguas diferentes.

As seções a seguir fazem uma revisão teórica de conceitos e abordagens com bases adequadas ao provimento de consistência entre essas várias “línguas”, além da redução da carga cognitiva do usuário ao lidar com elas. Os principais pontos a serem apresentados são: (1) a importância do usuário no design, (2) os processos cognitivos mais relevantes e (3) a compreensão/modelagem do usuário segundo as teorias de modelos mentais mais conhecidas.

2.1 Importância do Usuário no Design de Interação

Falar da importância do usuário no design deixou de ser uma novidade. Essa preocupação é predominante na maioria dos livros de Interação Humano-Computador (IHC) e parece ter se tornado quase que uma verdade absoluta. No entanto, o que parecia óbvio já não faz tanto sentido com a atual sobrecarga do designer na construção de interfaces multi-dispositivos para as aplicações existentes. Novas idéias e propostas para adaptação automática dessas interfaces tem surgido como uma tendência na maioria dos congressos da área. Gajos & Weld (2004) resumem os principais argumentos para isso com a seguinte frase: *“Dada a grande diversidade de tipos de dispositivos, formas dos fatores, métodos de entrada, necessidades pessoais e tipos de interação, é não-escalar para os programadores humanos criarem interfaces para cada tipo de dispositivo e todo tipo de usuário.”* Acredita-se que essa preocupação venha a se tornar cada vez mais intensa com a larga disseminação e conseqüente redução de custos desses e de outros dispositivos num futuro próximo.

Por enquanto, as principais propostas de transformação automática de interfaces foram implementadas e testadas para a *web* em empresas e universidades de grande prestígio. Algumas delas reduzem ao máximo a necessidade de transição de dados pela rede, eliminando imagens e fornecendo apenas uma estrutura de links para navegação (JONES et al., 1999b; BUYUKKOKTEN et al., 2000; BANERJEE et al., 2003). Outras se dedicam à criação de modelos abstratos para renderização adequada das interfaces em cada dispositivo (EISENSTEIN et al., 2000; BERGMAN et al., 2002; LIN; LANDAY, 2002; MORI et al., 2003; BELLOTTI et al., 2003; CONINX et al., 2003; GAJOS; WELD, 2004; HINZ et al., 2004; SOTTET et al., 2007; SANTO; ZIMEO, 2007). Uma outra parte tenta controlar os aparelhos por meio de interfaces geradas para um *smartphone* ou *pocket PC*, como se fossem um controle remoto universal (HODES et al., 1997; PONNEKANTI et al., 2001; NICHOLS et al., 2002). Por fim, tem-se aquelas que procuram manter consistência com o layout original da apli-

cação *desktop* para promover uma transição suave entre as interfaces (MILIC-FRAYLING; SOMMERER, 2002b; MACKAY; WATTERS, 2003; LAM; BAUDISCH, 2005; ROTO et al., 2006).

Cedo ou tarde, o mercado mundial irá adotar uma dessas propostas e a pergunta mais importante não é para qual delas, e sim, quais serão os efeitos disso. Uma escolha baseada em atrativos comerciais a curto prazo pode ter impactos indesejáveis caso o usuário não seja o principal beneficiário. É nesse sentido que *esta tese aponta a necessidade de identificação dos contextos de uso da aplicação. Se o usuário pretende usá-la através de um único dispositivo, a personalização de suas tarefas de interesse pode alcançar bons resultados de eficiência e satisfação de uso. Por outro lado, se o uso alternado e a migração de tarefas forem essenciais, então a criação de interfaces consistentes com a experiência prévia do usuário será mais adequada.*

Vários trabalhos recentes confirmam a importância do conceito de migração de tarefas para o design de interfaces multi-dispositivos:

- Newcomb et al. (2003) afirmam que a mobilidade do usuário acompanhada dos vários dispositivos por ele usados aumenta a necessidade de uma interface de aplicação que lhe permita trocar de dispositivo com o qual está interagindo enquanto se movimenta de um ambiente para outro. Visando uma solução aplicada à área de compras, eles propõem a migração de interfaces adaptativas com mudança de modalidade (*ex.*: de gráfica para voz) ativada não apenas por demanda, mas também automaticamente ao perceber que um sistema não pode mais dar suporte ao usuário (*ex.*: bateria esgotada).
- Bandelloni et al. (2004) definem migração como a capacidade de retornar a um estado do tempo de execução de uma interface mantendo continuidade de interação no dispositivo alvo. Eles oferecem uma solução com os mesmos objetivos de Newcomb et al. (2003): migração multi-modal por demanda do usuário ou automática devido a mudanças do ambiente.
- Denis & Karsenty (2004) apresentam uma abordagem mais completa sobre o conceito de migração, considerando que a *continuidade* em sistemas multi-plataformas existe em dois níveis: o de *conhecimento*, baseado no retorno e adaptação do conhecimento construído com o uso de outros dispositivos; e o de *tarefa*, que se refere à memória das últimas operações realizadas com o serviço independente do dispositivo usado.
- Florins et al. (2004) asseguram a importância da continuidade como uma propriedade da usabilidade e realizam um estudo mais detalhado deste conceito. Segundo eles, a continuidade deve ser considerada em três níveis distintos para sistemas multi-plataformas: *cognitivo* (mesma representação e conjunto de dados na

forma gráfica, terminológica e espacial), *perceptual* (mesma distribuição de objetos/funções entre os espaços de interação) e *funcional* (mesmas funcionalidades e suas sequências de operações).

- Pyla et al. (2006) consideram o conceito de migração de tarefas tão importante ao ponto de torná-lo uma meta para o design: “*a migração contínua de tarefas é fundamental. [...] os designers de interação têm que apresentar ao usuário uma aplicação que dê suporte à migração contínua de tarefas.*”
- Hajdukiewicz (2006) se refere ao mesmo conceito com o termo *momentum de interação*. Para ele, design efetivo e consistência são fatores essenciais no suporte à migração de tarefas porque as “pistas visuais” que permanecem invariantes entre as plataformas facilitam muito a sintonia do ser humano com o ambiente e o momentum de interação, permitindo uma adaptação de sucesso e capacidade de execução da tarefa.

Como se pode perceber, a preocupação com o suporte à migração de tarefas e o uso alternado de dispositivos tem tido grande enfoque nos últimos anos. No entanto, acredita-se que sempre irão existir grupos de usuários interessados em escolher apenas uma única forma de acesso a uma dada aplicação. Isso se deve ao fato de que **o contexto de uso é definido pelo usuário e não pelo designer**. Logo, pode ser que a solução mais completa, garantindo a continuidade da interação, não seja a mais adequada. Por isso, *esta tese argumenta que a construção de interfaces multi-dispositivos ainda deve ser feita por meio do estudo e modelagem do usuário e de suas tarefas, revelando não apenas suas capacidades e limitações cognitivas, mas também suas intenções e necessidades no uso da aplicação*. As seções a seguir tratam desse estudo.

2.2 Conhecendo o Usuário: Processos Cognitivos

Cognição (do Latin *cognoscere* ou “conhecer”) é normalmente atribuído à capacidade de processamento de informação do ser humano. Sharp et al. (2007) definem o termo de maneira bem ampla, como tudo aquilo que se passa em nossa mente ao realizar atividades no dia-a-dia. Isso envolve vários processos cognitivos, tais como pensamento, lembrança, aprendizado, tomada de decisão, visão, leitura, escrita, fala, *etc.* Logo, interagir com tecnologia envolve processos cognitivos e o estudo deles se faz importante para o design de interação a medida em que o usuário pode ser melhor investigado quanto às suas habilidades, ao que ele sabe fazer bem e ao que ele não sabe, sobre quais são suas limitações e as melhores formas de atrair sua atenção, para identificar e explicar a natureza e causas dos principais problemas encontrados por ele e, por último, na tentativa de desenvolver

teorias, ferramentas de modelagem, guias e métodos que levem ao design de melhores produtos interativos.

Norman (1993) faz uma classificação dos vários processos cognitivos distinguindo-os em dois modos gerais: *empírico* e *reflectivo*. A cognição empírica é um estado mental no qual se percebe, age e reage a eventos de forma efetiva e sem esforço, o que exige um certo grau de treinamento. É o que acontece ao andar de bicicleta, dirigir um carro ou ler um livro. Por outro lado, a cognição reflectiva envolve pensamento, comparação e tomada de decisão, o que pode levar a novas idéias. Isso acontece, por exemplo, ao raciocinar sobre as várias abordagens observadas nos livros e condensá-las em uma nova perspectiva ao escrever um outro.

Rasmussen (1987) faz uma divisão similar ao classificar o modelo humano de processamento de informação. Ele examina as funções dos sistemas criados pelos homens e a interação humana em termos da percepção do usuário e seus motivos por trás do design dos sistemas e comportamento humano (MALLOCH et al., 2006). A partir daí, descreve os comportamentos de interação como sendo:

- **Baseado em Habilidades:** Respostas contínuas, dadas em tempo real, a sinais contínuos. Envolve ações sensoriais-motoras inconscientes como aquelas empregadas no modo de cognição empírica.
- **Baseado em Regras:** Seleção e execução de procedimentos em resposta a pistas extraídas do sistema. Ocorre sempre que uma situação familiar ao indivíduo é vivida. Como o comportamento humano raramente é restrito à categoria baseada em habilidades, o modo de cognição empírica de Norman (1993) é representado neste modelo como uma mistura de interações baseadas em regras e habilidades, resultando em uma sequência automatizada de padrões sensoriais e motores.
- **Baseado em Conhecimento:** Refere-se a um nível ainda mais abstrato, no qual o desempenho é direcionado a um objetivo conceitual e o raciocínio ativo deve ser empregado antes que uma ação apropriada (baseada em habilidades ou regras) seja tomada. Ocorre sempre que o indivíduo passa por uma situação nova, nunca antes vivida.

Dos modelos apresentados, esta tese defende a idéia de que *as interfaces de uma mesma aplicação não devem exigir do usuário um comportamento que demande o modo de cognição reflectiva ou interações baseadas em conhecimento. Tais classes de processamento de informação requerem maior esforço e só devem ser requisitadas quando do uso inicial de uma das interfaces da aplicação, sendo as demais utilizadas apenas através de interações baseadas em habilidades e regras ou processos cognitivos no modo empírico.*

Segundo Sharp et al. (2007), os processos cognitivos envolvidos nessas classificações e que possuem maior importância para o estudo de design são a *atenção*, *percepção*, *memória* e *aprendizado*. Em geral, a maioria deles ocorre simultaneamente para a realização de uma atividade, razão pela qual tais processos são ditos interdependentes. Cada um deles é apresentado a seguir com maiores detalhes quanto ao conceito, sentidos humanos, principais dependências e implicações para o design.

2.2.1 Atenção

A definição de atenção mais antiga, concreta e de maior aceitação foi dada por William James em seu livro *Princípios da Psicologia*:

“Todo mundo sabe o que é atenção. É a tomada de posse feita pela mente, de forma clara e vívida, de um dentre os que parecem ser vários objetos possíveis simultâneos ou séries de pensamentos. Ela requer a retirada de certas coisas para lidar efetivamente com outras e é uma condição que tem um oposto real no estado confuso e ofuscante, que em francês é chamado de distraction e em alemão de Zerstreutheit” (JAMES, 1890).

Desde então, várias abordagens têm sido apresentadas por psicólogos para explicar o processo de construção da atenção. Segundo teóricos do *Processamento da Informação*, a atenção determina quais aspectos de uma situação poderiam entrar na mente das pessoas e serem posteriormente guardadas. Estudos indicam que, quando uma pessoa está aprendendo a realizar uma determinada tarefa, ela tem que pensar sobre o que está sendo feito e frequentemente “conversar” consigo mesma. Sendo assim, ela não pode atender a outros aspectos do ambiente, resultando na capacidade limitada de memória de trabalho. Retomando os modelos de Norman (1993) e Rasmussen (1987), por não ter experiência com a dada tarefa, essa pessoa usa do modo de *cognição reflectiva* com interação *baseada em conhecimento* na sua execução. O resultado é um foco de atenção mais restrito e altamente exigente, comprometendo a qualidade na tomada de decisão. Daí a preocupação desta tese em defender que *tal processo não se repita quando do uso das demais interfaces multi-dispositivos de uma mesma aplicação*.

Outra interpretação relevante é a visão *Vygotskyana* que prega a existência de dois tipos de atenção: *natural* e *de ordem maior* (VYGOTSKY, 1978). A atenção natural é involuntária e ligada a percepção imediata. Já a atenção de ordem maior se origina do próprio indivíduo, sendo ela simbólica e estratégica. Sharp et al. (2007) apresentam uma visão semelhante ao afirmarem que a extensão com a qual o processo de atenção se torna fácil ou difícil depende da existência de objetivos claros e da informação procurada estar em destaque no ambiente. Vygotsky propõe que durante o desenvolvimento das

crianças, a maior parte delas contam exclusivamente com a atenção natural para só mais tarde serem capazes de fazer uso de ambos os tipos de atenção. O principal responsável por essa capacitação é a internalização da linguagem. De maneira análoga, o design de interfaces móveis tem provido uma linguagem de comunicação humano-computador para os mais variados dispositivos, o que tem redirecionado o foco de atenção *de ordem maior* das pessoas para tais sistemas.

Plude & Brodeur (1994) apresentam uma abordagem de atenção percebida nas várias idades de um indivíduo, desde o período pré-natal até à sua velhice (visão *Life-Span*). Segundo eles, a atenção seletiva está organizada em torno de quatro processos: *orientação*, *filtragem*, *inspeção*, e *expectativa*. O primeiro deles, a *orientação*, envolve o alinhamento de receptores sensoriais em pontos específicos no espaço. Poucas evidências se notam no desenvolvimento desse processo vindo desde a infância (após o primeiro ano de idade de uma criança) até a idade adulta. Já o processo de *filtragem* ressalta a habilidade humana para focalizar certos atributos de um estímulo e a exclusão de outros. Em geral, esse processo é o mais famoso para definir atenção. Estudos mostram que crianças e velhos são vítimas de intrusões perceptivas involuntárias e comportamentais de outros. Acredita-se que essa mudança reflita o próprio desenvolvimento cerebral. O processo da *inspeção* é comumente exemplificado pela situação em que um indivíduo procura por seu carro em um estacionamento. Neste e em outros casos similares, a busca é feita por uma exploração visual de uma área espacial restrita, eliminando os objetos indesejados por cor, tamanho, forma, *etc.* do objeto buscado. Nessa forma de atenção seletiva, cada detalhe tem grande importância dentro da análise sistemática e a facilidade com que a executamos decresce com a velhice. Por último, o processo de *expectativa* lida com a reação aos estímulos, tal como a alteração do foco de atenção devido à expectativa gerada por uma dada observação (*ex.*: olhar para uma seta e em seguida para a região apontada por ela). Dentro da abordagem *Life-Span*, pode-se dizer que *esta tese prioriza um fluxo simplificado dos processos de atenção seletiva através do uso de uma hierarquia de prioridades de consistência no design de interfaces alternativas, evitando distrações por má orientação, ausência do objeto filtrado durante a inspeção e ambiguidades de expectativa.*

Do ponto de vista *Clínico*, Sohlberg & Mateer (1989) desenvolveram um modelo para avaliação de atenção em pacientes com várias patologias neurológicas diferentes no qual cinco atividades formam uma hierarquia com graus de dificuldade crescente. A primeira delas, chamada *Atenção Focada*, diz respeito à capacidade do indivíduo de responder a um estímulo visual, auditivo ou tátil. A segunda atividade é a *Atenção Sustentada*, que requer um comportamento de resposta consistente durante uma atividade contínua e repetitiva. O terceiro grau da hierarquia, o da *Atenção Seletiva*, demanda o mesmo comportamento de sustentação da atenção, porém em um ambiente com outros estímulos de distração; Na

quarta atividade, a *Atenção Alternativa* identifica a capacidade mental do indivíduo de alterar o foco de atenção entre tarefas com diferentes exigências cognitivas. Por último, a *Atenção Dividida* atinge o grau mais exigente de concentração por requerer a habilidade de resposta simultânea a múltiplas tarefas. Como se pode notar, a *migração de tarefas em interfaces multi-dispositivos demanda um dos mais altos níveis de atenção, fazendo-se necessário o estudo de novas propostas que facilitem essa transição.*

A Tabela 2.1 faz um resumo das principais características do processo cognitivo da atenção para o design.

Tabela 2.1: Características importantes da *atenção* no design.

Definição	Alguns Modelos	Depende de:	Implicações no design
Processo de seleção de coisas para se concentrar em um dado período de tempo (SHARP et al., 2007).	1. Processamento da Informação, 2. Vygotskyano, 3. Life-Span, 4. Clínico.	1. Metas de busca; 2. Técnicas para apresentação da informação; 3. Idade do indivíduo; 4. Motivação; 5. Estar ou não em processo inicial de aprendizado.	1. Destacar a informação quando requer atenção em um certo estágio da tarefa; 2. Evitar excesso de informação, especialmente ao usar cores, sons e gráficos; 3. Usar técnicas de visualização de informação adequadas à faixa etária do usuário.

2.2.2 Percepção

Percepção (do Latin *perceptio*, ou “ação de recolher”, “conhecimento por apreensão”) é definido em Psicologia e Ciências Cognitivas como o processo de aquisição, seleção, organização e interpretação de informação sensorial. Uma vez que cada indivíduo possui experiências e capacidades intelectuais próprias, sua percepção do mundo é diferente das outras pessoas. A interpretação dos estímulos sensoriais da visão, audição, tato, olfato e paladar é feita de acordo com o estágio de conhecimento de cada indivíduo, também chamado de *modelo mental* (mais detalhes na seção 2.3). A medida em que as pessoas adquirem novas informações, suas percepções se alteram, assim como o seus modelos mentais. Vários experimentos com percepção visual demonstram que é possível notar a mudança na percepção ao adquirir novas informações. As imagens mutáveis da Figura 2.1 exemplificam o fato de que não é o estímulo visual que muda, mas apenas a sua interpretação. Brugger & Brugger (1993) afirmam que, se a imagem da Figura 2.1b for apresentada a crianças em um domingo de Páscoa, provavelmente a maioria interpretará o desenho como sendo de um coelho; por outro lado, se fosse um domingo de outubro, é possível que elas enxergassem um pato ou qualquer ave parecida.

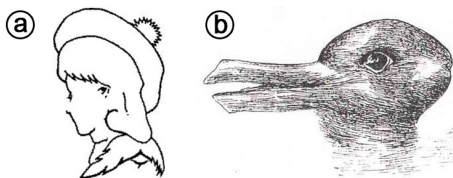


Figura 2.1: Exemplo de imagens mutáveis com diferentes interpretações perceptivas para um mesmo estímulo visual: em (a), o famoso desenho do cartunista W.E. Hill que consegue unir, em uma só imagem, as faces de três pessoas: uma garota jovem olhando ao longe à esquerda, uma senhora olhando para o chão e um senhor de bigode à direita (FISHER, 1968); em (b), a imagem ambígua de um pato e um coelho (JASTROW, 1899).

Embora tais exemplos apresentem ambiguidades de interpretação decorrentes da intenção original de seu criador, é fato que a presença e condições do observador modificam o fenômeno. A partir disso, pode-se concluir que *nem sempre a forma de apresentação da informação é fator crucial na interpretação do estímulo percebido. Contexto e estágio mental do usuário devem ser determinantes na sua tomada de decisão*. De forma análoga, um usuário que executou uma tarefa em seu computador há alguns minutos atrás e precisa repetir o processo usando um PDA ou um telefone, com certeza desejaria perceber e executar a tarefa de maneira similar devido ao contexto temporal. Mesmo que a percepção visual não seja a mesma (tela menor que de um monitor) e nem os tipos de interação para resposta ao estímulo (voz ou caneta ao invés de teclado e mouse), a conclusão para tomada de decisão deve ser *consistente*. Por exemplo, considere uma pessoa que olha para os dois lados antes de atravessar uma rua a pé e, ao verificar que nenhum veículo se aproxima, decide iniciar a travessia. Se no meio do caminho ela ouvir um ronco de motor vindo em sua direção, naturalmente ela irá acelerar o passo para chegar do outro lado com segurança. Mesmo que essa pessoa estivesse atravessando a rua de bicicleta, a conclusão seria a mesma: chegar mais rápido do outro lado, seja correndo ou pedalando com maior intensidade. Como se pode notar, *não importa a natureza dos estímulos para a tomada de decisão, mas sim que os usuários estejam aptos a fazerem as associações corretas entre eles, levando não apenas a uma mesma conclusão de tomada de decisão, mas também à utilização adequada dos mecanismos de execução disponíveis*. Daí a preocupação desta tese em manter a consistência na percepção e execução de tarefas em cada uma das interfaces multi-dispositivos desenvolvidas para uma dada aplicação.

Assim como um objeto pode dar margem a múltiplas percepções, pode ocorrer dele não gerar percepção alguma. Se o objeto não tem embasamento na realidade de uma pessoa, ela pode simplesmente não percebê-lo. Isso é o que acontece com a maioria das interfaces multi-dispositivos da atualidade. Conceitos e objetos familiares ao usuário se perdem com a reestruturação completa da interface orientada ao dispositivo, levando à

frustração de uso devido à incapacidade de percepção dos estímulos essenciais à execução de uma tarefa.

Sendo a percepção visual uma das mais relevantes para o design de sistemas computacionais, apresenta-se a seguir seus quatro princípios básicos aplicados à percepção da forma dos objetos:

- **Tendência à estruturação ou princípio do fechamento:** o mundo não é aprendido como uma soma de percepções isoladas, mas como um agrupamento ordenado de todas elas. Sendo assim, pequenas pistas de parte de um objeto são completadas pela mente como o objeto inteiro, obedecendo a leis de proximidade e semelhança (ver Figura 2.2a).
- **Segregação figura-fundo:** A percepção atua de forma seletiva. Certas partes são destacadas (figura) e as restantes deixadas de lado (fundo). Quando o designer não dá o enfoque necessário na informação de maior importância, o usuário pode sentir dificuldade para percebê-la. A Figura 2.2b mostra um exemplo onde não é possível diferenciar a figura do fundo.
- **Predominância das formas ou boa forma:** As formas simples, regulares, simétricas e equilibradas são mais facilmente percebidas que as demais.
- **Constância perceptiva:** Resultado da familiaridade adquirida com os objetos. Por serem resistentes à mudanças, as pessoas esperam que um dado objeto seja sempre percebido com o mesmo tamanho, forma e cor. Uma alteração drástica nestes atributos pode levar a uma percepção equivocada. Este princípio deixa claro a necessidade de manter consistência visual entre os objetos de várias interfaces multi-dispositivos.

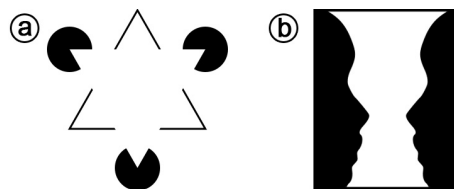


Figura 2.2: Exemplos de imagens que ilustram os princípios de fechamento e segregação figura-fundo. Em (a), o triângulo de Kaniza revela um segundo triângulo branco, composto do fechamento das falhas nas demais formas que compõem a figura. Em (b), a dificuldade em identificar qual é o fundo da imagem: o vaso branco ou as duas faces se entreolhando.

A Tabela 2.2 apresenta um resumo com as características principais da percepção e suas implicações para o design.

Tabela 2.2: Características importantes da *percepção* no design.

Definição	Alguns Modelos	Depende de:	Implicações no design
Função que atribui significado sensoriais a partir do histórico de vivências passadas.	1. Pobreza de Estímulos: “Sensações são incapazes de prover uma percepção única do mundo”; 2. Ecológica (GIBSON, 1979): rejeita noção de percepção baseada em sensações; 3. Percepção-em-Ação (HOFSTEN; LEE, 1982): “Percepção e movimento são os dois lados de uma mesma moeda, a ação”.	Outros processos cognitivos (memória, atenção e linguagem) e da interpretação individual para o estímulo.	1. Facilitar distinção do significado dos elementos de interface (textos, sons, vozes, ícones, <i>etc.</i>); 2. Tornar legíveis os textos e audíveis os sons e vozes; 3. Desenho de formas simples, regulares, simétricas e equilibradas; 4. Consistência de tamanho, forma e cor dos objetos já vistos pelo usuário.

2.2.3 Memória

Memória é a capacidade que um organismo tem de armazenar, reter e recuperar informação. Enquanto o silício constitui a matéria prima para a construção da memória dos computadores atuais, no corpo humano, essa responsabilidade se reserva aos neurônios. Estima-se que o cérebro tenha aproximadamente 100 bilhões dessas células nervosas e que cada uma delas se conecta a até outras 10 mil.

Ao contrário do modelo computacional, os neurônios não armazenam informação localizada e nem o cérebro possui espaço de armazenamento de memória (CARLING, 1992). O simples fato de vários neurônios morrerem diariamente e nenhuma informação importante ser perdida de imediato contribui para essa afirmação. Isso porque o neurônio não é a unidade atômica de armazenamento da memória humana, mas esta se manifesta através de várias reações químicas ocorridas entre um grande número dessas células. Tal diferença no “hardware” de computadores e seres humanos leva também a propriedades e capacidades diferentes para ambos. Uma delas é a recuperação de informação. Enquanto um computador consegue recuperar qualquer informação armazenada nele por ter acesso direto e localizado a cada unidade de armazenamento, essa perfeição de lembrança não é compartilhada pelas pessoas em geral. Detalhes de um evento recuperados facilmente minutos após sua ocorrência já não mais são lembrados semanas depois, embora acredita-se que ele continue armazenado. Por outro lado, as capacidades de extração de informação, identificação da ausência delas e reconhecimento de padrões visuais são algumas das principais qualidades da memória humana, invejadas por algumas áreas de pesquisa computacional. É obrigação do designer priorizar em suas interfaces a demanda por estas e outras tarefas mais simples às pessoas e repassar à máquina as que elas não sabem ou não gostam de fazer.

A classificação de memória mais simples e de maior aceitação se baseia no *tempo de retenção* da informação e é apresentada no modelo *Multi-Store* de Atkinson & Shiffrin (1968) com três classes distintas:

- **Memória Sensorial:** A informação que chega do ambiente tende a ficar, por poucos segundos, em armazenamentos sensoriais transitórios (visuais e auditivos), sendo perdida caso não receba a devida atenção. Por exemplo, a capacidade de repetir imediatamente um número de telefone que acabou de ser dito vem da memória sensorial.
- **Memória de Curta Duração:** Se a informação captada receber a atenção do indivíduo, ela vai para a memória de curta duração e pode ficar disponível lá por vários segundos ou até mesmo um minuto sem que seja necessário a realização de um treinamento para armazená-la por mais tempo. Segundo Miller (1956), a capacidade dessa memória é de 7 ± 2 aglomerados de informação. Isto significa que, por exemplo, se uma pessoa lê uma lista de números ou palavras, normalmente só consegue se lembrar de cinco a nove delas.
- **Memória de Longa Duração:** Se o indivíduo foca sua atenção para uma informação recebida e passa por um treinamento de memorização da mesma, então ela vai para a memória de longa duração, podendo ficar disponível lá para recuperação minutos depois ou mesmo durante toda a vida. Acredita-se que sua capacidade de armazenamento seja ilimitada, mas pode ser que nunca venha a ser medida devido à sua complexidade.

O relacionamento entre as classes desse modelo também pode ser compreendido pelo esquema da Figura 2.3a. Apesar de ser um dos modelos mais famosos para descrever o funcionamento da memória, ele já foi criticado por vários motivos, dentre eles: (1) a visão simplista dada à Memória de Curta Duração e (2) o estabelecimento do treinamento como a única forma de levar informação para a Memória de Longa Duração.

O primeiro motivo foi abordado por Baddeley & Hitch (1974), propondo originalmente um modelo de *Memória de Trabalho* que substituiu o conceito de Memória de Curta Duração por três componentes específicos ativos no armazenamento de memória. Recentemente, ele acrescentou mais um componente ao seu modelo (BADDELEY, 2000):

- **Gerenciamento Central:** Canaliza a informação recebida para um dos três processos: loop fonológico, notas viso-espaciais ou buffer casual.
- **Loop Fonológico:** Armazena informação auditiva realizando o treinamento silencioso de sons e palavras em um loop contínuo. Tem capacidade bem limitada, podendo ser demonstrada pelo fato de ser mais fácil lembrar-se de uma lista de palavras pequenas (*ex.*: amor, pão, dor) do que de palavras grandes (*ex.*: basquetebolístico, epistemologia, vegetarianismo).

- **Notas Viso-Espaciais:** Armazena informação visual e espacial sempre que uma tarefa relativa a elas é executada. *Ex.:* julgar a distância de um ponto a outro (espacial) ou contar o número de pessoas em um ambiente (visual).
- **Buffer Casual:** Dedicado à ligação de informação entre domínios para formar unidades integradas visuais, espaciais e verbais em ordem cronológica, tal como a lembrança de uma história ou uma cena de filme. Assume-se que o buffer casual tenha ligação com a Memória de Longa Duração e significado semântico.

O modelo da Memória de Trabalho foi capaz de explicar muitas observações práticas, tais como a facilidade de realizar duas tarefas diferentes (*ex.:* uma oral e outra visual) em contraste com duas iguais (*ex.:* duas visuais). A Figura 2.3b mostra um esquema relacionando os quatro componentes desse modelo.

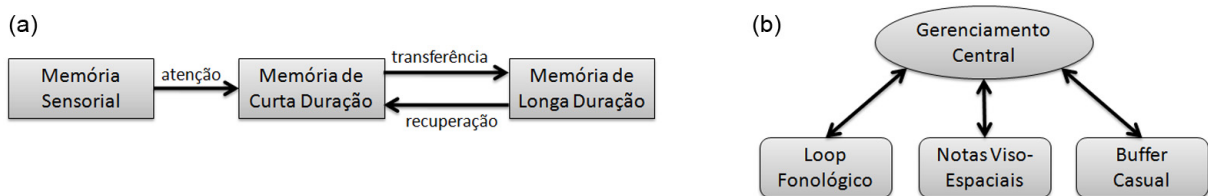


Figura 2.3: Modelos de Memória: Em (a), o modelo *Multi-Store* (ATKINSON; SHIFFRIN, 1968) e em (b) o modelo atualizado da Memória de Trabalho (BADDELEY, 2000) que substitui a Memória de Curta Duração do modelo *Multi-Store*.

O segundo motivo das críticas ao modelo *Multi-Store*, referente à necessidade de treinamento para armazenar informação na Memória de Longa Duração, foi abordado por Craik & Lockhart (1972) através do modelo de *Níveis de Processamento*. De acordo com eles, a forma com a qual uma experiência é armazenada na memória não depende do treinamento, mas do método e da intensidade de processamento da informação. Eles argumentam que a informação seja primeiramente examinada em termos visuais ou auditivos, seguido do seu significado, sendo esta última análise semântica a responsável por uma retenção prolongada da informação. Isso é revelado em um experimento de Craik & Tulving (1975), no qual os indivíduos foram capazes de reconhecer mais as palavras que exigiram análise semântica do que as que foram vistas ou escutadas.

Vários trabalhos já identificaram que a simples *organização* da informação contribui para uma melhor lembrança dos fatos, seja através da criação de categorias de palavras (BOUSFIELD, 1953; MANDLER, 1967), diagramas lógicos (BOWER et al., 1969), títulos (BRANSFORD; JOHNSON, 1972) ou perguntas apresentadas sempre no final de um capítulo (BOKER, 1974). Segundo Wittrock & Carter (1975), mesmo quando os indivíduos alteram uma hierarquia já existente, organizando os itens da forma como querem, a facilidade de lembrança é ainda maior. Este é um dos motivos pelo qual *esta tese propõe*

um papel ativo do usuário no momento da interação com interfaces multi-dispositivos. Permitir que ele escolha uma das opções de interface oferecidas pelo designer ou mesmo as entidades/tarefas mais adequadas aos seus propósitos (*ex.*: esconder itens de menu, adicionar atalhos, revelar textos completos em abordagens com sumarização de conteúdo, *etc.*), pode não apenas facilitar o processo de lembrança devido a uma maior dedicação da atenção na sua personalização, mas consequentemente motivá-lo ao uso da aplicação, aumentando a satisfação na execução das tarefas.

A Tabela 2.3 apresenta um resumo com as características principais da memória e suas implicações para o design.

Tabela 2.3: Características importantes da *memória* no design.

Definição	Alguns Modelos	Depende de:	Implicações no design
Capacidade de armazenamento, retenção e retorno de informação.	1. <i>Multi-Store</i> , 2. Memória de Trabalho, 3. Níveis de Processamento, 4. Memória Preditiva (HAWKINS, 2004): o organismo responde a predições de eventos feitas pelo cérebro baseado em dados de experiência prévia.	Um processo de filtragem: quanto mais atenção, treinamento, intensidade e organização da informação for dedicada, maior a chance de memorizá-la a longo prazo.	1. Não sobrecarregar a memória dos usuários com procedimentos complexos para as tarefas; 2. Desenvolver interfaces que promovam reconhecimento ao invés de lembrança; 3. Permitir que o usuário organize a interface; 4. Categorizar informações verbais e combiná-las com objetos visuais.

2.2.4 Aprendizado

Aprendizado é um dos processos cognitivos mais discutidos em várias áreas de estudo. Segundo a *Teoria Comportamentalista*, ele ocorre sempre que identificada uma *mudança de comportamento*. O aprendizado é então o produto de um processo, uma reação que pode ser vista ou reconhecida. Por outro lado, aprendizado também é visto como um processo de aquisição de conhecimento e habilidades que altera o comportamento *através do uso da experiência prévia*. Nessa abordagem, chamada de *Teoria Cognitivista*, o foco sai do ambiente e vai para a estrutura cognitiva interna do indivíduo, responsável pela representação e construção do conhecimento. Outras classes ou subclasses podem ser acrescentadas neste modelo de estudo dado o grande número de abordagens existentes para o aprendizado. No entanto, considerando o escopo desta tese, optou-se pela apresentação dessa divisão mais simples que contém a maioria das subclasses e facilita a identificação da colaboração desta proposta. Sendo assim, apresenta-se a seguir um resumo com as principais idéias e propostas dessas duas teorias e a conexão desses conceitos com a proposta desta tese.

A *Teoria Comportamentalista* surgiu no início do século XX e tem no primeiro parágrafo do artigo de John Watson, sobre o Manifesto Comportamentalista, uma de suas definições clássicas:

“A Psicologia, como vista pelos comportamentalistas, é uma ramificação pura e objetivamente experimental da ciência natural. Sua meta teórica é a predição e o controle do comportamento. Introspecção não forma parte essencial alguma de seus métodos, nem os valores científicos de seus dados são dependentes da prontidão com a qual eles se doam à interpretação em termos de consciência. O comportamentalista, em seus esforços para obter um esquema único de resposta animal, não reconhece qualquer linha de divisão entre o homem e o bruto. O comportamento do homem, com todo o seu refinamento e complexidade, forma apenas uma parte do esquema total de investigação do comportamentalista.” (WATSON, 1913)

Watson argumenta que experiências interiores não devem ser o foco da Psicologia por não serem observáveis. Segundo ele, o aprendizado é manifestado com a mudança de comportamento e o ambiente determina este aprendizado, uma vez que é o responsável pelo molde do comportamento do indivíduo.

Trabalhos anteriores ao de Watson também compartilham dessa rejeição aos métodos introspectivos. Thorndike (1898) criou um experimento para investigar o método usado por gatos ao tentar sair de um labirinto construído dentro de uma caixa. Se eles usassem a intuição, o tempo de fuga cairia para o mínimo de uma tentativa para a outra; mas se usassem um método comum, como a tentativa e erro, a curva de aprendizado provavelmente seria gradual. O resultado foi exatamente o último, levando Thorndike a concluir que a conexão entre a caixa e os movimentos usados pelo gato foram “fortificados” a cada fuga. A partir disso, firmou-se as bases da teoria do *Conexionismo* juntamente com a formulação da *Lei do Efeito*: respostas seguidas de conseqüências satisfatórias se tornam associadas com a situação e irão repetir com maior probabilidade quando a mesma situação for encontrada. Em acordo com a Lei do Efeito, *esta tese visa manter consistência na percepção das tarefas de uma mesma aplicação disponível em vários dispositivos para aumentar a probabilidade de uma mesma resposta por parte do usuário. Se as interfaces também mantiverem consistência na execução da tarefa, então a repetição da resposta deve levar à eficácia da interação.*

Segundo Hartley (1998), o aprendizado sob a perspectiva comportamentalista é regido por quatro princípios:

- **Atividade:** O aprendizado recebe melhor suporte quando o aprendiz é ativo e não passivo (“aprender fazendo” é desejável);

- **Repetição, generalização e discriminação:** A prática freqüente em diversos contextos é importante. Não se adquire habilidades sem a prática constante;
- **Reforço:** O uso de feedbacks positivos como recompensa às ações desejadas é mais indicado do que punir as falhas.
- **Objetivos claros:** Deve-se apresentar ao aprendiz as capacidades que irão ser adquiridas com o estudo de um determinado tema.

Com o avanço de outras áreas da ciência e o surgimento da Teoria dos Sistemas, Computação, Cibernética, Robótica e o Processamento da Informação, uma grande parte dos psicólogos e cientistas já não se contentavam mais com a Teoria Comportamentalista. Várias críticas começaram a ser feitas, principalmente acerca das limitações na explicação do comportamento animal, do desenvolvimento humano e o aprendizado da linguagem. Embora Skinner (1957) tentasse explicar este último através de sua teoria do condicionamento usando de imitação e reforço, Chomsky (1959) argumentava que a linguagem não poderia ser adquirida puramente desta forma e que seria necessário explicá-la por estados mentais internos: *“Não apenas a explicação de Skinner está errada, mas uma interpretação comportamentalista não pode jamais, em princípio, explicar a linguagem.”* A insatisfação com o excesso de foco em estímulos e observação de comportamento é bem caracterizada na frase de W. H. Auden: *“É claro que o comportamentalismo funciona. Tortura também. Me dê um comportamentalista realista anti-absurdo, algumas drogas e uns aparelhos elétricos e em seis meses eu faço ele recitar o credo Atanasiano em público.”*

A *Teoria Cognitivista* surge nesse cenário cheio de mudanças e divergências, ficando visível a influência de áreas como o Processamento da Informação na sua própria definição:

“...o termo cognição se refere a todo processo pelo qual a entrada sensorial é transformada, reduzida, elaborada, armazenada, recuperada e usada. Ele se preocupa com esses processos mesmo quando operam na ausência de estimulação relevante, tais como em imagens e alucinações... Dada uma definição tão abrangente, espera-se que a cognição esteja envolvida em tudo que um ser humano possa fazer; que todo fenômeno psicológico é um fenômeno cognitivo. Mas embora a psicologia cognitiva esteja preocupada com todas as atividades humanas ao invés de apenas uma fração delas, a preocupação é de um ponto de vista em particular.” (NEISSER, 1967)

Como se pode notar, o cognitivismo se preocupa em analisar a forma com a qual as pessoas executam tarefas mentais e na construção de modelos que expliquem esse processo. Tais modelos vêm assumindo as mais variadas formas de representação, como por

programas de computador (FEIGENBAUM; SIMON, 1984), fundamentos matemáticos (SIMON, 1957) ou esquemas de fluxo do processamento cognitivo (ANDERSON, 1976). Sobre o ponto de vista da Psicogênese, vários estágios da inteligência podem ser identificados partindo desde o nascimento até a adolescência (PIAGET, 1929), além da possibilidade de divisão da inteligência humana em vários tipos (GARDNER, 1983). Por conseguinte, o ensino se beneficiou de várias formas, seja pela proposta de um conjunto geral de condições de instrução para um aprendizado efetivo (GAGNÉ, 1985) ou pelo foco nas particularidades de cada indivíduo, responsável pela construção do conhecimento baseado em suas experiências com o mundo (BRUNER, 1973). Não demorou muito para que essa visão de aprendizado individual começasse a ser estendida para o contexto social e colaborativo, envolvendo valores culturais sobre o que pensar e como pensar (BANDURA, 1977; VYGOTSKY, 1978).

Hartley (1998) resume o aprendizado sob a perspectiva da Psicologia Cognitiva por meio dos seguintes princípios:

- **Organização:** Materiais bem organizados facilitam o aprendizado e a lembrança.
- **Estruturação:** Temas de estudo possuem estruturas inerentes que podem ser relacionadas logicamente através de suas idéias e conceitos, fazendo a conexão das partes com o todo.
- **Percepção da tarefa:** A atenção é seletiva quanto aos vários aspectos do ambiente. Logo, a forma com a qual um problema é apresentado é importante se o aprendiz deve compreendê-lo.
- **Conhecimento prévio:** Novas informações devem se ajustar ao que já é conhecido para que o aprendizado ocorra.
- **Diferenças individuais:** Pessoas diferentes requerem estilos cognitivos ou métodos de ensino diferentes para aprenderem.
- **Reforço cognitivo:** Informações sobre o sucesso ou a falha na execução de uma tarefa são mais importantes do que uma simples recompensa.

Os princípios identificados por Hartley (1998) revelam uma relação forte entre a Teoria Cognitivista e a proposta desta tese, principalmente pela importância dada ao indivíduo na compreensão e suporte ao processo de aprendizado e na forma com a qual o conhecimento é construído a partir de sua experiência prévia. Logo, *esta tese está de acordo com a base das teorias cognitivistas no que diz respeito ao aproveitamento do estágio mental do indivíduo para o aprendizado, resultando na construção do conhecimento por meio da identificação da relação das partes (múltiplas interfaces) com o todo (aplicação no*

contexto geral). Isso facilita o processo de aprendizado por dar foco no conceito principal relacionando-o com os fatos ao invés de exigir a memorização de fatos isolados. *Além disso, o indivíduo é visto como um elemento ativo responsável pela manipulação dos objetos para construção do significado, razão pela qual esta tese propõe que o usuário possa escolher padrões de interface mais adequadas aos seus interesses ou ainda personalizá-las durante a interação.* A escolha de padrões oferecidos pelo designer e tarefas relevantes à sua realidade podem contribuir para a adequação ao modelo mental de cada indivíduo, intensificando seu processo de aprendizado e aumentando a eficiência e satisfação na execução da tarefa.

A Tabela 2.4 resume as principais diferenças entre as teorias do comportamentalismo e cognitivismo.

Tabela 2.4: Comparação entre os principais aspectos das Teorias Comportamentalista e Cognitivista (MERRIAM; CAFFARELLA, 1991)

Aspecto	Teoria Comportamentalista	Teoria Cognitivista
Processo de aprendizado	Mudança de comportamento	Processo mental interno, incluindo intuição, processamento de informação, memória e percepção
Local de aprendizado	Estímulo do ambiente externo	Estrutura cognitiva interna
Princípios	1. Atividade; 2. Repetição, generalização e discriminação; 3. Reforço; 4. Objetivos claros.	1. Organização; 2. Estruturação; 3. Percepção da tarefa; 4. Conhecimento prévio; 5. Diferenças individuais; 6. Reforço cognitivo.
Propósito na educação	Produzir alteração de comportamento em uma determinada direção	Desenvolver capacidades e habilidades para aprender melhor
Papel do educador	Preparar o ambiente para extrair a resposta desejada	Estruturar conteúdo da atividade de aprendizado

A Teoria do Cognitivismo afirma que, para se aprender bem, é necessário compreender os modelos mentais usados pelas pessoas na percepção do mundo e as suposições feitas para dar suporte a esses modelos. Neste sentido, a próxima seção faz uma revisão dos principais conceitos e abordagens de modelos mentais para o Design de Interação.

2.3 Modelando o Usuário: Modelos Mentais

Iniciar o processo de construção de um produto interativo a partir do nível físico da aplicação, ou seja, definindo quais serão os objetos concretos da interface (*ex.*: menus, formulários, ícones, *etc.*) e como eles serão organizados é normalmente uma opção tentadora. Talvez porque os resultados sejam imediatos. Isso gera uma sensação de conforto por dar a impressão de que o projeto está evoluindo com o passar do tempo. No entanto,

resolver um problema de design dessa forma faz com que metas críticas de usabilidade e necessidades de usuário passem despercebidas. Por isso, é necessário que essas práticas sejam aplicadas após a compreensão da natureza do espaço do problema, o que exige elaboração do conceito que se quer criar e o porquê. Isso requer o estudo sobre como o design dará suporte às atividades do dia-a-dia das pessoas (PREECE et al., 2002, p.36).

É nesse sentido que a modelagem de usuários se faz relevante em IHC, particularmente através do uso de modelos mentais. Uma das dificuldades quanto ao estudo desse conceito é que ele tem sido aplicado de diversas formas, desde o estudo das tarefas, necessidades e capacidades do usuário para construção de um modelo de design adequado até a representação explícita da compreensão do ser humano sobre um certo domínio. Logo, quando se fala em modelos mentais, nem sempre é fácil saber exatamente do que se está falando.

Tendo em vista que o conhecimento e o envolvimento do usuário são fundamentais para o processo de design e que a teoria de modelos mentais contribui para isso, as seções a seguir esclarecem o conceito e apresentam algumas de suas abordagens mais relevantes, seguida de uma comparação entre as mesmas. Por fim, tem-se uma visão crítica sobre o uso desses modelos e a sua finalidade como solução do problema abordado por esta tese.

2.3.1 Conceito e Natureza Dinâmica

“As pessoas compreendem o mundo formando modelos mentais.” (SOWA, 1984)

O estudo de modelos mentais é uma das formas de abordar todos os processos cognitivos apresentados na seção anterior e outro de grande importância: o de *raciocínio e tomada de decisão*. A idéia de que as pessoas sustentam o aprendizado e tomam decisões baseadas em seus modelos mentais é normalmente atribuída a Kenneth Craik (1943) por ter sugerido que a mente constrói modelos em escalas menores da realidade para antecipação de eventos futuros. Duas características principais podem ser extraídas dessa idéia:

- **Construção de modelos pelo cérebro:** A grande parte dos estudiosos concorda com a visão de que as pessoas constroem algum tipo de representação interna como resultado de suas experiências. Isso pode ser verificado na maioria das definições, como a de John Carroll: *“Modelo mental é a construção cognitiva que descreve a compreensão de um indivíduo sobre um conteúdo particular de um domínio no mundo”* (PLANTINGA, 1987). Embora não se tenha conhecimento da forma exata escolhida pelo cérebro para armazenar esses modelos, acredita-se que ele faça uso de imagens ou apenas de abstrações sem formas de visualização. O objeto de armazenamento pode ser identificado por várias fontes, desde os sentidos da percepção até a imaginação ou compreensão de discussões. Em geral, cada modelo mental representa uma

possibilidade, capturando o que há de comum a todas as formas que a possibilidade possa ocorrer (JOHNSON-LAIRD; BYRNE, 2000).

- **Predição de eventos futuros:** A característica de predição adota o raciocínio indutivo, no qual o cérebro infere conclusões sobre um dado objeto ou evento baseado na interação prévia com objetos ou eventos similares. Formalmente, pode-se dizer que, *se uma proporção $\mathcal{P}$ dos membros observados de um grupo $\mathcal{G}$ possuem atributo $\mathcal{A}$, então existe uma probabilidade correspondente a $\mathcal{P}$ de que outros membros do grupo $\mathcal{G}$ terão o atributo $\mathcal{A}$ quando forem observados*. Por exemplo, se o usuário de uma aplicação multi-dispositivo está acostumado a executar uma tarefa usando uma de suas interfaces $g_i \in \mathcal{G}$ ($\mathcal{G}$ = conjunto de interfaces disponíveis para a aplicação) e sempre se depara ($\mathcal{P} = 100\%$) com a presença de um atributo $\mathcal{A}$ nessa interface, então ele espera que o mesmo atributo esteja presente nas demais interfaces da aplicação. Se essa predição não for confirmada na interação com outra interface $g_j \in \mathcal{G}/j \neq i$, então o seu modelo mental será atualizado para conter essa nova informação, reduzindo a probabilidade¹ $\mathcal{P}$ de ocorrência do atributo $\mathcal{A}$ nas demais interfaces de $\mathcal{G}$. Segundo Johnson-Laird & Byrne (2000), quanto maior o número de modelos que uma tarefa exigir e a complexidade de cada um desses modelos, menor será o desempenho do indivíduo na sua execução.

Um modelo mental impreciso sobre o funcionamento de um sistema pode levar o usuário a cometer erros. Retomando o exemplo anterior, se o atributo $\mathcal{A}$ da interface g_i for um conceito, como a necessidade de girar um botão no sentido horário para aumentar o volume de uma música, e se esse botão não está presente na interface g_j , então o usuário pode não saber o que fazer. A perda de eficiência na tomada de decisão acontece devido ao fato de que ele precisa aplicar outros modelos mentais para decidir qual é a melhor atitude a ser tomada na situação inesperada. Waern (1987) afirma que essa característica de atualização dinâmica do modelo mental existe porque o usuário altera seu modelo sobre o sistema enquanto o constrói. Segundo a sua classificação, a tomada de decisão do usuário será o resultado de um dos seguintes tipos de mudança no seu modelo mental:

- **Dinâmica de Curto Prazo:** Ocorre quando o conhecimento prévio é utilizado para solução de problemas em situações novas. No exemplo anterior, é como se um botão similar ao de g_i estivesse presente em g_j , permitindo que o usuário reuses seu conhecimento prévio com uma *analogia indutiva* entre os mecanismos de ambas as interfaces: *se $\mathcal{X}$ é similar a $\mathcal{Y}$ e se $\mathcal{X}$ possui um atributo $\mathcal{A}$, então $\mathcal{Y}$*

¹Com essa afirmação, não pretende-se estabelecer que o raciocínio humano segue uma lógica perfeita ao fazer inferências sobre o mundo, principalmente quanto à computação de probabilidades para futuras tomadas de decisão.

possui um atributo $\mathcal{A}$. Logo, ao girar o botão de g_j , o usuário espera obter o mesmo atributo $\mathcal{A}$ de g_i em g_j , ou seja, o aumento do volume da música. O esforço cognitivo de adaptação é mínimo e preciso porque ambos designer e usuário compartilham do mesmo modelo, levando a uma predição correta.

- **Dinâmica de Longo Prazo:** Nesse caso, a estrutura do modelo mental tem que ser capaz de acomodar as mudanças. Em complemento à classificação de Waern (1987), duas situações diferentes podem ser identificadas:
 - **Predição correta:** Ocorre quando o usuário precisa estender o modelo mental para incluir uma nova experiência onde sua predição inicial estava correta. Ainda sobre o exemplo anterior, é como se o botão de g_i tivesse sido substituído em g_j por dois outros, um do lado do outro, sem capacidade giratória e com os sinais $-$ e $+$ respectivamente. Após fazer a associação semântica dos símbolos com a tarefa de aumentar ou diminuir o volume da música, o usuário pressiona o botão direito de g_j na expectativa de que o mesmo atributo $\mathcal{A}$ de g_i seja verificado em g_j . Quando isso ocorre, o usuário estende seu modelo mental para armazenar a nova experiência com o conceito de botões combinados.
 - **Predição incorreta:** Ocorre normalmente quando os sistemas colocam a maior demanda no usuário, responsável por ajustar a forma com que trabalha para se adequar ao modelo do designer. Às vezes, o resultado é apenas uma frustração ou uma inconveniência, como seria a inversão dos botões na interface g_j do exemplo anterior. Embora o usuário tenha experiência prévia com o botão giratório de g_i que sempre aumenta o volume da música quando rotacionado à direita, com os botões invertidos em g_j , a música sempre diminui. Essa descoberta deve modificar a estrutura do modelo mental correspondente e pode levar a novas ambiguidades no futuro, quando outras interfaces com botões de incremento/decremento forem usadas. Embora as consequências desse erro não sejam graves, modelos mentais imprecisos para sistemas de alta complexidade, como o uso de aviões ou reatores nucleares, podem levar a sérios desastres (REASON, 1990).

Embora exista um consenso sobre essa natureza dinâmica dos modelos mentais, várias abordagens a tratam de maneira diferente, o que gera divergências em vários aspectos. A seção a seguir apresenta essas diferenças com mais detalhes.

2.3.2 Principais Abordagens

Dentro do contexto de IHC, todas as abordagens de modelos mentais concordam que os usuários constroem esses modelos quando do uso de uma aplicação computacional e que o

seu conteúdo e estrutura influenciam na forma com a qual eles interagem com o sistema. Além disso, a natureza de alteração dinâmica do modelo mental também é admitida pelas abordagens. No entanto, várias delas usam terminologias diferentes e discordam em alguns pontos, tais como: (1) o conteúdo e a estrutura do modelo mental mantido pelos usuários, (2) como esse modelo pode influenciar na interação com os sistemas e (3) a natureza do processo pelo qual esses modelos são construídos (SASSE, 1997).

Na tentativa de estabelecer um consenso geral sobre a teoria de modelos mentais em IHC, apresenta-se a seguir um resumo das principais abordagens surgidas desde a publicação dos livros de Johnson-Laird (1983) e Gentner & Stevens (1983), seguido de um comparativo entre elas.

Design Conceitual

O Design Conceitual, proposto por Norman (1983, 1986), tem no modelo mental do usuário o seu foco principal. Em resumo, quanto mais próximo for o modelo do funcionamento de uma aplicação do modelo desenvolvido pelo usuário durante a interação, mais efetiva será essa interação. Para isso, Norman sugere que o desenvolvimento da *imagem do sistema* (interface de comunicação entre usuário e computador) deve se basear em um *modelo de design* claro e conciso. Esse modelo de design deve tentar minimizar a distância entre as intenções do usuário e como elas podem ser executadas usando o sistema. Norman (1986) afirma que a melhor maneira para se alcançar esse objetivo é através de um estudo das experiências e do conhecimento prévio do usuário, do qual se poderia construir o modelo de design a partir das tarefas, necessidades e capacidades desse usuário. A Tabela 2.5 classifica os principais componentes do Design Conceitual segundo as dimensões e notações do meta-modelo geral de Nielsen (1990).

Como se pode notar pela Tabela 2.5, o *modelo do usuário* é o único que não possui uma forma física, externalizada, o que está de acordo com as definições apresentadas anteriormente sobre modelo mental. O usuário deve ser envolvido no processo de design para que esse modelo seja concretizado em análises de tarefas, comportamento e conhecimento de domínio. Outro fato curioso é a discordância quanto ao significado do termo *modelo conceitual* presente nos trabalhos de vários autores. Norman (1986) sugere que o modelo conceitual é composto do modelo de design e do modelo do usuário ($DC + UC$). No entanto, esta proposta original foi mal compreendida por vários autores, provavelmente por envolver dois modelos com naturezas diferentes (uma física e outra abstrata). Com isso, o termo passou a se referir apenas ao componente DC , como se pode verificar na definição de Johnson & Henderson (2002): “*Modelo conceitual é uma descrição em alto nível sobre como o sistema está organizado e opera.*” Preece et al. (2002) resgatam a identidade

Tabela 2.5: Design Conceitual: dimensões e notações dos principais componentes do modelo (adaptado de Sasse, 1997).

Entidade	Dimensões*	Notação**
Modelo do Usuário	Internalizado, distribuído, instanciado, específico, descritivo e dinâmico	UC
Modelo de Design	Externalizado, estrutural, genérico, específico, descritivo e estático	DC
Imagem do Sistema	Externalizado, estrutural, instanciado, específico, descritivo e estático	$C + MC$
Modelo Conceitual	Externalizado, estrutural, genérico, específico, descritivo e estático	$UC + DC$ para Norman (1986); DC para outros autores

* Seis dimensões: internalizada/externalizada, estrutural/distribuída, genérica/instanciada, geral/específica, descritiva/analítica e estática/dinâmica. Mais detalhes em Nielsen (1990).

** As notações principais para modelos de IHC usadas nesta tese são: U (usuário), D (designer), C (sistema computacional), M (manuais e documentação de C), T (tarefas executadas por U), W (ambiente no qual U realiza T), R (pesquisador que estuda todos estes elementos). Mais detalhes em Nielsen (1990).

inicial da terminologia, unindo DC e UC em sua definição de modelo conceitual: “*uma descrição do sistema proposto em termos de um conjunto de idéias e conceitos integrados sobre o que ele deve fazer, como se comportar e parecer, de forma que seja compreendido pelos usuários da maneira desejada.*”

Na tentativa de condensar em uma simples equação a proposta de um modelo de IHC, Sasse (1997) estendeu a taxonomia de Nielsen (1990) com o símbolo “ $\rightarrow$ ” e resumiu Design Conceitual na Notação 2.1:

$$D(UT) + D(UW) + R(U) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC \quad (2.1)$$

A interpretação dessa notação é feita da seguinte forma: Segundo o Design Conceitual, o modelo de design (DC) deve ser baseado nas tarefas do usuário (UT modeladas pelo designer: $D(UT)$) e em sua experiência prévia (UW modelados pelo designer: $D(UW)$), além de incorporar o conhecimento relativo aos processos cognitivos e habilidades motoras do ser humano (U investigado pelo pesquisador: $R(U)$). Como resultado, tem-se a imagem do sistema ($C + MC$), um componente instanciado do modelo de design que inclui a interface, materiais de instrução e possíveis treinamentos com os quais o usuário irá interagir e construir o seu modelo de usuário (UC).

Metáfora de Interface

Vários sistemas tentam explicar conceitos estranhos ao usuário usando termos familiares a ele. Por exemplo, nas interfaces gráficas dos sistemas operacionais da atualidade, a ação de “arrastar” um documento eletrônico para uma pasta se assemelha à tarefa real de colocar um documento em um gabinete de arquivos. Por ser uma tarefa familiar, esse

gerenciamento de dados no computador se torna uma atividade simples para o usuário. O uso da experiência prévia na construção do conhecimento dá suporte ao aprendizado e garante maior confiança na exploração da aplicação, o que irá revelar novas funcionalidades inexistentes no mundo real (*ex.*: possibilidade de criar vários atalhos para um mesmo documento, “recortar” um documento inteiro e poder “colar” em vários lugares ao mesmo tempo, *etc.*). Essa é a base da definição de *metáfora de interface* dada por Preece et al. (2002): “...*similar em alguma forma aos aspectos de uma(s) entidade(s) física(s) mas que também tem seu próprio comportamento e propriedades.*” Vários exemplos podem ser dados, tais como o termo “barra de ferramentas” para associar aplicações computacionais a um conjunto de ferramentas usadas no dia-a-dia, a comparação de uma máquina de escrever com um processador de texto ou mesma a própria metáfora *desktop*, que sugere uma interface similar a uma mesa de escritório. É importante lembrar que a metáfora se verifica não apenas nas similaridades com o mundo real, mas principalmente na sua adaptação ao incorporar um maior número de funcionalidades e comportamento próprio, como no uso de uma lixeira “em cima” de uma mesa de trabalho na metáfora *desktop*. Em outras palavras, a principal função da metáfora é iniciar o processo de aprendizado ativo do usuário (CARROLL; MACK, 1985).

Erickson (1990) recomenda um processo de três passos para a escolha de uma boa metáfora de interface:

1. Compreender o que o sistema deve fazer;
2. Identificar as partes/tarefas do sistema que são complicadas ou têm caráter crítico;
3. Propor uma metáfora que aborda essas tarefas.

Em seguida, cinco perguntas devem ser feitas para checar se a escolha da metáfora foi adequada. Se as respostas forem favoráveis, então existe uma boa probabilidade do modelo de design estar próximo do modelo do usuário:

- Quanto de estrutura é fornecida pela metáfora?
- Qual a relevância dela para o problema?
- Ela é de fácil representação?
- O usuário alvo vai conseguir entendê-la?
- Qual é a sua capacidade de extensão?

Embora o uso de metáforas seja um artifício de grande popularidade para a explicação dos fatos e mesmo na expressão de sentimentos, tendo se tornado parte da linguagem, vários autores apresentam críticas quanto ao seu uso no design de interação. Nelson (1990), por exemplo, considera que as interfaces metafóricas fazem “...uso de antigas meias idéias como muletas”. Algumas das suas principais objeções são: (1) a quebra de convenções e regras culturais, (2) a possibilidade de restrição na forma como o designer deseja abordar o espaço do problema, (3) o conflito com princípios de design na tentativa de implementar a metáfora sem condições favoráveis, (4) a dificuldade de compreensão das funcionalidades do sistema além da metáfora, (5) a eventual tradução literal de designs de baixa qualidade e (6) a limitação da imaginação do usuário na criação de novos paradigmas e modelos.

Sasse (1997) resume a proposta do modelo de metáfora de interface na Notação 2.2. Pela sua leitura, o modelo do designer sobre o conhecimento do usuário, chamado de $D(UW)$, é uma representação internalizada e genérica de um subconjunto dos conhecimentos e experiências do usuário que pode ser relevante às tarefas e ao sistema. A partir dele, a metáfora de interface é escolhida e o modelo de design DC construído, sendo sua instância $C + MC$ disponibilizada para o usuário. Este interage com o sistema e aprende a usá-lo em suas tarefas baseando-se na experiência prévia com o objeto da metáfora e incrementando ainda mais o seu modelo de usuário UC através da exploração de outras funcionalidades da interface.

$$D(UW) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC \quad (2.2)$$

Analogia de Modelo

A analogia de modelo pode ser comparada com uma metáfora de interface mais limitada, onde o domínio do conhecimento do usuário analisado pelo designer reduz sua amplitude para conter apenas o modelo mental desenvolvido na interação com um sistema computacional em específico. Em outras palavras, trata-se do mapeamento do modelo de usuário de uma aplicação para outra. Usando a taxonomia de Nielsen (1990), esse mapeamento é expresso na imagem do sistema análogo $C2 + MC2$ e o usuário faz uso de sua experiência prévia com $C1 + MC1$ ao desenvolver o modelo $UC2$ baseado em $UC1$. Wozny (1989) afirma que, com o crescimento do conhecimento em computação, maior será o número de usuários capazes de usarem analogias quando do aprendizado de novos sistemas. Em acordo com este argumento, *esta tese sugere que o desenvolvimento de interfaces multi-dispositivos é um campo ideal para o uso adequado de analogias de modelo*. A Notação 2.3 faz uma adaptação de Sasse (1997) para o resumo da proposta desta abordagem.

$$D(UC1) \rightarrow DC2 \rightarrow C2 + MC2 \rightarrow UC2 \quad (2.3)$$

Modelos Substitutos e de Mapeamento Tarefa-Ação

Young (1983) apresenta uma classificação onde o modelo do usuário de Norman (1983) é tido como o mais importante, sendo todos os outros subordinados a ele. Essa classificação trata dos mesmos componentes de interação, porém com uma terminologia ambígua em relação a de Norman (1986): *“O modelo conceitual do usuário (MCU) é uma representação ou metáfora mais ou menos definida que o usuário adota para guiar suas ações e ajudar na interpretação do comportamento do dispositivo.”* Como se pode notar, a definição do termo MCU é similar a de modelo do usuário, mas a inclusão do termo “conceitual” confunde com o modelo conceitual ($DC + UC$) de Norman (1986). De qualquer forma, essa visão centralizada no MCU vem sendo compartilhada por outros autores e deve ser o foco principal no Design de Interação: *“A coisa mais importante no design é o modelo conceitual do usuário”* (LIDDLE, 1996).

Todos os outros componentes interativos do Design Conceitual de Norman (1986) possuem um equivalente neste modelo. O modelo de design, por exemplo, recebe o nome de *MCU do designer* e a imagem do sistema é chamada de *MCU do sistema*. Além disso, Young (1983) contribuiu com a distinção de dois tipos diferentes de internalizações para o MCU, resultando em dois de seus modelos:

- **Modelos Substitutos:** São modelos mecânicos simplificados de descrição do sistema podendo ser escritos ou desenhados de maneira formal ou informal. Tais modelos podem ser usados como um substituto da interação com o próprio sistema, permitindo o desenvolvimento do modelo conceitual do usuário para predições quanto ao comportamento da interface. A principal desvantagem se dá em sistemas complexos, com os quais se tem um gasto excessivo de tempo e esforço para adquirir e manter o modelo durante o uso contínuo. A Notação 2.4 apresenta um resumo dessa abordagem (SASSE, 1997).

$$\begin{aligned}
 DC &\rightarrow MC + C; \\
 UT + UW + (MC + C) &\rightarrow UC1; \\
 UC1 + (MC + C) &\rightarrow UC2
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

- **Modelos de Mapeamento Tarefa-Ação:** Descrevem a estrutura de uma tarefa no mundo real e as ações necessárias para realizá-la no sistema, fornecendo um mapeamento direto entre tarefa e ações necessárias. Segundo Young (1983), os mapeamentos tarefa-ação devem ser a base do modelo de design (MCU do designer). Em sistemas complexos, recomenda-se a preservação da consistência para que os sub-mapeamentos de tarefas sobrepostas em mais de uma parte do sistema sejam

traduzidos no mesmo conjunto de ações. Em acordo com a abordagem de Young (1983), mas com um caráter extensivo à mesma, *esta tese propõe uma hierarquia de prioridades de consistência com a finalidade de preservar o mapeamento tarefa-ação nas várias interfaces de uma mesma aplicação. Sempre que tal mapeamento não puder ser efetivado devido à natureza divergente dos tipos de interação de cada dispositivo, a lógica de ações deve ser mantida juntamente com a viabilidade de personalização e/ou escolha de padrões de interface.* A Notação 2.5 resume o modelo do Mapeamento Tarefa-Ação (SASSE, 1997).

$$D(UT) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC \quad (2.5)$$

Modelos Estruturais, Funcionais e Distribuídos

DiSessa (1986) discute a validade do conhecimento da estrutura interna de um sistema (similar ao Modelo Substitutivo, mas chamado por ele de *Modelo Estrutural*) e de um conjunto de funcionalidades para realizar tarefas do dia-a-dia (similar ao Modelo de Mapeamento Tarefa-Ação, mas com o nome de *Modelo Funcional*). Segundo ele, os Modelos Funcionais abrangem um domínio bem mais restrito que os Modelos Estruturais, o que exige menos tempo e esforço mental para sua aquisição e aplicação. No entanto, como a maioria das aplicações possuem várias ferramentas e funcionalidades em uma só, os usuários se vêem obrigados a adquirir e gerenciar uma grande quantidade de modelos funcionais sobrepostos na realização de algumas poucas tarefas. Além disso, as pessoas não raciocinam sobre sistemas de uma maneira organizada, nem desenvolvem modelos polidos e corretos. É a partir desses argumentos que DiSessa (1986) questiona a divisão de modelos estruturais e funcionais e defende a idéia de *Modelos Distribuídos*, os quais correspondem a um aglomerado de explicações parciais mantidas pelo usuário acerca do sistema e conectadas com seu conhecimento e experiência prévia.

Tauber (1988) também critica a abordagem do Mapeamento Tarefa-Ação por não acreditar que ela possa modelar todas as funcionalidades de um sistema de maneira adequada sem fazer referência às suas características internas presentes no Modelo Substitutivo. Segundo ele, o modelo de design deve se basear em descrições formais tanto das tarefas quanto dos usuários. Essas descrições devem ser obtidas através do estudo teórico de ambas as entidades e validada através de experimentos. O papel do pesquisador na compreensão dos processos envolvidos no design é destaque nessa proposta, como pode ser verificado na Notação 2.6 (SASSE, 1997).

$$D(R(UT) + R(U)) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC \quad (2.6)$$

Mapeamento Semântico dos Espaços do Estado de União

O *Mapeamento Semântico* de Payne et al. (1990) contribui para a explicação de como o Modelo Distribuído, Subordinado e de Mapeamento Tarefa-Ação podem ser combinados. Para que o usuário construa o modelo conceitual de um dispositivo (termo utilizado para se referir ao *modelo de usuário*), ele precisa compreender a representação do dispositivo para a realização das tarefas de um domínio. Este conhecimento pode ser dividido em três componentes:

- **Espaço do Dispositivo:** Representa os possíveis estados do sistema. É a ontologia do dispositivo em termos dos objetos que podem ser manipulados e de suas inter-relações, além dos operadores para realizar as manipulações.
- **Espaço da Meta:** Representa os possíveis estados do mundo externo que podem ser manipulados pelo dispositivo. São os objetos de interesse para expressão das metas do usuário.
- **Mapeamento Semântico:** Determina como os objetos do Espaço de Metas são representados no Espaço do Dispositivo.

Segundo a hipótese dos Espaços do Estado de União, cada tarefa executada pelo usuário no mundo real e que está presente no Espaço da Meta deve ser *unida* aos correspondentes operadores no Espaço do Dispositivo. Como todos os três componentes representam construções mentais do usuário, é papel do pesquisador o estudo das formas mais apropriadas para garantir um Mapeamento Semântico efetivo pelo usuário. É neste sentido que Sasse (1997) aponta a principal característica dessa abordagem de modelos mentais como sendo a necessidade de modelar blocos de construção e mecanismos de indicação linguística. Além disso, a preocupação com a forma do Mapeamento Semântico não deve dar foco na construção do modelo de design e na imagem do sistema, mas sim no estudo das tarefas do usuário e de seus mecanismos cognitivos. A Notação 2.7 de Sasse (1997) resume a proposta de Payne et al. (1990) indicando que o modelo de tarefas que o usuário deseja executar no mundo real $U(WT)$ é inicialmente conceitualizado pelo pesquisador no Espaço da Meta $R(U(WT))$ e posteriormente mapeado no Espaço do Dispositivo $R(U(CT))$.

$$R(U(WT)) \rightarrow U(CT) \rightarrow UC \quad (2.7)$$

Modelos de Discurso

A teoria de modelos mentais de Johnson-Laird (1983) é uma das mais influentes na Psicologia Cognitiva dos últimos anos. Em resumo, ela é baseada em sua teoria de *Modelos de Discurso*, a qual é regida por três idéias principais:

- **Representação do Discurso:** Todo discurso deve ter a situação descrita referenciada por uma das seguintes formas de representação:
 - Proposicional: pedaços de informação que lembram a linguagem natural;
 - Modelo Mentais: analogias estruturais do mundo;
 - Imagem Mental: Correlações perceptivas de modelos sob um ponto de vista.
- **Significado do Discurso:** A representação linguística de um discurso juntamente com o maquinário para construção e aprimoramento dos modelos de discurso a partir dele, capturam o seu significado. O resultado é um conjunto de todas as situações possíveis em que ele pode ser descrito².
- **Julgamento do Discurso:** Um discurso é julgado verdadeiro se existir pelo menos um modelo seu que possa ser encaixado em um modelo do mundo real.

Para a compreensão dessas idéias, Johnson-Laird (1983) apresenta o seguinte exemplo de discurso: “*Uma mesa está em frente ao fogão da minha cozinha.*” A partir dessa representação linguística inicial do discurso, é possível imaginar a disposição dos objetos dentro da cozinha sem vê-los uma vez sequer. Sendo assim, a principal função da linguagem é a de capacitar o indivíduo para experimentar o mundo através de representações. Em outras palavras, o modelo de discursos não torna explícita a estrutura das sentenças, mas das situações percebidas ou imaginadas pelas pessoas (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 419).

Uma vez conferidos *representação* e *significado* ao discurso, o seu *julgamento* é feito baseado na percepção do mundo pelo indivíduo. Logo, quando uma asserção do tipo “Uma mesa está em frente ao fogão” é julgada como verdadeira, significa que ou a sua representação linguística ou o modelo baseado nessa representação puderam ser relacionados com o mundo. O indivíduo sabe que ela é verdadeira por ter realizado a comparação que depende de um modelo de sua própria criação.

A principal diferença da abordagem de modelos mentais dada por Johnson-Laird (1983) pode ser caracterizada por sua distinção de algumas das teorias mais comuns de raciocínio baseado em inferências: a de regras *Formais* e as *Específicas de Conteúdo*. A primeira delas assume que o raciocínio depende de regras formais de inferência, como as usadas em cálculos e lógica. Por usar de um procedimento puramente sintático, ela se torna “cega” ao conteúdo da premissa, dependendo unicamente de sua forma lógica. Johnson-Laird (1983) afirma que as pessoas não raciocinam dessa forma por serem muito sensíveis

²Para as teorias de psicologia, algumas asserções podem ser julgadas como verdadeiras pela análise de um número infinito de situações diferentes. Dado que a mente tem uma capacidade finita, este número infinito de modelos não pode ser armazenado. Logo, assume-se que a representação linguística inicial de uma asserção é usada para construir apenas um modelo (JOHNSON-LAIRD, 1983, cap.11), mas este serve de amostra representativa e temporária do conjunto infinito de todos os modelos possíveis da asserção.

ao conteúdo dessas premissas ao fazerem inferências. Vários trabalhos já se utilizaram dessa classe de teoria do raciocínio tanto para a construção de sistemas (REITER, 1973; ROBINSON, 1979) quanto de linguagens de programação, tais como Prolog (KOWALSKI, 1979), ALF (HANUS, 1990) e Janus (KAHN; SARASWAT, 1990). Por outro lado, as Regras Específicas de Conteúdo explicam como o conteúdo de uma premissa afeta o raciocínio, mas mesmo esta teoria ainda emprega regras de inferência para a tomada de decisão.

Ao contrário dessas propostas, Johnson-Laird (1983) argumenta que as pessoas tendem a relacionar o conhecimento relevante ao problema se a estrutura da informação é compatível com a de seu conhecimento. Logo, relevância e compatibilidade são definidas em termos do significado (conteúdo semântico) ao invés da lógica (estrutura sintática). Essa hipótese é validada através de uma série de investigações empíricas usando o modelo de tarefas de Wason & Johnson-Laird (1972), no qual apenas 12% dos indivíduos foram capazes de resolver um problema simples de lógica quando apresentado de forma abstrata e 60% resolveram uma versão equivalente usando objetos e contexto familiar.

De acordo com a proposta de Johnson-Laird (1983), os modelos mentais são representados por Modelos de Discurso onde uma asserção do tipo “*Nenhum dos atletas é um atendente*” não é armazenada e tratada como uma proposição lógica. Ao invés disso, ela pode ser representada por um modelo contendo um número arbitrário de sinais para *atletas* e outro para os *atendentes*, unidos mentalmente com o significado de que constituem conjuntos disjuntos, como exemplificado na Figura 2.4a. A Figura 2.4b mostra as alterações sofridas neste modelo pela inclusão da nova asserção “*Todos os vendedores são atletas*”. Note que os parênteses em uma das instâncias dos atletas enriquece a notação por revelar a possibilidade de que nem todos os atletas são vendedores.

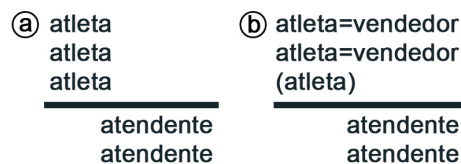


Figura 2.4: Exemplos de representação de modelos mentais segundo a teoria de Johnson-Laird (1983). Em (a), uma possível representação para a asserção “*Nenhum dos atletas é um atendente*” e em (b) a alteração do modelo de (a) pela inclusão da asserção “*Todos os vendedores são atletas*”.

A atribuição arbitrária do número de entidades de atletas e atendentes no exemplo da Figura 2.4 revela a característica de representação *instanciada* do discurso para a construção do conhecimento. Essa propriedade é condizente não apenas com o modelo do usuário proposto por Norman (ver dimensões na Tabela 2.5), mas também com todas as equivalentes apresentadas até então. Além disso, o modelo mental possui uma estrutura similar e simplificada do fenômeno representado (algumas instâncias de atletas separadas

dos atendentes), o que ajuda o indivíduo no processo de inferências. Como se pode notar, a abordagem de modelos mentais de Johnson-Laird (1983) usa de artifícios teóricos e empíricos para provar que as pessoas são capazes de realizar inferências lógicas, mas comumente tomam decisões que não podem ser explicadas em termos do raciocínio lógico.

Manktelow & Jones (1987) aplicam a teoria de Johnson-Laird (1983) sugerindo duas maneiras para a construção de um modelo mental de usuário:

- **Extensão de um Modelo Existente:** A partir do momento em que um modelo de usuário já existente é identificado pelo modelo de design ou pela interação com a imagem do sistema, todas as novas informações são codificadas em representações proposicionais integradas a ele para que a interpretação das mesmas seja feita de acordo com esse modelo. No entanto, é necessário que o modelo de usuário seja similar ao modelo de design em dois aspectos:
 - **Estrutura:** A similaridade estrutural depende do conteúdo e não da forma, como quando uma pessoa se lembra de uma classe de conhecimento que pode ser acomodada a uma determinada representação proposicional.
 - **Compatibilidade linguística:** Significa que as novas representações proposicionais devem estar codificadas de forma que seja possível identificar equivalência entre seus termos e os do modelo já existente.

Esse processo de identificação e reuso de um modelo de usuário apropriado lembra o *Modelo de Analogia*, representado em subseção anterior pela Notação 2.3: $D(UC1) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC2$. Como aplicação direta dessa proposta de Manktelow & Jones (1987) para a abordagem de Johnson-Laird (1983), *esta tese sugere que a extensão de modelos mentais existentes é uma técnica de grande utilidade para o design de interfaces multi-dispositivos dado que a preocupação em manter a similaridade de estrutura e compatibilidade linguística entre as várias representações das informações recebidas tem caráter fundamental na garantia da consistência das tarefas.*

- **Construção “de Novo”:** Na ausência de um modelo de usuário adequado para integração das novas informações, estas são armazenadas como dados brutos e estrutura sintática arbitrária. Dois fatores podem ser citados como os principais influentes na tomada de decisão do usuário baseada nessas novas representações:
 - **Número das representações proposicionais:** Mesmo um pequeno número dessas representações pode ser suficiente para saturar a memória de trabalho³ do usuário. Nesse caso, ele deve ser capaz de identificar possíveis relacionamentos entre as

mesmas, gerando um novo modelo que irá liberar espaço de memória para novas informações e ser futuramente estendido com a integração delas.

- Formato das representações proposicionais: Dado que essas representações assumem a forma original dos dados brutos, o formato de apresentação é de grande importância. Algumas sugestões incluem a manutenção da consistência linguística entre as representações e a sua construção de acordo com as heurísticas de trabalho do usuário, evitando uso de negações, palavras marcadas e suposições.

O processo de mapeamento das representações proposicionais em modelos mentais é chamado de *Semântica Procedural*. Johnson-Laird (1983) identifica cinco processos gerais e dois recursivos para realizar esses mapeamentos de maneira computacional. Os cinco procedimentos gerais incluem: (1) a criação de um novo modelo quando a proposição não faz referência a qualquer informação do modelo de mundo, (2) a adição de uma única propriedade ou relacionamento a um modelo existente, (3) a extensão de um modelo através de novas entidades, propriedades ou relacionamentos quando pelo menos uma entidade está presente no modelo, (4) a integração de dois modelos sempre que uma proposição relaciona entidades de ambas e (5) a verificação de todas as asserções feitas quando as entidades referenciadas na proposição já estão representadas no modelo atual. Por outro lado, os dois procedimentos recursivos vasculham todo o modelo construído de acordo com o resultado do julgamento da nova proposição como sendo verdadeira ou falsa. Sasse (1997) enfatiza que, por se tratar de um procedimento semântico, a avaliação de uma proposição como verdadeira ou falsa é feita em termos do significado ligado à proposição e não pelas regras sintáticas de tabelas verdade usadas em lógica.

Modelo Comunitário

Jonassen & Henning (1996) afirmam que modelos mentais são mais do que construções internas das atividades e sistemas com os quais as pessoas interagem. Segundo eles, existe um “*Modelo Mental Comunitário*” negociado socialmente que define a identidade dos membros e as atividades realizadas dentro da comunidade. O conhecimento passa a ser visto não mais como um objeto de posse individual, mas de presença marcante nas: (1) atividades realizadas pelos indivíduos, (2) relações existentes entre os membros dessa comunidade, (3) negociações estabelecidas a partir da interação discursiva entre esses membros e (4) artefatos de uso e produção na execução das atividades. Para que essa abordagem pudesse ser representada usando o meta-modelo de Nielsen (1990), sua

³Termo correspondente à memória de curta duração apresentada na seção 2.2.3.

taxonomia foi estendida através da inclusão do símbolo asterisco (*) indicando a multiplicidade do componente à sua esquerda. Com isso, a comunidade de trabalho do usuário pode ser representada por U^* . A Notação 2.8 faz uso dessa extensão e resume a proposta de Modelo Comunitário de Jonassen & Henning (1996).

$$D(U^*T) + R(U^*) + D(U^*W) + D(U^*(MT)) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC \quad (2.8)$$

Hecker (2004) também avalia a influência do contexto social comparando o processamento de informação sobre os relacionamentos entre as pessoas e sobre um único indivíduo. Seus estudos verificaram que pessoas com boas capacidades de memória e conhecimento do ambiente social direcionam o foco para implicações contextuais em casos particulares conforme o desenvolvimento de seus modelos mentais. Pistas do ambiente social se combinam com as suas habilidades de memória e influenciam na forma como elas percebem e se lembram de um relacionamento interpessoal, contribuindo para a formação de seus modelos mentais. Por outro lado, pessoas com baixas capacidades de memória não foram capazes de gerar modelos mentais, utilizando-se apenas da persistência para memorização de detalhes. Por fim, os resultados desse trabalho revelam que as características individuais de cada pessoa influenciam diretamente na importância que o fator social tem para a construção de seus modelos mentais. Isso indica que a necessidade de um tratamento personalizado mesmo em abordagens do Modelo Comunitário pode ser de grande importância.

2.3.3 Comparativo das Abordagens

Dada a natureza interdisciplinar da área de IHC, não é de se estranhar a diversidade de nomenclaturas e abordagens apresentadas na seção anterior quanto ao estudo de modelos mentais. Várias dessas propostas estão relacionadas, podendo-se destacar a proximidade ideológica dos modelos de Analogia e Metáfora, a similaridade na taxonomia dos componentes de interação de Norman (1986) e Young (1983) ou dos modelos Substituto/Mapeamento e Estrutural/Funcional de Young (1983) e DiSessa (1986) além da presença constante do modelo do usuário em todas elas. Não há como negar que o grande número de propostas coincidentes dificulta o entendimento e o consenso geral dentro do Design de Interação, mas o envolvimento de tantas áreas de pesquisa tem sido fundamental para a identificação das principais questões envolvidas nesse processo.

A Tabela 2.6 resume as diretivas de todas as abordagens apresentadas. É importante destacar que ***o estudo das capacidades e experiências do usuário juntamente com a modelagem de suas tarefas constituem a tônica na maioria das propostas. Esta é uma das razões pelas quais esta tese foi organizada de forma***

a apresentar primeiramente os principais processos cognitivos do ser humano para só então poder modelar suas necessidades, requisitos e tarefas, visando o design adequado à sua expectativa. Acredita-se que essa preocupação com o usuário e o mapeamento adequado entre sua expectativa e o processo real de percepção e execução das tarefas no sistema deve ser também o foco no design de interfaces multi-dispositivos.

2.3.4 Críticas e Projeções para o Futuro

Uma das principais críticas ao estudo de modelos mentais para o design de interfaces é quanto à sua própria definição. Enquanto alguns questionam o que realmente se pretende dizer com modelos mentais, outros assumem uma posição mais pragmática ao desaprovarem a utilidade de seu emprego, uma vez que “...boas interfaces de usuários podem ser desenvolvidas inteiramente sem fazer referência a modelos mentais” (LINDGAARD, 1988). Grant (1990) responde o argumento questionando se tais críticos também acham que é possível realizar o design de boas interfaces sem considerar as necessidades do usuário ou as formas com as quais ele pode responder à informação apresentada. Uma vez que essas perguntas estão diretamente relacionadas ao modelo do usuário, é difícil imaginar como o design de interfaces pode ser averso à base da teoria de modelos mentais.

No entanto, essa abordagem geral não é bem aceita pelos estudiosos de modelos mentais, os quais consideram que “...qualquer teoria da mente tem que ser completamente expressa dentro de termos computacionais” (JOHNSON-LAIRD, 1983). Rips (1986) afirma que, ao entender a idéia de modelos mentais de maneira literal, alguns autores acabam tentando sustentar argumentos sem grande validade, dizendo que os “modelos de trabalho” da mente ajudam a explicar como as pessoas raciocinam sobre as coisas do mundo ou que as pessoas realizam inferências lógicas do dia-a-dia usando modelos mentais ao invés de certas regras lógicas internas. Segundo ele, o conceito de modelos mentais não soluciona os grandes mistérios filosóficos e psicológicos por não oferecer qualquer vantagem *a priori* sobre as demais teorias do processo de cognição humana. Desta forma, Rips (1986) assume uma posição crítica quanto à pesquisa de modelos mentais sugerindo que ela deve ser feita de forma a explicar os fenômenos considerados ao invés de tentar obter suporte para enunciar a existência de determinadas entidades teóricas. Green (1987) também afirma que os designers devem se concentrar na identificação dos aspectos relevantes sobre o que uma pessoa precisa saber quando do uso de um sistema ao invés de tentar explicar todo o funcionamento interno da mente.

Outro argumento normalmente apresentado para a descrença no uso de modelos mentais é o de incapacidade de representação do conhecimento humano em sua totalidade. Abordagens formais como a de Johnson-Laird (1983) são normalmente criticadas pelo fato

Tabela 2.6: Comparação das principais abordagens de modelos mentais.

Modelo	Notação*	Principais Diretivas
Design Conceitual	$D(UT) + D(UW) + R(U) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC$	(1) Desenvolver o modelo de design baseado nas tarefas, requisitos, capacidades e experiência prévia do usuário; (2) Seguir os princípios de Norman (1988): visibilidade, feedback, restrições, mapeamento, consistência e <i>affordances</i> .
Metáfora de Interface	$D(UW) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC$	(1) Usar a metáfora para iniciar o processo de aprendizado ativo do usuário; (2) Buscar similaridades com o mundo real e incorporar funcionalidades e comportamento próprio; (3) Dar suporte à exploração além da metáfora.
Analogia de Modelo	$D(UC1) \rightarrow DC2 \rightarrow C2 + MC2 \rightarrow UC2$	(1) Mapear o modelo de usuário de uma aplicação para outra; (2) Tirar total proveito direto da experiência prévia do usuário com a aplicação equivalente.
Modelo Substituto (Estrutural)	$DC \rightarrow MC + C; UT + UW + (MC + C) \rightarrow UC1; UC1 + (MC + C) \rightarrow UC2$	(1) Substituir a interação por um modelo completo do sistema; (2) É usado por peritos em sistemas computacionais; (3) Apresenta dificuldade de tempo e esforço para manter o modelo em sistemas complexos.
Mapeamento Tarefa-Ação (Funcional)	$D(UT) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC$	(1) Escolher as tarefas mais importantes do mundo real a serem executadas no sistema; (2) Estabelecer as sequências de ações necessárias para cada tarefa; (3) Encontrar variantes das tarefas e mapeá-las às ações correspondentes.
Modelo Distribuído	$D(R(UT) + R(U)) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC$	(1) Descrever formalmente tarefas e usuários; (2) Validar descrições por experimentos; (3) Defender a visão distribuída do raciocínio baseada em explicações parciais (contra a divisão dos modelos estrutural e funcional).
Mapeamento Semântico	$R(U(WT) \rightarrow U(CT)) \rightarrow UC$	(1) Relacionar as entidades do espaço do dispositivo (objetos de interface e suas relações) com o espaço da meta do usuário; (2) Focar nas tarefas do usuários e seus processos cognitivos ao invés do modelo de design; (3) Modelar blocos de construção e mecanismos de indicação linguística.
Modelo de Discurso	$D(UC1) \rightarrow DC2 \rightarrow C2 + MC2 \rightarrow UC2$	(1) Representar discursos usando modelos mentais gerados a partir de proposições através da Semântica Procedural; (2) Estender um modelo existente quando pelo menos uma entidade é coincidente e quando modelos de usuário e design são similares em estrutura e compatibilidade linguística; (3) Criar um novo na ausência de um modelo adequado; (4) Ser capaz de extrair significado e julgar as representações.
Modelo Comunitário	$D(U^*T) + R(U^*) + D(U^*W) + D(U^*(MT)) \rightarrow DC \rightarrow C + MC \rightarrow UC$	(1) Identificar modelos mentais também nas atividades, relações com a comunidade, negociações com seus membros e artefatos de uso e produção; (2) Prover tratamentos personalizados para benefício com o relacionamento social.

* As notações fazem uso das extensões propostas por Sasse (1997) e esta tese, o que inclui os símbolos ($\rightarrow$) e (*) representando, respectivamente, implicação ou resultado e multiplicidade do componente à esquerda.

de que todas as alternativas devem estar explícitas (DREYFUS, 1972) e que o conhecimento implícito do ser humano não pode ser representado como um conjunto de proposições explícitas (WINOGRAD; FLORES, 1986). Em defesa de seu argumento, Johnson-Laird ressalta que uma descrição científica de como o conhecimento é adquirido, mantido e usado na interpretação do mundo não necessariamente exige uma especificação completa de todo o conhecimento. Além disso, Ringelband et al. (1987) argumentam que a obtenção de um modelo mental completo e preciso não é necessária para uma interação de sucesso com sistemas complexos.

A partir das opiniões apresentadas, é evidente que os limites para o estudo e representação do modelo do usuário ainda constituem uma incógnita e geram várias controvérsias dentro da comunidade de IHC. No entanto, é importante destacar que ***esta tese não sugere uma investigação detalhada dos mecanismos de armazenamento e manutenção da informação no cérebro, mas sugere a compreensão do modelo mental como ferramenta de apoio na segurança de uso e redução do esforço cognitivo do indivíduo quando da interação com interfaces multi-dispositivos.*** Segundo Schindler & Schuster (1987), os usuários desejam apenas adquirir conhecimento para realizar suas tarefas. Apoiado nesta e na tônica da maioria das abordagens de modelos mentais apresentadas na seção 2.3.2, ***esta tese prima pelo reuso seguro do conhecimento do modelo do usuário através da consistência de percepção e execução das tarefas em contextos diferentes.***

Por último, Bellotti (1988) faz uma crítica quanto às abordagens de design e avaliação usadas em geral dentro da área de IHC, indicando uma falta de usabilidade em suas próprias propostas. Segundo ela, as principais limitações podem ser resumidas em: baixa autonomia, pequenas equipes de design, incerteza quanto aos requisitos, acesso restrito às informações de tarefas do usuário, baixa afinidade com IHC, métodos de design altamente inflexíveis, tarefas das equipes de design altamente inflexíveis, prototipação não orientada ao usuário, pequena experiência com design orientado ao usuário, domínio de aplicação não familiar, domínio de aplicação desestruturado, limitações tecnológicas, pressão de mercado, comunicação pobre, exclusão de usuários, expansão do esboço de tarefas, ausência de padrões e *guidelines*, aplicação de solução familiar, limitações do software escrito, avaliação casual, ausência de métricas de desempenho e recursos inadequados.

Atualmente, vinte anos após a crítica aos métodos de IHC feita por Bellotti (1988), várias dessas limitações vêm sendo abordadas, principalmente quanto à criação de técnicas de design orientado ao usuário através de modelos cooperativos, participativos, contextuais, dentre outros (PREECE et al., 2002). No entanto, o avanço tecnológico tem tomado tamanhas proporções que o surgimento de vários dispositivos computacionais móveis trouxe consigo a necessidade de repensar o design de uma mesma aplicação para grande parte dessas interfaces. Como resultado, observa-se um retorno à velha proposta

de design orientado ao dispositivo, deixando mais uma vez o usuário em segundo plano. *Fatores mencionados por Bellotti (1988), tais como pressão de mercado e limitações tecnológicas, vêm influenciando no design das interfaces multi-dispositivos de maneira a torná-las o mais compatível possível com os recursos disponíveis e não com o modelo do usuário.*

Neste sentido, o próximo capítulo apresenta e discute as principais abordagens utilizadas na atualidade para o design de interfaces multi-dispositivos.

Capítulo 3

Design Multi-Dispositivo

Na década de 1980, sistemas baseados na metáfora *desktop* emergiram em grande escala como o primeiro ambiente de trabalho digital com propósitos gerais “para todos” (SMITH et al., 1982). Mesmo naquela época, várias limitações foram identificadas e novas propostas estabelecidas (MALONE, 1983; HENDERSON; CARD, 1986; LANSDALE, 1988), o que gerou discussões e debates na comunidade de IHC. Com a virada do século, novas abordagens, protótipos e sistemas de trabalho desafiando esse paradigma de programação reforçam a hipótese de que os sistemas *desktop*, como o conhecemos atualmente, representam uma fase temporária no desenvolvimento de ambientes interativos. Os sistemas futuros devem desenvolver, modificar ou até mesmo abandonar essa metáfora (KAPTELININ; CZERWINSKI, 2007, p. 1). É por isso que a preocupação com o design de interfaces multi-dispositivos não pode mais ser vista como uma opção, mas como uma necessidade.

As várias abordagens de design multi-dispositivo têm como foco principal a transição de interfaces *desktop* para telas menores, como as de PDAs e celulares. A transformação aplicada nessas novas interfaces podem remover imagens, alterar estilos, reduzir tamanhos de fonte, resumir textos ou mudar todo o layout original. MacKay et al. (2004) dividem essas transformações em três categorias:

- **Migração Direta:** Nenhuma transformação é aplicada para que o layout da interface seja mantido por completo. Sendo assim, todas as tarefas da interface *desktop* ficam disponíveis na interface com tela menor podendo ser executadas da mesma maneira. O custo dessa consistência literal na percepção das tarefas afeta diretamente a eficiência da aplicação, dado que os usuários terão de fazer uso intenso das barras de rolagem vertical e horizontal. Na divisão proposta por Richter (2005), essa classe possui uma equivalente chamada de *Transformação Conservativa* e, assim como a Migração Direta, tem como principal característica a preservação da escala do layout original na nova interface.

- **Transformação Linear:** Reconstrução da interface original para se adequar às limitações do dispositivo alvo. Se o tamanho reduzido da tela for o problema principal de adequação, então pode-se utilizar *Modificação de Dados* (MACKAY; WATTERS, 2003) para gerar longas listas lineares com textos resumidos e imagens reduzidas que não ultrapassem a largura máxima do visor. Por outro lado, se o domínio da aplicação for a Internet, por exemplo, e as limitações de transferência de dados em redes sem fio forem um agravante, a *Supressão de Dados* pode se fazer necessária através da remoção de imagens, sons, vídeos e outros conteúdos. Dentro da classificação de Richter (2005), a Transformação Linear é chamada de *Rearranjo* e usa técnicas de rotação, linearização, segmentação e paginação para adequar o conteúdo ao espaço disponível. As demais classes de Modificação e Supressão de Dados são abordadas com os nomes de *Simplificação* (redução ou substituição de conteúdo) e *Redução* (omissão de elementos) respectivamente.
- **Transformação Overview:** Visão geral de todos os conjuntos de dados da interface original que permite ao usuário escolher um ponto para o qual os dados são apresentados com boa visibilidade. Nessa abordagem, nenhuma informação é suprimida, mas pode estar em camadas, distorcida ou contraída. Várias técnicas de visualização de informação podem ser utilizadas em transformações *Overview*, tais como foco + contexto (BUYUKKOKTEN et al., 2000; SPENCE, 2007), *fish-eye* (FURNAS, 1986; BAUDISCH et al., 2004a), mapas de contexto (SPENCE, 2007), *zoom* e *pan* (BAUDISCH et al., 2004b), *thumbnail* (MACKAY et al., 2004; LAM; BAUDISCH, 2005), menu sobre informação da página (KAMBA et al., 1996), lentes de contexto (DIEBERGER; RUSSELL, 2002), dentre outras.

De uma maneira geral, essas categorias podem classificar a maioria das propostas de design multi-dispositivo da atualidade. Com o intuito de elaborar uma visão geral dessas propostas para discussão de suas contribuições, apresenta-se a seguir um resumo das principais características de cada uma delas em ordem cronológica de seu surgimento. Cada subseção trata de uma proposta específica e revela os resultados obtidos com os referidos trabalhos. Por fim, as definições e dimensões de consistência em IHC são identificadas dentro de seu contexto histórico para posterior discussão sobre suas vantagens e desvantagens de aplicação em sistemas interativos, em especial aqueles com necessidades de acesso multi-dispositivo.

3.1 Principais Propostas da Atualidade

3.1.1 Arquitetura de Hodes (Controlador Universal)

Iniciar essa apresentação de propostas de design multi-dispositivo com a arquitetura de Hodes et al. (1997) pode não ser a melhor decisão por fugir um pouco do escopo dessa tese. Embora a área de controladores universais tenha a adaptação de interfaces como uma de suas preocupações, sua aplicação ideal é destinada aos ambientes ubíquos com suporte à interação universal, ou seja, espaços de trabalho interativos com grande variedade de recursos tecnológicos interconectados para realização de atividades colaborativas. Logo, informações quanto à localização e identificação dos serviços disponíveis nestes ambientes (*ex.*: luzes, TV, projetor, quadro eletrônico, *etc.*) são de grande importância na geração das interfaces (PONNEKANTI et al., 2001). *Essa restrição de espaços de trabalho interativos está fora do escopo desta tese por limitar a necessidade de uso alternado de dispositivos e migração de tarefas em contextos móveis.* Além disso, as abordagens de interação universal têm como objetivo principal o controle de múltiplos dispositivos através de uma única interface móvel, o que não apenas restringe as possibilidades de interação, como também dificulta o estudo das influências do modelo mental do usuário desenvolvido em uma interface para reaproveitamento em outra. Ainda assim, optou-se pela apresentação das propostas mais relevantes desta área para caracterização da realidade de design multi-dispositivo em diferentes contextos de aplicação.

A arquitetura de Hodes et al. (1997) visa suporte a diferentes aparelhos e objetos controláveis uma vez que a padronização *a priori* de interfaces e métodos para a invocação de serviços é uma tarefa impraticável. Os principais componentes dessa arquitetura são: (1) garantia de mobilidade do dispositivo de controle, (2) dependência de objetos controláveis e acessíveis por meio de uma rede, (3) capacidade de descoberta de novos recursos no ambiente controlado, (4) mapeamento da interface do serviço na interface do dispositivo usando protocolos de tradução e (5) agrupamento de comportamentos individuais em comportamentos complexos dentro do sistema.

Essas características estão presentes na implementação da interação de serviços e pode ser exemplificada com o seguinte cenário: considere um cliente móvel entrando em uma região monitorada por um programa servidor chamado *beacon*. Esse beacon envia periodicamente mensagens com o endereço e número da porta do *proxy* de interação de serviços (SIP). Após o registro automático do cliente com este SIP, uma lista com todos os serviços disponíveis naquela região é enviada para o usuário, permitindo a escolha dos serviços desejados através da interface construída em seu dispositivo. Se o usuário precisa controlar os equipamentos de áudio e vídeo da sala de computação ubíqua, basta que ele clique sobre o botão correspondente para que a interface da Figura 3.1 seja mostrada.

Em um primeiro momento, pode-se concluir que a quantidade de informação apresen-

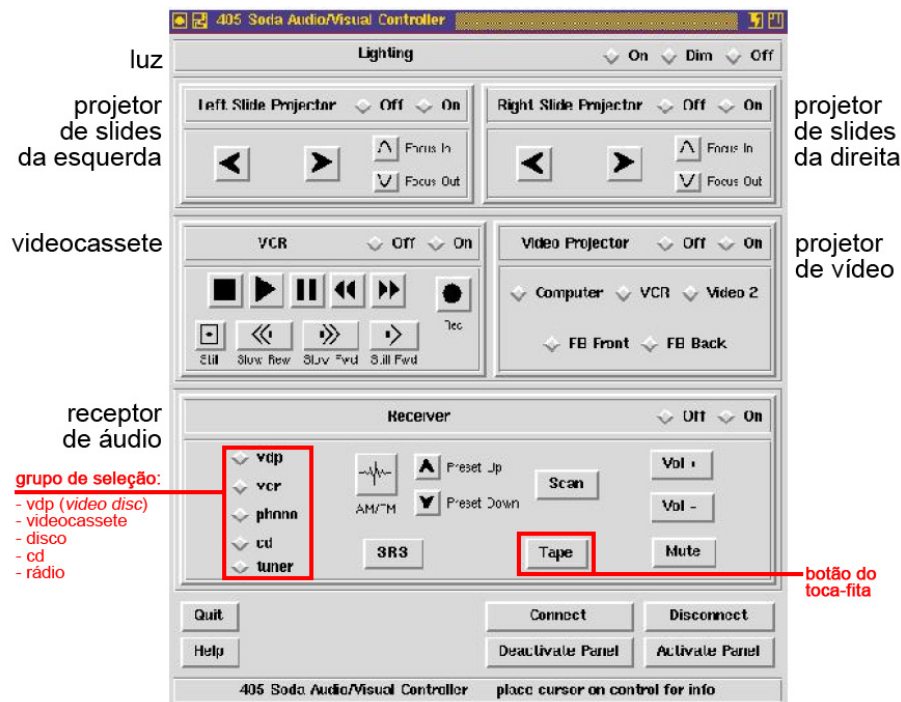


Figura 3.1: Exemplo da interface de controle de equipamentos de áudio e vídeo na arquitetura de (HODES et al., 1997, p.9). O excesso de controladores em uma mesma interface dificultam sua portabilidade para um dispositivo móvel com tela pequena. Mesmo que fossem apresentados controles de um único serviço por tela, a implementação das interfaces no servidor e sua renderização no cliente parece ser um processo propício para a adição de inconsistências (*ex.*: botões de ligar/desligar a luz estão invertidos em relação aos dos demais controladores e o botão do toca-fita não se encontra no grupo de seleção adequado).

tada nessa interface é inapropriada para um dispositivo móvel com tela pequena. Além disso, não fica claro porque todos os serviços de áudio e vídeo devem ser controlados em uma única tela, dado que nenhuma técnica de agregação de serviços é utilizada (PONNEKANTI et al., 2001). Mesmo que a interface móvel deste exemplo tivesse controles de um único serviço por tela, parece que algumas inconsistências são facilmente inseridas devido à implementação manual das interfaces no servidor para renderização no cliente. Por exemplo, o controlador do receptor de áudio mostrado na Figura 3.1 tem um grupo de seleção para permitir a entrada de som pelo VDP (*video-disc player*), videocassete, disco, CD ou rádio. No entanto, não se sabe se o botão do toca-fita deveria estar nesse grupo ou se ele realmente permite a recepção simultânea de duas origens de som. Mesmo que permitisse, a separação das demais entradas de som não parece adequada. Outra inconsistência introduzida nesta interface é a disposição invertida dos botões de ligar/desligar.

Enquanto no controlador de luz o botão de ligar está à esquerda do botão desligar, em todos os outros controladores esses botões estão invertidos. Além disso, no controlador de luz eles são separados pelo botão de escurecimento da sala (*dim*), o que pode agravar ainda mais o uso efetivo e seguro da interface.

3.1.2 WebTwig (Estrutura de Links)

WebTwig é uma ferramenta construída por Jones et al. (1999b) capaz de gerar automaticamente uma estrutura de links a partir de qualquer *site web*. Cada link de uma página é extraído e disposto dentro de uma hierarquia em forma de árvore que reflete a estrutura do *site* como um todo, permitindo ao usuário primeiramente explorar e manipular o documento em alto nível para só então atingir os detalhes da informação desejada. Essa abordagem de visualização hierárquica parece ter ganhado força para utilização no contexto móvel a partir do aprimoramento de suas primeiras versões para navegação em *desktop* (DÖMEL, 1995; JONES, 1996; NATION et al., 1997).

O experimento realizado por Jones et al. (1999a) para avaliar a eficiência de navegação com o WebTwig teve uma amostra de 26 indivíduos divididos em dois grupos de mesmo tamanho. Cada grupo executou quatro tarefas em quatro *sites* (uma tarefa por *site*), sendo que um grupo usava a página original sem qualquer adaptação e o outro usava o simulador do WebTwig. Duas tarefas exigiam uma única resposta e outras duas eram mais flexíveis. Além disso, dois dos quatro *sites* tinham boa estruturação hierárquica de suas páginas enquanto os outros dois não apresentavam qualquer profundidade vertical. Esses procedimentos foram tomados para evitar qualquer tipo de adaptação das tarefas a uma das abordagens.

Os resultados do experimento indicaram que os usuários do WebTwig completaram as tarefas 35% mais rápido que os usuários do *site* sem adaptações (nenhuma informação foi apresentada quanto à significância da diferença das médias obtidas). Em uma escala de um a nove avaliando subjetivamente a efetividade na execução das tarefas, os usuários atribuíram média sete ao WebTwig e quatro ao *site* sem adaptações. Esse melhor desempenho do WebTwig foi percebido em todas as quatro tarefas, porém com um destaque mínimo na tarefa que não exigia uma única resposta e era executada em um *site* sem estruturação hierárquica.

Uma das dificuldades conclusivas em relação a esse experimento é o fato de que as telas apresentadas pelos simuladores não eram adaptadas às restrições de tamanho típicas de um dispositivo móvel (JONES et al., 1999a). Além disso, a estrutura de links do WebTwig é tão parecida com a dos gerenciadores de arquivos mais comuns que apresenta um grande desperdício de espaço na lateral esquerda usando os botões de expansão/contração dos links. Isso leva a crer que não apenas a proposta estava longe da realidade dos disposi-

tivos móveis da época, mas também que a simulação utilizada no experimento impede a portabilidade dos resultados para o contexto móvel.

3.1.3 Power Browser (Estrutura de Link)

Power Browser é uma solução proposta por Buyukkokten et al. (2000) similar ao WebTwig (JONES et al., 1999b) que permite navegação *web* eficiente em PDAs com capacidades limitadas, tais como pequena largura de banda para transmissão de dados, baixa resolução de tela e lentidão de processamento. Essas eram grandes preocupações no final do século XX, uma vez que os processadores desses dispositivos tinham capacidade similar aos *desktops* do início da década de 1990. A alternativa comumente empregada era a de relocação da demanda computacional atribuída ao cliente móvel para um servidor proxy. Na proposta do Power Browser, esse servidor é o responsável pela busca de páginas *web* e a geração dinâmica de visões resumidas, incluindo a criação de uma estrutura de links organizados em árvore (similar a dos gerenciadores de arquivos, porém sem o desperdício de espaço para o desenho das pastas). Dessa forma, os PDAs precisam baixar apenas a estrutura dos links da página sem qualquer conteúdo originalmente incluído nelas, reduzindo significativamente a quantidade de dados trafegada pela rede. A navegação pelos links para sua expansão e contração é feita através de movimentos com a caneta do PDA nos sentidos *esquerda-direita* e *direita-esquerda* respectivamente. Quando o usuário deseja visualizar o conteúdo de uma página, um clique com a caneta sobre o link correspondente revela a página adaptada ao dispositivo (imagens e espaços podem ser excluídos e o texto original reformatado). A Figura 3.2 mostra um exemplo de uso do Power Browser.

Em um experimento inicial para checar o desempenho dessa proposta comparada a outras abordagens de navegadores *web* nas quais as similaridades com a página original tentam ser mantidas (ProxyWeb¹, PalmScape² e HandWeb³), o Power Browser se mostrou aproximadamente três vezes mais eficiente para a execução de uma tarefa envolvendo a navegação por oito links dentro de um *site*. É importante destacar que a eficiência na execução dessa tarefa estava totalmente ligada às capacidades de transferência de dados da rede e não na interação do usuário, visto que a sequência de links era conhecida.

Com a intenção de avaliar a eficiência sobre o ponto de vista de um usuário típico do sistema, dez alunos de graduação em Física, Psicologia e Ciência da Computação participaram de um segundo experimento no qual teriam de executar três tarefas diferentes com o Power Browser e outras três com o seu melhor concorrente do primeiro experimento, o ProxyWeb. Em média, o Power Browser levou 45% menos tempo para a realização das tarefas e a necessidade de realizar movimentos e ações com a caneta foi reduzida em 42%.

¹<http://www.proxinet.com>

²<http://palmscape.ilinx.co.jp>

³<http://www.smartcodesoft.com>

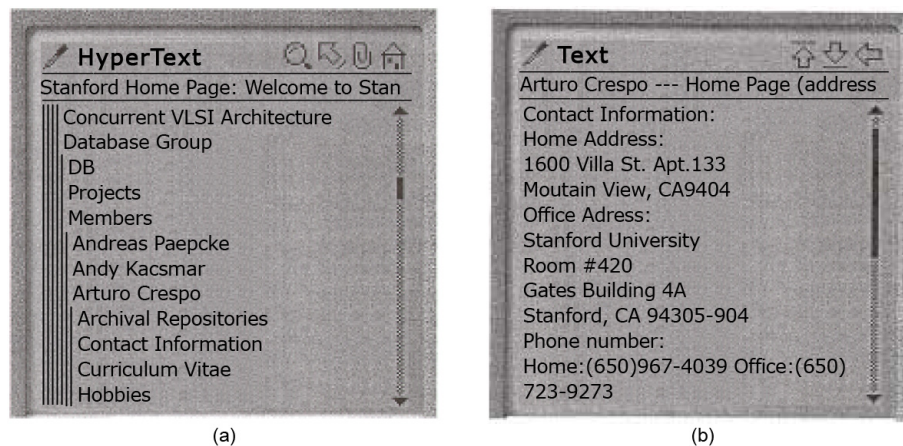


Figura 3.2: Exemplo de telas geradas pelo Power Browser para uma página *web* de universidade (BUYUKKOKTEN et al., 2000, p.432-433). Em (a), a tela obtida após a navegação por sete links até encontrar o pesquisador de nome “Arturo” do grupo de Bancos de Dados (“*Database Group*”). Em (b), as informações de contato desse pesquisador obtidas através de um clique com a caneta sobre o link “*Contact Information*” na interface (a).

No entanto, o trabalho não deixa claro se essas diferenças foram devido à facilidade de uso da proposta dos autores ou ao atraso significativo imposto pelo envio de páginas completas para o ProxyWeb em relação à estrutura textual de links do Power Browser. Dado que a rede do experimento usava um modem com velocidade nominal de 19kbps, a lentidão na transmissão de dados, juntamente com a maior demanda de processamento de imagens no ProxyWeb, podem ter sido os fatores principais da melhor eficiência verificada com o Power Browser.

3.1.4 Técnicas de Eisenstein (Interface Adaptável)

Eisenstein et al. (2000) definem *Interface Adaptável* como sendo toda interface de usuário capaz de mudar dinamicamente em resposta a um novo contexto. Essa adaptação pode ser feita de maneira automática durante o processo de design ou em tempo de execução. Para isso, é necessário o uso de uma linguagem de modelagem de interfaces de usuários que seja declarativa (compreensível mesmo na ausência do software de suporte à linguagem), formal (capaz de ser analisada por um outro programa) e independente de plataforma (pode ser convertida em um código executável adaptado a diferentes plataformas). A linguagem MIMIC (PUERTA, 1996) possui todas essas características e é adotada nesta abordagem por dar enfoque nos três componentes de modelos considerados mais relevantes para a computação móvel: plataforma, apresentação e tarefas. O *Modelo de Plataforma* descreve os vários sistemas computacionais com relação às restrições impostas pela plataforma na

interface. Por exemplo, uma redução na velocidade de transmissão de dados pode ser identificada em tempo de execução por este modelo e a interface responder de maneira apropriada (*ex.*: substituindo imagens por textos). Já o *Modelo de Apresentação* descreve a aparência visual da interface, como a hierarquia de janelas, componentes de interação, escolhas de estilos e localização dos componentes. Por último, o *Modelo de Tarefas* é uma representação estruturada das tarefas que o usuário deseja realizar com o software. Ele deve ser decomposto hierarquicamente em sub-tarefas e as informações a respeito dos seus objetivos, pré e pós-condições devem ser fornecidas.

As três técnicas desenvolvidas por Eisenstein et al. (2000) para o design de interfaces adaptáveis baseada nestes modelos são:

- **Objetos abstratos de interação (AIO):** Um objeto de interação é qualquer elemento que permite ao usuário visualizar ou manipular informação ou ainda executar uma tarefa interativa. Em particular, os AIOs possuem uma representação genérica não executável em qualquer plataforma, o que os tornam completamente portáteis. Por exemplo, um botão é um AIO e as suas implementações específicas para ActiveX⁴, PDA ou WML⁵ são objetos concretos de interação (CIO).
- **Adaptação às restrições de interação:** Considerando-se a limitação de tamanho e resolução das telas de dispositivos móveis, três parâmetros devem ser considerados:
 - Seleção adaptativa de objetos de interação: Pode ser feita através da redução de tamanho dos objetos de interação mantendo sua usabilidade (*ex.*: mínimo de seis caracteres em um campo de texto com barra de rolagem e altura de uma fonte legível de oito pixels) ou pela troca do objeto por outro equivalente com menor demanda de espaço (*ex.*: um botão de seleção booleana ao invés de dois botões de escolha, uma caixa de seleção ao invés de uma lista de itens);
 - Seleção da estrutura de apresentação: Uso de um agente mediador inteligente para selecionar dinamicamente o modelo de apresentação apropriado para cada dispositivo de acordo com a quantidade de espaço disponível. Para isso, é necessário o uso de uma linguagem de especificação das regras de mapeamento;
 - Geração da estrutura de apresentação: Considerando-se que uma Unidade de Apresentação (PU) é composta por várias Janelas Lógicas (LW) e que estas possuem um agrupamento de AIOs, uma ferramenta de design automatizada deve ser capaz de gerar apresentações otimizadas para cada plataforma usando duas estratégias: remodelagem de LWs em PUs (*ex.*: desagrupar uma LW em várias LWs menores) ou remodelagem de AIOs em LWs (*ex.*: separar AIOs

⁴Conjunto de tecnologias para desenvolvimento de páginas *web* dinâmicas.

⁵Linguagem de marcador para redes sem fio.

contidos em uma caixa de agrupamento em caixas menores ou em AIOs individuais).

- **Foco em contexto de uso:** Um dispositivo pode ser específico para a realização de apenas um subconjunto do modelo de tarefas (*ex.*: ver informações de direção em um celular ao dirigir um carro e abandonar tarefas de anotação apropriadas ao PDA ou *desktop*). Sendo assim, o designer deve criar mapeamentos entre plataformas e tarefas e destas para os respectivos layouts de apresentação.

As técnicas apresentadas revelam que a consistência de layout entre as interfaces de uma mesma aplicação não tem qualquer importância na abordagem de Interfaces Adaptáveis. Ao invés disso, o contexto de uso e as limitações de cada dispositivo assumem o foco do design, fazendo com que uma mesma aplicação tenha interfaces bem diferentes em um *desktop*, PDA ou celular, por exemplo. No entanto, *enquanto o contexto de uso apontar um conjunto de tarefas para um único dispositivo e não para vários, a preocupação desta tese quanto à percepção e execução das tarefas não deve ser considerada relevante*. Neste caso, embora o domínio da aplicação possa ser o mesmo, cada dispositivo possui recursos diferentes que irão particionar a aplicação em várias. Logo, não há porque se preocupar com o reuso do modelo mental dado que as tarefas realizadas em dispositivos diferentes também serão diferentes. Por outro lado, se essa partição de tarefas entre as plataformas não for mantida, várias metas de usabilidade poderão ser violadas em contextos de uso alternado e migração de tarefas devido ao excesso de foco na adaptação às restrições do dispositivo.

3.1.5 ICrafter (Controlador Universal)

O ICrafter é um framework de serviços proposto por Ponnekanti et al. (2001) capaz de fornecer não apenas uma infraestrutura de suporte para seleção, geração e adaptação de interfaces, mas também a *agregação* de serviços em tempo de execução (*ex.*: combinar controles de ligar/desligar tanto para as luzes quanto para o projetor de uma sala) e maior facilidade na criação de interfaces que refletem o *contexto do espaço de trabalho* (*ex.*: uso de informação contextual indicando a posição física dos dispositivos para mapeamento de seus controles na interface). Essas características aprimoram a arquitetura sugerida por Hodes et al. (1997) na qual os controladores de vários serviços podem ser agrupados em uma mesma interface porém sem agregação de suas funcionalidades. Além disso, informações sobre o espaço de trabalho facilitam a identificação dos serviços nas interfaces geradas.

A utilização do framework é exemplificada pelos autores da seguinte forma: considere que um usuário tenha entrado numa sala de computação ubíqua com seu laptop e iniciado o interpretador da linguagem de especificação de interface do ICrafter. Com isso,

o interpretador requisita sua interface ao Gerenciador de Interfaces (GI) que atende ao pedido, permitindo ao usuário escolher o conjunto de serviços que deseja utilizar: mural, três quadros eletrônicos e o seu laptop (ver Figura 3.3a). Em seguida, o GI constrói a interface apresentada na Figura 3.3b mostrando uma visão aérea da sala com uma mesa na região central (retângulo branco com bordas arredondadas). Nesse exemplo, a agregação dos vários serviços escolhidos é implementada no ICrafter usando-se o padrão de *múltiplos consumidores/múltiplos produtores*. Embora o GI não tenha conhecimento do mural ou dos quadros eletrônicos, ele usa a informação de que os serviços implementam interfaces de produtor e consumidor de dados e, a partir disso, gera o movimento de dados na interface. Assim, é possível arrastar o retângulo correspondente ao laptop para o mural, fazendo com que este apresente o mesmo *site web* acessado no laptop.

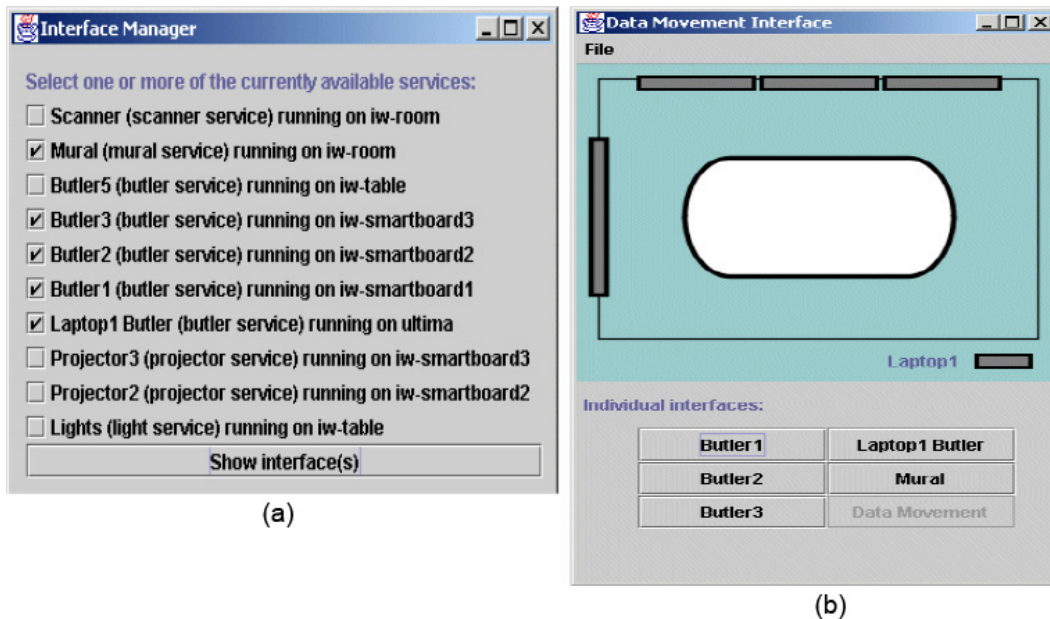


Figura 3.3: Exemplo de aplicação do ICrafter (PONNEKANTI et al., 2001, p.64). Em (a), o Gerenciador de Interfaces que permite a escolha dos serviços disponibilizados em uma sala ubíqua; em (b), a interface gerada com a agregação dos serviços escolhidos. Arrastar o retângulo correspondente ao laptop em (b) para o mural (canto esquerdo) ou para um dos três quadros eletrônicos (topo) faz com que o *site web* mostrado no laptop seja apresentado também nesses dispositivos.

Como a interface da Figura 3.3b não exige muito espaço, a sua adaptação para a tela de um PDA é quase que direta, o que não deixa claro como o GI adaptaria telas grandes em menores. Na realidade, a implementação dos GIs é sugerida por meio de um sistema de *templates* confeccionados manualmente pelo designer. Esse esforço manual tem sido apontado como uma das limitações do ICrafter (GAJOS; WELD, 2004, p. 93).

Um fato interessante nessa adaptação ao dispositivo móvel é a transposição dos tipos de interação do laptop (arraste de ícones) para o do PDA (apontador de toque). Embora essa restrição impeça a consistência literal na forma de execução das tarefas, o resultado gerado pelo ICrafter é bem convincente, mantendo consistência do layout para laptop e evitando que o usuário tente arrastar os serviços no PDA ao apresentar a seguinte mensagem em destaque logo abaixo do esquema visual da sala: “*Toque para selecionar a tela*”. Após selecionar o serviço desejado, o usuário visualiza outra interface que permite a execução de um comando ou a escolha de um endereço *web* a ser apresentado no dispositivo escolhido. Isso era feito diretamente com o arraste de ícones no laptop, mas foi substituído aqui por dois passos modais guiando o usuário em uma situação desconhecida. Esta condução dos passos do usuário em situações imprevistas encontradas nas múltiplas interfaces é um bom exemplo de preservação da consistência na execução de tarefas envolvendo diferentes tipos de interação.

3.1.6 Smartview (Consistência de Layout)

Milic-Frayling & Sommerer (2002b, 2002a) propõem o Smartview como um atributo de navegador *web* de PDAs que apresenta um *thumbnail* (réplica em menor escala) da página original visualmente delimitado por seções lógicas que podem ser acessadas através de um clique na seção desejada. Após a sua ativação, a seção é apresentada em detalhes através de uma visão adaptada às limitações do dispositivo ou para fornecer uma leitura otimizada. Dessa forma, o Smartview se caracteriza como uma implementação de transformação *Overview* com Modificação de Dados que se difere de propostas de foco + contexto por alternar entre a visão geral do documento e a visão detalhada sem informação do contexto geral. A Figura 3.4 mostra um exemplo de aplicação dessa proposta para um *site* de notícias.

Embora nenhum experimento tenha sido realizado para verificar a usabilidade do Smartview, parece imediato a hipótese de que a perda de contexto na visão com detalhes irá gerar problemas em ambientes de mobilidade onde o processo de atenção é constantemente interrompido por locomoção, ruídos, iluminação, *etc.* Em situações que requerem uso alternado de dispositivos ou migração de tarefas, algumas dificuldades adicionais podem surgir caso o usuário não consiga distinguir entre uma visão e outra. Mesmo que essa tarefa seja trivial, o retorno da visão detalhada para o *thumbnail* não deixa claro qual era a seção visitada e a perda de contexto exige recomençar a tarefa e abandonar o processo iniciado em outro dispositivo. Além disso, atividades de comparação de dados entre duas seções contíguas que seriam feitas diretamente usando outras abordagens podem exigir grande capacidade de memorização no Smartview. Por outro lado, essa proposta tem a vantagem de preservar o layout original, o que contribui para a realização de tarefas

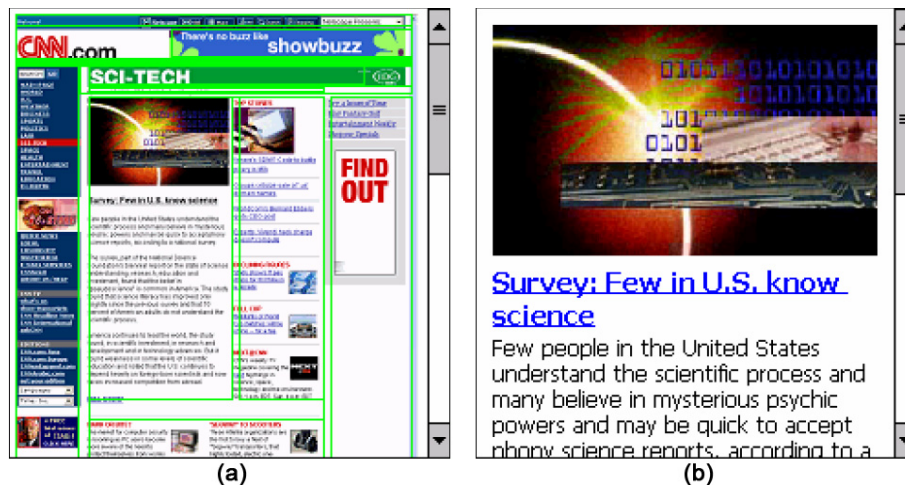


Figura 3.4: Exemplo de transformação do Smartview para um *site* de notícias (MILIC-FRAYLING; SOMMERER, 2002a, p.4). Em (a), tem-se o *thumbnail* da página original particionado em seções visuais e, em (b), a visão expandida de uma delas (conteúdo central).

executadas constantemente na versão *desktop*.

3.1.7 PIMA/MORE (Interface Adaptável)

Bergman et al. (2002) construíram o PIMA (Modelo Independente de Plataforma para Aplicações) para ser um sistema de modelagem e geração automática de interfaces multi-dispositivos *baseado em modelo*. Nessa forma de design, a especificação das interfaces é feita através da construção de um modelo declarativo abstrato sobre como a interface deve se comportar em diferentes contextos e dispositivos para só então gerar automaticamente as interfaces concretas. Além disso, duas outras funcionalidades foram implementadas no PIMA (BANAVAR et al., 2004): customização manual das aplicações geradas, podendo-se usar o PIMA ou qualquer outro editor; e geração automática dos modelos declarativos genéricos a partir de aplicações HTML existentes.

A construção de modelos abstratos genéricos a partir de aplicações visuais foi o resultado do trabalho de Gaeremynck et al. (2003) no desenvolvimento do MORE, uma ferramenta interativa baseada em regras extensíveis para inferência de modelos em páginas *web*. Segundo eles, uma das grandes barreiras para o desenvolvimento de aplicações multi-dispositivos é a necessidade de treinamento em novas ferramentas de design que não lidam com objetos concretos de interfaces, tornando-se um desafio extra aos desenvolvedores. Além disso, essas abordagens só funcionam em aplicações desenvolvidas desde o começo, fazendo com que todas as demais tenham de ser reconstruídas. Com a implementação do

MORE acoplado ao framework PIMA, tem-se um ambiente de desenvolvimento capaz de extrair o modelo abstrato presente nas interfaces para construção de um modelo genérico multi-dispositivo. Abordagens similares ao MORE já foram implementadas por ferramentas de engenharia reversa capazes de traduzir páginas *web* em representações baseadas em modelo (BOUILLON et al., 2002) ou em modelos de tarefas (PAGANELLI; PATERNÒ, 2002).

A construção do PIMA adotou novas concepções quanto à compreensão dos papéis desempenhados pelos dispositivos, aplicações e ambientes para a computação pervasiva. Segundo Banavar et al. (2000), esses elementos podem ser resumidos nos seguintes preceitos:

1. Um *dispositivo* é um portal dentro do espaço de uma aplicação e não um repositório de software customizado e gerenciado pelo usuário;
2. Uma *aplicação* é o meio pelo qual o usuário realiza uma tarefa e não uma parte do software escrita para explorar as capacidades do dispositivo;
3. O *ambiente computacional* é a informação do usuário (arredores físicos aprimorados) e não um espaço virtual para armazenar e rodar um software.

A proposta dessa tese se aproxima destes preceitos (particularmente, os numerados por 2 e 3) por redirecionar a preocupação do design às tarefas e contexto do usuário ao invés das limitações dos diversos dispositivos. No entanto, embora tenha sido construída sob essas diretivas, a solução fornecida por Banavar et al. (2004) parece priorizar mais o esforço do designer do que o do usuário ao dar maior enfoque à geração automática das interfaces. Essa impressão fica clara na maioria das propostas de interfaces adaptáveis, como será apresentado nas subseções a seguir. Particularmente, para o PIMA, alguns inconvenientes resultantes desse fato podem ser verificados em seus exemplos de telas geradas automaticamente para uma aplicação de comércio eletrônico (ver Figura 3.5).

Como se pode perceber, as interfaces da Figura 3.5a e 3.5b são muito parecidas por serem ambas direcionadas para uso em um mesmo dispositivo, possivelmente um *desktop* ou PDA. Logo, o modelo mental desenvolvido pelo usuário durante a interação com uma delas poderá ser reaproveitado. Por outro lado, a interface das Figuras 3.5c 3.5d e 3.5e mostram que o layout original teve de ser quebrado em algumas telas para se adequar às limitações de espaço do visor de um celular. Não há dúvidas de que manter o mesmo layout seria inviável ou mesmo impossível considerando-se as limitações tecnológicas de um interpretador de páginas WML. No entanto, o procedimento de adaptação automática gerou pelo menos dois problemas:

- **Inconsistência de ativação na barra de menu:** Em geral, as aplicações para celulares podem usar uma barra de menu na região inferior de seu visor com dois itens de

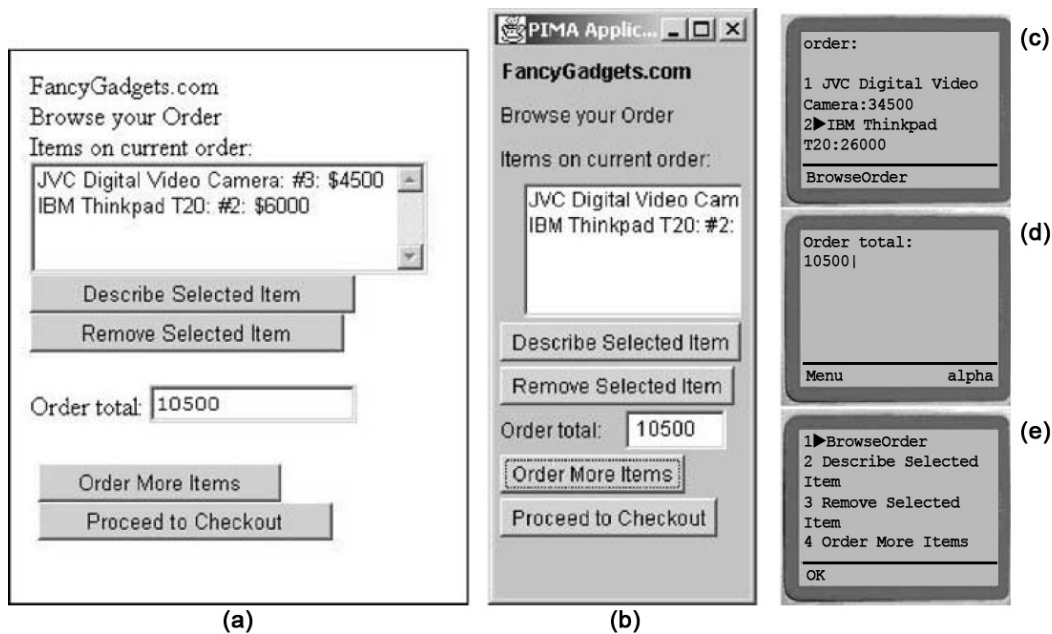


Figura 3.5: Exemplo de telas geradas pelo PIMA para uma aplicação de comércio eletrônico acessada em (a) um navegador *web*, (b) uma aplicação *desktop* ou (c,d,e) num celular (BANAVAR et al., 2004, p.233). Por serem destinadas ao mesmo dispositivo, as interfaces de (a) e (b) são muito parecidas, não revelando a necessidade de qualquer tipo de adaptação em alto nível. Por outro lado, as telas de (c), (d) e (e) mostram que a adequação às telas pequenas de celulares exige uma reestruturação da interface original.

ativação: um à esquerda e outra à direita. Por exemplo, a tela da Figura 3.5c disponibiliza um item de menu e a da Figura 3.5d disponibiliza dois. No entanto, os itens de menu da Figura 3.5d não quebram essa semântica de ativação (“Menu” dá acesso ao menu da aplicação e “alpha” habilita o cursor para inserção de caracteres alfa-numéricos), o que não ocorre com o item “BrowseOrder” da Figura 3.5c. Como o nome desse item representa exatamente o que o usuário está fazendo na tela da Figura 3.5c (navegando pelos itens do seu pedido), acredita-se que essa opção de menu consiste apenas na informação da tarefa sendo realizada, violando a premissa de que ele pode ser ativado. Ao contrário disso, o comportamento esperado do gerador de interfaces seria a substituição desse item passivo pelo ativo de retorno ao menu da aplicação (como na tela da Figura 3.5d);

- **Inconsistência semântica no menu da aplicação:** Com a redução da área de visão do celular, a lista de itens do pedido (Figura 3.5c) não pode ser vista em conjunto com os controles de ativação para descrever, remover ou requisitar novos itens (Figura 3.5e). Enquanto isso era possível nas interfaces de *desktop*/PDA (Figuras 3.5a e 3.5b), fazia

sentido o uso de botões com o texto “Descrever o item *selecionado*” ou “Remover o item *selecionado*” (“*Describe Selected Item*” e “*Remove Selected Item*”). No entanto, o gerador automático desconhece a semântica entre os objetos e faz a transposição direta, o que pode gerar dúvidas na tela da Figura 3.5e.

Estes são apenas alguns exemplos de inconsistência que poderão ocorrer na maioria das abordagens de transformação automática. Resta saber se estas inconsistências iriam efetivamente reduzir a usabilidade da aplicação quando comparada com outras abordagens, principalmente em contextos de uso alternado e migração de tarefas.

3.1.8 Damask (Interface Adaptável)

Damask é uma ferramenta proposta por Lin & Landay (2002) e construída por Lin (2005) que oferece suporte nos estágios iniciais do design para prototipação de interfaces multi-dispositivos. Inicialmente, o designer pode desenhar a interface para um dispositivo como se estivesse fazendo um rascunho ou ainda reutilizar esquemas que especificam quais os padrões de design que serão utilizados (*ex.*: em *sites* de comércio eletrônico, tem-se padrões para o carrinho de compras, entrega de presentes, histórico de pedidos, *etc.*). A partir dessas representações, o Damask constrói um modelo abstrato que captura os aspectos da interface em alto nível. Por fim, o modelo é usado na construção de versões interativas dos rascunhos da interface em simuladores apropriados para os dispositivos alvo. A Figura 3.6 mostra um exemplo da interface do Damask.

As representações internas do Damask são similares àquelas sugeridas no design baseado em modelo, o qual permite a criação de interfaces adaptáveis a diferentes dispositivos e contextos. No entanto, a diferença principal entre o Damask e essas abordagens é que ele foi criado para dar suporte à prototipação rápida sem pretensões quanto ao estágio final da interface. Por isso, seu público alvo é diferente, incluindo aqueles com boas capacidades de design mas sem muita experiência em programação.

Outro conceito importante na proposta do Damask é o uso de camadas. Quando o designer altera algum dos modelos (*ex.*: inserindo nova página, alterando título de um elemento), essa mudança normalmente é propagada entre as interfaces de todos os dispositivos. No entanto, se o usuário deseja que essa alteração não seja repassada, basta que ele selecione o item “*This Device*” no grupo “*Layers*” disponível no canto superior esquerdo da interface do Damask (ver Figura 3.6).

Em um experimento realizado com 12 profissionais no desenvolvimento de páginas *web*, Lin (2005) procurou avaliar a eficiência e qualidade na prototipação das interfaces utilizando a sua proposta. Todos os indivíduos tiveram que realizar o design das interfaces usando duas abordagens: uma com camadas e padrões de design e a outra sem. Os resultados encontrados foram:

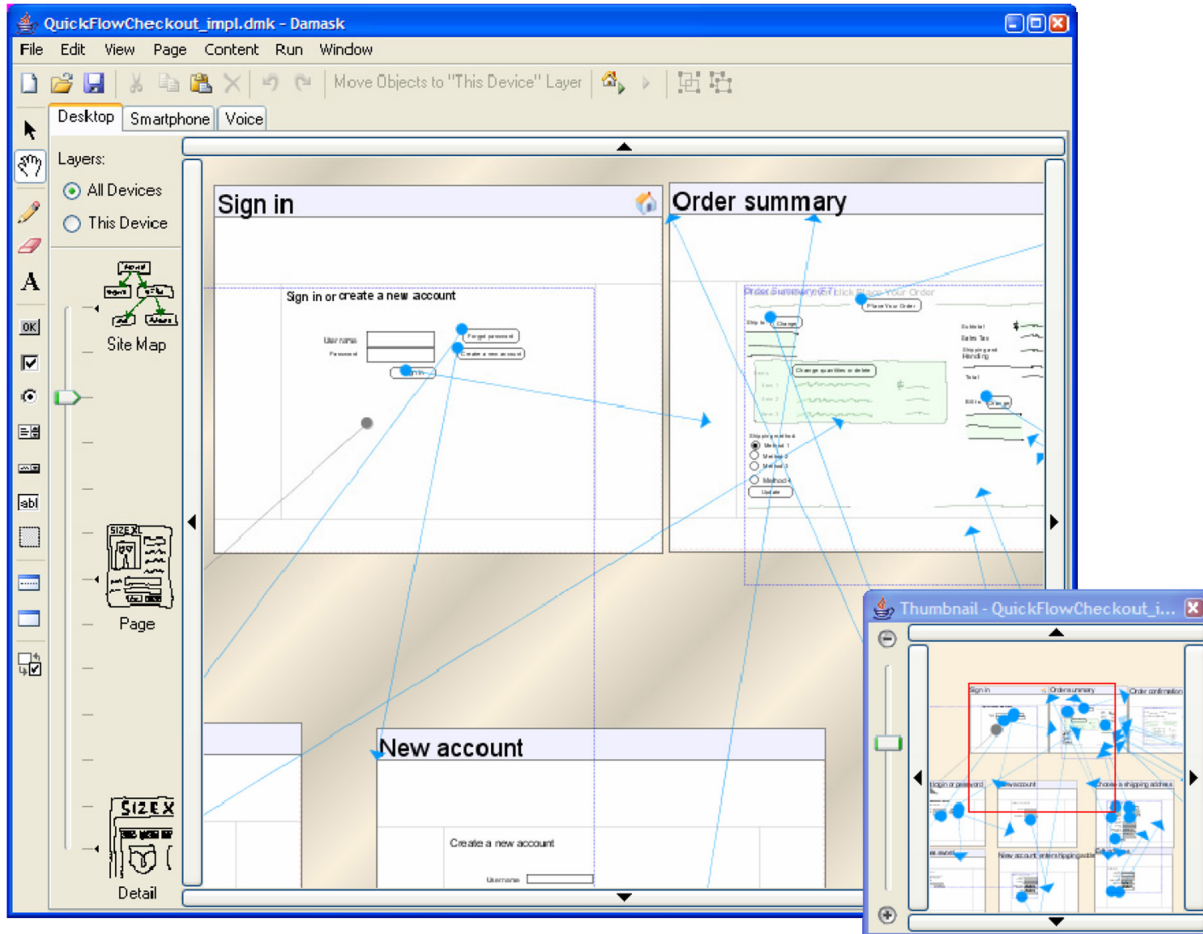


Figura 3.6: Interface do Damask sendo usada na prototipação de uma aplicação de comércio eletrônico (LIN, 2005, p.3). Cada seta ligando um objeto a um diagrama representa um link na interface *desktop* que liga uma página *web* à outra (note que a aba de seleção de painel mostra o design relativo ao *Desktop*, mas poderia mostrar também o do *Smartphone* ou de voz - *Voice*). Na janela sobreposta, tem-se um *thumbnail* com todos os diagramas miniaturizados e a região de foco apresentada na área principal do Damask.

- **Design para desktop:** Nenhuma diferença significativa foi encontrada no tempo gasto pelos indivíduos na construção das interfaces para *desktop*. No entanto, os designs construídos com o Damask foram mais completos, apresentando um número maior de páginas, elementos e associações;
- **Design para smartphone:** O Damask foi mais eficiente na construção de interfaces para *smartphone*. Além disso, o número de páginas, elementos e associações presentes nos designs também foi superior quando os indivíduos utilizavam camadas e padrões de design;
- **Design para voz:** Nenhuma diferença significativa foi encontrada no tempo gasto para o design das interfaces de comando por voz. Da mesma forma, o número de páginas, elementos e associações presentes nos designs não teve diferença significativa entre as abordagens;
- **Satisfação de uso:** sete dos 12 indivíduos preferiram a o Damask.

Com esses resultados, Lin (2005) concluiu que a maioria dos indivíduos foi capaz de criar, em menos tempo, interfaces multi-dispositivos tão boas quanto ou melhores do que as criadas sem o uso de camadas e padrões de design. No entanto, a afirmação de que as interfaces foram melhores não está fundamentada em testes de usabilidade dos designs construídos, mas em medidas quantitativas da complexidade dos modelos. Também não é possível concluir que o uso alternado das interface propostas teria boa efetividade de uso. Além disso, Gajos & Weld (2004) lembram que, embora o Damask possa simplificar o processo de design multi-dispositivo, ele não consegue identificar situações nas quais não se pode prever as restrições dos dispositivos ou quando as funcionalidades da interface são geradas dinamicamente.

3.1.9 PUC/Uniform (Controlador Universal)

O PUC é uma proposta de Nichols et al. (2002) que facilita a interação com aparelhos complexos através de uma interface de controle remoto universal gerada para dispositivos móveis, tais como um *pocket PC* ou celular. Embora tenha objetivos similares aos do ICrafter (seção 3.1.5), a principal diferença entre eles parece ser o fato de que a arquitetura do ICrafter não é muito escalar por depender de um servidor central para gerência das conexões entre interfaces e aparelhos. Já o PUC utiliza um protocolo de comunicação que permite a troca de informações com esses aparelhos de maneira bi-direcional e assíncrona. No entanto, para que esse protocolo seja utilizado e compreendido por ambas as partes, é necessário a construção de adaptadores para tradução do protocolo de comunicação

proprietário de cada aparelho (*ex.*: X10⁶, UPnP⁷, Jini⁸). O processo de comunicação do PUC com os aparelhos é feito em duas instâncias:

1. **Download da especificação das funções do aparelho:** A especificação de um aparelho inclui a descrição em alto nível de cada função usando linguagem XML⁹ (representação de estados de variáveis, comandos, tipos e títulos de informações), agrupamento hierárquico dessas funções para divisão correta dos objetos na interface e dependência de informação para disponibilização de estados/comandos de acordo com valores de outras variáveis (*ex.*: usar a dependência “igual a” dentro de um elemento do tipo “ativo se” para indicar que a apresentação de um conjunto de comandos estará ativa se o estado de uma variável for igual a um determinado valor).
2. **Geração automática da interface de controle:** A partir dos três conjuntos de informações obtidos no passo anterior (especificação de funções, agrupamento em árvore das funções e dependência de informação), o gerador cria uma interface de controle do aparelho adequada à modalidade de interação do dispositivo móvel (*ex.*: gráfica ou por voz). Os componentes de interface que representam cada estado de variável e comando são escolhidos usando uma árvore de decisão.

Em estudos preliminares, Nichols et al. (2002) verificaram que a realização de tarefas em interfaces geradas pelo PUC foi duas vezes mais rápida do que nas interfaces dos fabricantes dos aparelhos, além dos usuários terem cometido metade dos erros. Estes resultados foram confirmados e estendidos com o experimento realizado por Nichols et al. (2007), no qual foi observado uma eficiência duas vezes maior e quatro vezes mais sucesso na utilização de dois modelos diferentes de impressoras multi-funcionais. Nesse experimento, 48 indivíduos realizaram oito tarefas em seis interfaces diferentes: duas criadas pelos fabricantes HP e Canon (na superfície das próprias impressoras) e quatro geradas automaticamente pelo PUC para uso em um *pocket PC*, sendo que duas destas mantinham consistência com o modelo concorrente e as outras duas não. A Figura 3.7 mostra as interfaces geradas pelo PUC e utilizadas no experimento. Note como as interfaces de modelos diferentes mostradas na Figura 3.7b e 3.7c são parecidas, o mesmo ocorrendo com as da Figura 3.7a e 3.7d. Essa nova funcionalidade do PUC chamada *Uniform* (NICHOLS et al., 2006a), capaz de gerar automaticamente interfaces consistentes com um modelo conhecido do usuário, apresentou eficiência duas vezes maior do que as interfaces geradas sem consistência. *Esse resultado dá suporte à hipótese desta tese por revelar que interfaces*

⁶http://www.x10.com/products/x10_ck11a.htm

⁷<http://www.upnp.org>

⁸<http://www.sun.com/jini>

⁹Linguagem de Marcador Extensível: <http://www.w3.org/XML>

consistentes com a experiência prévia do usuário fornecem maior velocidade na conclusão de tarefas devido à facilidade de aprendizado.

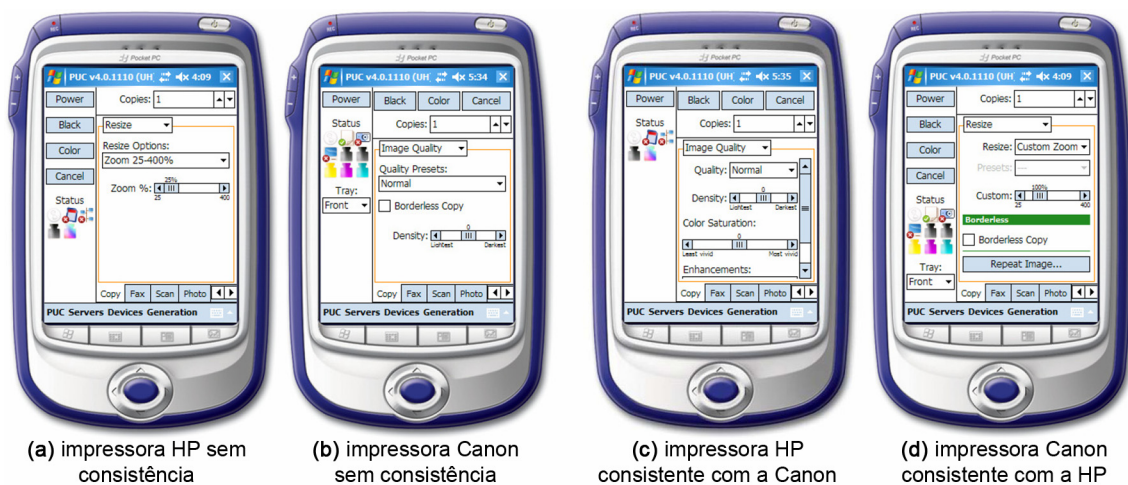


Figura 3.7: Exemplo de telas geradas pelo PUC para controlar duas impressoras multifuncionais da marca HP e Canon usando um *pocket PC* (NICHOLS et al., 2007, p.1284). O PUC obteve duas vezes mais eficiência e quatro vezes mais sucesso na realização de tarefas comuns do que as interfaces dos próprios fabricantes. Essa eficiência foi duas vezes maior com as interfaces (c) e (d) do que com as interfaces (a) e (b), comprovando que a consistência é um fator de grande importância para o design multi-dispositivo.

Como se pode perceber, a proposta desta tese caminha paralelamente à proposta do PUC, sendo que a última é direcionada ao controle de aparelhos através de interfaces consistentes com a experiência prévia do usuário e a primeira ao design de interfaces multi-dispositivos com a mesma preocupação de reuso do modelo mental. No entanto, a geração automática proposta no PUC faz inferências de layout baseadas em regras não muito intuitivas para manutenção. Por exemplo, considere a seguinte regra usada na construção da interface de controle de um aparelho de som (NICHOLS et al., 2002): “*Se um grupo for encontrado tal que contenha um título e dois componentes que não precisem de seus títulos, então uma linha será criada usando o título com os dois componentes no espaço tipicamente reservado para um único componente.*” Essa regra foi criada apenas para configurar a disposição dos objetos de interface necessários ao controle de um sintonizador de estações de rádio, composto por um título (campo numérico com o número da estação) e dois componentes (um botão do lado esquerdo do título e outro do lado direito para buscar estações decrementando ou incrementando a frequência respectivamente). A leitura dessa e de outras regras apresentadas por Nichols et al. (2002) dificilmente trazem à lembrança os casos particulares a que se aplicam. Além disso, suas lógicas de aplicação não deixam clara a existência de conflitos com outras ou mesmo a possibilidade de renderização inadequada

da interface em casos imprevistos. Ainda assim, o potencial desta proposta fica claro ao redirecionar o foco do design multi-dispositivo para o usuário.

3.1.10 TERESA (Interface Adaptável)

TERESA (Ambiente de Transformação para Representações de Sistemas Interativos) é uma ferramenta de suporte ao design multi-dispositivo de interfaces *web* que implementa o processo de automação proposto pelas interfaces adaptáveis (MORI et al., 2003). Segundo Berti et al. (2004), o método dessa forma de design baseado em modelo se inicia com a modelagem em alto nível das tarefas a serem executadas pela aplicação multi-contexto usando a notação ConcurTaskTree (PATERNÒ et al., 1997) e a filtragem delas para cada plataforma alvo. Em seguida, o modelo é convertido em interfaces abstratas que serão usadas na geração das interfaces finais, dependentes de propriedades específicas de cada plataforma. A ferramenta TERESA possui diversos níveis de automação, permitindo a geração automática de interfaces multi-dispositivos ou a completa modificação das mesmas pelo designer. Cada estágio desse processo possui boa integração com os demais, o que ajuda na criação de uma imagem geral do sistema (*ex.*: capacidade de visualizar os relacionamentos entre AIOs e suas respectivas tarefas dentro do modelo).

As pesquisas com o TERESA têm sido conduzidas com foco na migração de tarefas realizadas automaticamente ou por demanda do usuário. Em Bandelloni et al. (2004), a proposta é estendida com uma arquitetura de serviços de migração que permite alterar a interação com uma interface gráfica para outra com voz e vice-versa. Quando a interface migra, o serviço ativa a versão do dispositivo alvo no ponto onde o usuário parou no dispositivo original e mantém o estado resultante das interações anteriores. Na migração entre duas interfaces gráficas, o estado de execução é enviado para o dispositivo alvo em um formato adaptado aos seus recursos e o cliente de migração aplica o estado à página. A mesma técnica é usada na migração voz-gráfica, mas não na gráfica-voz pelo fato dos dispositivos por voz serem comumente limitados em recursos. Neste caso, o trabalho passa para o lado do servidor.

Berti & Paternò (2005) reconhecem a necessidade de realizar trabalhos empíricos na investigação da usabilidade de interfaces migratórias, mas revelam que, em algumas de suas avaliações iniciais, os usuários não foram desorientados pela migração. No entanto, as principais dúvidas com relação às interfaces adaptativas continuam sem resposta, tais como a identificação da importância do modelo do usuário desenvolvido com uma interface para reuso em outra ou mesmo da confirmação do ganho de eficiência na execução de tarefas em abordagens de transformação Linear adaptadas às restrições do dispositivo.

3.1.11 Gateway (Consistência de Layout)

MacKay (2003) estudou os efeitos da transição do uso de dispositivos com telas de tamanho padrão (*ex.*: *desktop*, *laptop*) para o de telas pequenas (*ex.*: *PDA*) no acesso às mesmas páginas *web*. Sua proposta de transformação *Overview*, chamada de Gateway, apresenta uma réplica reduzida e exata (*thumbnail*) da página *web* para *desktops* e permite o acesso à navegação através da seleção de seções individuais, seja pelo clique ou passagem do mouse sobre a seção, fazendo com que a mesma seja expandida e *sobreposta* no *thumbnail*. Essa sobreposição da visão detalhada no *thumbnail* constitui uma alteração fundamental na proposta do Smartview (seção 3.1.6) para garantir a preservação do contexto quando da investigação de uma seção. A partir daí, os usuários podem fazer seleções na seção, escolher itens de menu ou ativar links como se estivesse navegando na página original (ver Figura 3.8). Essa proposta visa minimizar a *volatilidade transformacional*, definida como o resultado das mudanças na aparência, design, layout e conteúdo de uma página *web* acessada em dispositivos diferentes.

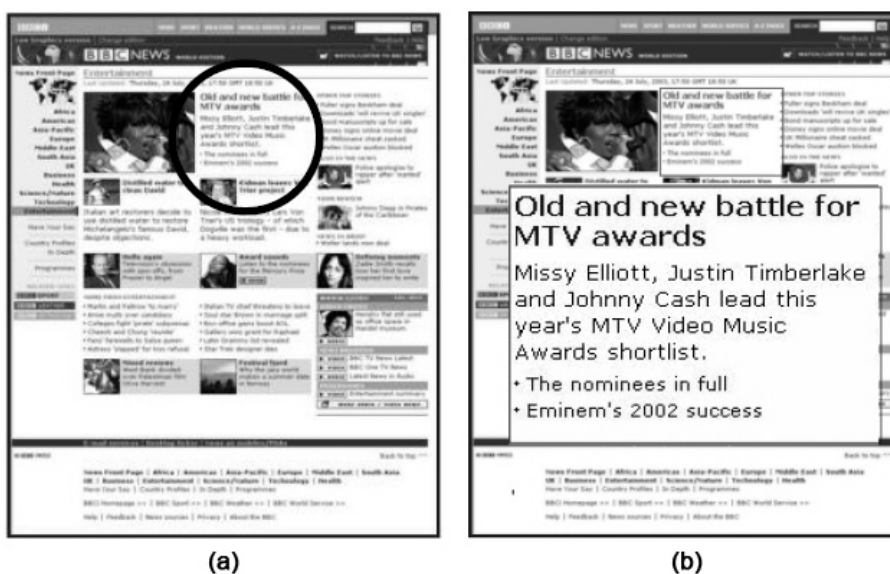


Figura 3.8: Exemplo de telas geradas pelo Gateway para um *site* de notícias (MACKAY et al., 2004, p.232). Em (a), tem-se o *thumbnail* da página original e, em (b), a visão expandida da região marcada com um círculo em (a).

No estudo de caso realizado por MacKay et al. (2004), 10 estudantes graduados em Ciência da Computação acessaram uma mesma página *web* de noticiários em sua versão original para *desktop* e depois em três versões para PDAs simuladas no mesmo computador: Migração Direta, Transformação Linear (versão do próprio *site* de notícias) e Gateway. A versão Linear era basicamente textual e, além das diferenças em relação ao

layout *desktop*, ainda omitia algumas histórias. Os principais resultados foram:

- **Leitura de uma história:** O Gateway e a abordagem Linear tiveram avaliações semelhantes e foram melhores do que a Migração Direta, considerada “horrível” devido ao uso intenso de ambas as barras de rolagem vertical e horizontal. Este resultado mostra como a consistência na percepção de uma tarefa pode ser mal interpretada no design de interfaces multi-dispositivos. Embora a interface visual utilizada na Migração Direta seja a mesma da versão *desktop*, a interface dos dispositivos não é, exigindo maior esforço para a leitura das histórias e à possibilidade de cometer erros que provavelmente seriam evitados em uma tela maior. Por outro lado, a proposta do Gateway, que também mantém um alto grau de consistência de layout, obteve o melhor resultado empatado com o Linear, que possui baixa consistência. Essa irrelevância da consistência para a satisfação de uso pode ter ocorrido devido ao fato de que a leitura não se beneficiou dela.
- **Encontrar nova história:** Pequena vantagem do Gateway e da abordagem Linear sobre a Migração Direta. Alguns indivíduos consideraram a Linear como uma boa opção para encontrar manchetes, mas nem tanto para outras histórias por perder importantes pistas visuais (*ex.*: cores, layout de página). Por outro lado, o Gateway recebeu críticas quanto à possibilidade de perder uma notícia por não ter expandido todas elas. Pode-se notar que, ao considerar uma tarefa de busca onde padrões e metas estão envolvidos, as limitações de eficiência da Migração Direta já não se fazem tão relevantes, mesmo que ainda presentes.
- **Reencontrar história já vista:** Gateway e Migração Direta foram melhores do que a Linear, confirmando a hipótese de que a experiência prévia com a versão *desktop* é de grande relevância para a transferência do modelo mental. A atividade de reencontrar uma história vista anteriormente é típica de contextos de uso alternado e migração de tarefas, sendo a última considerada como a característica mais importante para o design de interfaces multi-dispositivos (PYLA et al., 2006). O fato da Transformação Linear ter recebido uma avaliação tão ruim em relação às abordagens que priorizam consistência de layout é um indício de que a *migração de tarefas depende de consistência*.
- **Comparação de detalhes:** Gateway foi considerada a melhor proposta, ficando a abordagem Linear em segundo e a Migração Direta em terceiro. Novamente, uma atividade que caracteriza uso alternado de dispositivos e migração de tarefa revela a importância da consistência de layout. Mesmo a última posição para a Migração Direta tem explicação na sobreposição de uma outra tarefa mais adaptada à versão Linear: a de leitura da história para comparação.

- **Navegação em geral:** Mais uma vez o Gateway foi considerado a melhor, ficando a Linear e Migração Direta empatadas em último. Como a navegação incluía páginas que nunca foram vistas pelos indivíduos, o resultado surpreende por não apontar a abordagem Linear como a melhor delas devido à sua adequação da informação ao dispositivo. Esse resultado tem explicação na natureza do domínio, dado que a disposição das notícias na página é feita de acordo com a relevância de cada uma. Logo, a consistência de layout mantém aspectos visuais que fornecem pistas para o local apropriado de se encontrar uma determinada história.

3.1.12 Proposta de Banerjee (Estrutura de Links)

Segundo Banerjee et al. (2003), os dispositivos móveis mais comuns não serão usados na Internet para recreação ou navegação não-direcionada, mas sim para extração de informações relevantes a uma dada tarefa. Sendo assim, eles propõem uma arquitetura de transcodificação em tempo real de páginas *web* para apresentação em uma estrutura de links adequada a telas pequenas. O processo funciona da seguinte forma: primeiro um servidor proxy busca páginas *web* de interesse do usuário e organiza seus conteúdos em categorias específicas de domínio pré-definidas. A partir daí, o usuário pode requisitar a esse proxy uma versão transcodificada das páginas de seu interesse usando uma aplicação cliente instalada em seu dispositivo móvel. Essa versão contém um resumo hierarquizado na forma de uma árvore de links com os tópicos mais relevantes de todas as páginas analisadas. A Figura 3.9 mostra um exemplo da implementação desta proposta para *sites* de notícias. Note como a navegação da página utiliza procedimentos comuns em outras propostas de estruturas de links, como a do Power Browser (BUYUKKOKTEN et al., 2000): expansão/contração dos nós da árvore feita arrastando-se a caneta sobre o link e acesso à informação através de um clique sobre o link.

O sistema foi testado com aproximadamente 80 páginas de 30 *sites* de notícias de várias partes do mundo. Para checar a precisão e relevância das notícias categorizadas, um indivíduo foi encarregado de ler os textos dos *sites* e identificar a categoria (usando a lista de categorias criada manualmente para o transcodificador) e relevância deles. Embora Banerjee et al. (2003) não tenham apresentado os dados brutos desse estudo informal, seus resultados foram considerados satisfatórios por três motivos: (1) quase todos os elementos avaliados como relevantes pelo indivíduo estavam presentes na estrutura de links, (2) poucos elementos irrelevantes permaneceram na interface gerada e (3) todos os elementos foram incluídos nas categorias adequadas.



Figura 3.9: Exemplo de interfaces geradas com a proposta de Banerjee para *sites* de notícias (BANERJEE et al., 2003, p.284-285). Em (a), tem-se a página principal dividida em categorias. Após expandir o link das manchetes (*Headlines*) arrastando a caneta da esquerda para a direita sobre o link, (b) mostra a tela seguinte contendo três títulos de notícias organizados como uma subcategoria das manchetes. Com a expansão do título sobre o interrogatório da polícia (“*Police question seven...*”), o usuário visualiza a tela (c) com um resumo dessa notícia (“*Seven people were been questioned...*”). Por fim, a interface em (d) oculta a estrutura hierárquica de links para apresentar a matéria completa sobre o interrogatório da polícia, resultado de um clique sobre o título dessa notícia.

3.1.13 MADE (Interface Adaptável)

MADE é um ambiente de desenvolvimento de aplicações móveis proposto por Bellotti et al. (2003) que esconde os aspectos de baixo nível tanto de multimídia quanto da gerência de serviços, permitindo aos designers darem foco nas formas de apresentação da informação e na interação com o usuário. Essa transparência é obtida através da programação de scripts MSL (Linguagem de Serviços *Micromultimedia*) que são interpretados em tempo real por um tradutor específico. Sua arquitetura garante portabilidade através da construção de *drivers* adaptados a cada dispositivo móvel desejado. No entanto, os trabalhos mais recentes destes autores não apresentam avanços no desenvolvimento multi-plataforma, tornando o MADE um ambiente de design de interfaces para PDAs. As avaliações dessa proposta foram conduzidas através da construção de algumas aplicações de entretenimento e educacional (BELLOTTI et al., 2002, 2003, 2005), comprovando a importância dos princípios de visibilidade e uso de metáforas conhecidas do usuário. Resta saber como seria a usabilidade da integração de interfaces multi-dispositivos geradas para estas aplicações através da construção de *drivers* apropriados para cada plataforma.

3.1.14 Dygimes/DynaMo-Aid (Interface Adaptável)

Coninx et al. (2003) apresentam o Dygimes como um framework de geração dinâmica de interfaces para dispositivos móveis e sistemas embarcados. Assim como o TERESA, o

Dygimes é uma implementação da abordagem de design baseado em modelo que utiliza descrições em XML para geração automática de interfaces adaptadas aos dispositivos alvo. Luyten et al. (2003) apontam essa geração de interfaces em tempo real como sendo a principal diferença entre as abordagens. Enquanto o TERESA oferece um ambiente de design para construção automática das interfaces, o Dygimes realiza todo o processo dinamicamente, sem tanta necessidade de interação com uma ferramenta. Em resumo, o processo Dygimes é composto dos seguintes passos:

1. **Especificação de tarefas:** Em primeiro lugar, o designer deve fornecer a especificação das tarefas usando o modelo ConcurTaskTree (PATERNÒ et al., 1997). Nessa notação, cada atividade a ser executada para a conclusão de uma tarefa é especificada através de suas relações temporais. *A proposta desta tese está de acordo com essa garantia de consistência do fluxo de ações em todas as interfaces;*
2. **Blocos de construção da interface:** o designer também deve descrever os blocos de construção da interface usando XML. Nessa descrição, o designer considera restrições de layout para o posicionamento de AIOs de maneira relacional através do uso de sintaxes do tipo *à-esquerda*, *à-direita*, *acima* e *abaixo*. A ferramenta apresenta então um grafo de acordo com as restrições estabelecidas e o uso de prioridades elimina inconsistências entre as restrições. Se o cálculo da estrutura de apresentação verificar que o layout não cabe na tela do dispositivo alvo, então o adaptador tenta rearranjar a estrutura automaticamente (*ex.*: colocando componentes de um grupo divisível atrás de outro em um layout de cartão ou através de painéis com abas). Como o resultado desse gerenciamento automático pode não ser o desejável, o Dygimes permite ao designer escolher o CIO específico a ser usado no desenho do AIO;
3. **Descrições de interação:** Para separar a interface da lógica da aplicação, o Dygimes usa descrições de interação baseado no WSDL¹⁰. Dessa forma, ele consegue saber qual funcionalidade pode ser invocada em benefício da lógica e qual objeto pode ser usado para executar as interações;
4. **Adaptação automática:** Com todas as informações salvas em um arquivo XML, o Dygimes calcula os conjuntos de tarefas habilitadas a iniciar sua execução durante o mesmo período de tempo e desenha a interface de acordo com as descrições de interação para o dispositivo desejado.

Segundo Clerckx et al. (2004a), interfaces pervasivas podem mudar durante a interação com a aplicação devido a uma alteração no contexto ou quando um serviço se torna

¹⁰Linguagem de Descrição de Serviços Web: <http://www.w3.org/TR/wsdl>

disponível. Além disso, o designer pode querer alterar as interfaces geradas e esta alteração deve ser propagada entre os designs para garantir a consistência entre os modelos abstratos. Por isso, estes autores desenvolveram o DynaMo-AID, um processo de suporte ao design e geração de interfaces baseadas em modelo e sensíveis ao contexto que é executado sobre o framework Dygimes. Clerckx et al. (2004b) mostram como o DynaMo-AID consegue checar consistência entre os modelos abstratos para manipulações das telas da interface e dos conjuntos de tarefas.

A proposta do Dygimes deixa claro que seu objetivo principal é “*facilitar o trabalho do designer de interfaces além do trabalho do implementador da aplicação*” (CONINX et al., 2003, p. 258). Essa parece ser a tônica de todos os trabalhos sobre interfaces adaptáveis, deixando sempre a dúvida sobre a usabilidade das interfaces geradas em contextos de uso alternado e migração de tarefas. Mesmo permitindo a alteração manual de cada uma delas por parte do designer, ainda não se sabe exatamente se a melhor alternativa seria a realização de pequenas modificações na interface ou de uma completa reestruturação da aplicação, podendo ou não manter o mesmo número de telas e entidades relevantes. Logo, verifica-se a necessidade de realizar experimentos avaliando a interação do usuário final com as múltiplas interfaces geradas por essas propostas ao invés de checar a viabilidade de um processo de automação onde o foco do design é o próprio designer.

3.1.15 SUPPLE (Interface Adaptável)

Gajos & Weld (2004) propõem o SUPPLE como uma nova solução para a geração automática de diferentes interfaces adaptadas a múltiplos dispositivos. A principal diferença do SUPPLE para as demais abordagens de design baseado em modelo é a sua geração de interfaces orientada à solução de um problema de otimização, o qual visa não apenas a conformidade com as limitações do dispositivo, mas também a minimização do esforço do usuário nas ações esperadas com a interface. Em resumo, o processo de adaptação utiliza três tipos de informação:

- **Especificação da Interface:** Definida por um conjunto de elementos de interface e seus tipos (*ex.*: número, texto) e um conjunto de limitações dessa interface (*ex.*: se um subconjunto de elementos deve ser representado pelo mesmo componente).
- **Modelo do Dispositivo:** Definido como um conjunto de componentes de interface (*ex.*: campo de texto, painel de abas), um conjunto de limitações do dispositivo (*ex.*: tamanho de tela, ausência de teclado) e duas funções de avaliação do uso adequado dos componentes no contexto em questão, sendo que uma avalia a capacidade de manipulação do estado das variáveis e a outra estima o esforço exigido do usuário na navegação da interface proposta.

- **Modelo do Usuário:** Conjunto de rastros de interação do usuário, ou seja, sequências coerentes de elementos manipulados por ele (agrupamento do AIO manipulado pelo usuário e seus valores antes e depois da manipulação).

A partir dessas informações, o SUPPLE calcula o custo da demanda de esforço do usuário na navegação da interface sendo gerada de maneira incremental, elemento por elemento, o que resulta em uma proposta otimizada às características do usuário e limitações do dispositivo. Em outras palavras, quanto menos interações forem exigidas do usuário para a execução de suas tarefas em uma dada interface, maior será a probabilidade dela ser a interface proposta. No entanto, por adotar uma medida quantitativa (sequência de rastros) no cálculo do esforço do usuário baseada na eficiência de execução de tarefas em cada dispositivo, o SUPPLE pode acabar violando alguns princípios de design (NORMAN, 1988), como o mapeamento lógico dos controladores das luzes de uma sala de aula mostrado no exemplo da Figura 3.10. *Uma das preocupações desta tese quanto às propostas de interfaces adaptáveis se mostra clara neste exemplo, no qual contextos de uso alternado e migração de tarefas poderão induzir o usuário a cometer erros ao revezarem o uso entre uma interface e outra.*

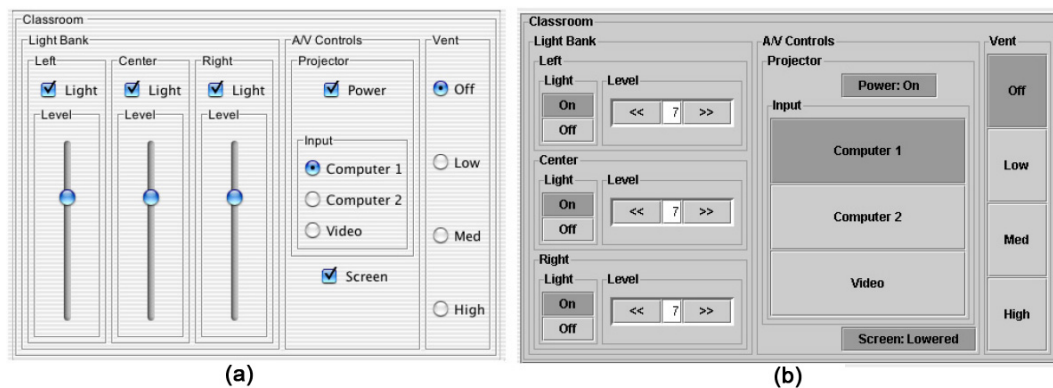


Figura 3.10: Exemplo de múltiplas interfaces geradas pelo SUPPLE para uma aplicação de controle dos aparelhos de uma sala de aula: luz, projetor, computador, tela e ventilador (GAJOS; WELD, 2004, p.98). Em (a), tem-se a interface gerada para um dispositivo baseado em apontador e, em (b), a interface equivalente para uma tela sensível ao toque. Note como o gerador automático do SUPPLE faz o mapeamento espacial dos controles de luz em (a) de maneira intuitiva, o que não ocorre em (b).

O método escolhido para a avaliação da proposta do SUPPLE, assim como na maioria das propostas de design baseado em modelo, não considera a necessidade de comparação com outras formas de design, levando-os sempre à realização de experimentos que avaliam apenas fatores de eficiência no processo de adaptação das interfaces. Particularmente, Gajos & Weld (2004) vão um pouco além dessa preocupação ao incluir uma

avaliação informal na qual quatro estudantes de graduação em Ciência da Computação com experiência em pelo menos uma disciplina de IHC tiveram que propor interfaces usando as mesmas informações e recursos disponíveis ao SUPPLE. Os resultados revelaram diferentes propostas para cada indivíduo, sendo que apenas um teve uma sugestão bem próxima daquela gerada automaticamente. Um fato curioso foi a justificativa de um desses participantes quanto ao seu design, alegando ser mais adaptado a uma tarefa que ele considerava mais relevante. Como este tipo de informação não estava presente no SUPPLE, fazendo parte apenas do conhecimento tácito do designer, as interfaces não apresentaram as mesmas características. Ainda que todos os participantes tivessem sugerido interfaces similares àquelas propostas pelo SUPPLE, é importante destacar que estas podiam não ser as melhores sugestões. Avaliações empíricas comparando estas e outras propostas de design seriam de grande valor no reforço da hipótese de que tais interfaces, geradas automaticamente ou não, atendem melhor o usuário na execução de suas tarefas em múltiplos contextos.

3.1.16 Interface Adaptável baseada em Personalização

Hinz et al. (2004) propõem a adaptação de interfaces *web* através de dois mecanismos: o primeiro afeta estaticamente as estruturas dos documentos e gerenciadores de layout para garantir independência do dispositivo final utilizado; e o segundo realiza dinamicamente predições de preferências dos usuários baseadas nos históricos de interação para excluir ou alterar a apresentação de determinadas informações. Para isso, é necessário a construção de um modelo do usuário contendo a sua identificação (*ex.*: nome, *e-mail*, senha), a do dispositivo (*ex.*: plataforma, software, navegador), a do contexto de uso (*ex.*: limitações, localização do usuário), seu histórico de interação, um conjunto de regras¹¹ criado dinamicamente de acordo com o seu perfil de sessão e, por último, uma função de conexão entre um modelo especial de usuário e os modelos contendo informações de todos os usuários do sistema. Com isso, é possível adaptar a interface para apresentar, por exemplo, uma imagem minimizada ou maximizada, um texto resumido ou completo ou mesmo apresentar vídeos. Em conjunto com o modelo de usuário, o processo de implementação da adaptação automática também é feito através de quatro gerenciadores de layout capazes de distribuir os componentes da interface na horizontal ou vertical (layout de caixa), nas cinco regiões norte, sul, leste, oeste e central (layout de borda), em uma tabela com número de linhas e colunas variável (layout de tabela) ou através da sobreposição dos mesmos (layout de overlay). O documento resultante é gerado automaticamente de acordo com a modelagem do gerenciador de layout e adaptado ao dispositivo final.

¹¹As regras de preferências do usuário são obtidas através do algoritmo de aprendizado incremental CDL4 (SHEN, 1996) que, para cada interação do usuário, adiciona ou altera uma regra com a preferência

Ao invés de verificar questões relativas à usabilidade das interfaces geradas, esta proposta evoluiu no sentido da criação de uma ferramenta de autoria para automatização de todo o processo (FIALA et al., 2005). Ainda em Hinz et al. (2004), alguns testes haviam sido realizados para checar questões de sobrecarga do servidor durante as adaptações dinâmicas, levando à crença de que o número e a estrutura das regras de preferência dos usuários deveriam ser reduzidos para ganho de eficiência.

3.1.17 Thumbnail Resumido (Consistência de Layout)

Lam & Baudisch (2005) apresentam uma contribuição significativa para as implementações comuns de *thumbnails* (ex.: Smartview, Gateway) que reduzem o layout das interfaces por inteiro, fazendo com que os textos se tornem ilegíveis. Ao contrário destas, o Thumbnail Resumido aprimora a visão de *thumbnails* com fragmentos de textos legíveis que não apenas preservam o layout original da interface como também eliminam ambiguidades de regiões similares por permitirem a sua leitura antes do acesso à visão detalhada. Isso reduz tempo e esforço em atividades de zoom e envolvendo interação com a barra de rolagem (ver Figura 3.11). Outra diferença em relação às propostas do Smartview (seção 3.1.6) e Gateway (seção 3.1.11) é que a visão detalhada não apresenta qualquer adaptação às restrições do tamanho do visor, sendo equivalente à abordagem de Migração Direta.

Em geral, o Thumbnail Resumido encolhe¹² a página *web* para se adequar à largura do visor do *pocket PC*, aumenta o tamanho das fontes para garantir legibilidade e sumariza¹³ os textos para manter o mesmo número de linhas da página original. Na implementação de Lam & Baudisch (2005), era necessário usar um computador *desktop* para primeiramente abrir e processar cada página *web*, salvando o resultado deste processo em arquivos de imagem *bitmap*. A partir daí, os experimentos puderam ser realizados através de um outro programa que simulava a interface de um *pocket PC* e apresentava essas imagens de maneira apropriada.

No experimento qualitativo, nove participantes usaram três interfaces diferentes: *thumbnail* comum, Thumbnail Resumido e Coluna Simples (interface gerada automaticamente pela tecnologia *Small-Screen Rendering* do Opera¹⁴). Todas as interfaces pertenciam a um *site* de notícias e foram apresentadas em um laptop com área de conteúdo similar a de um *pocket PC*. Nesse experimento, a capacidade de visualizar o conteúdo detalhado dos *thumbnails* foi explicada, porém não estava disponível. Cada indivíduo participou de uma

correspondente (ex.: caso o usuário ative um componente de imagem com a biografia de um ator, a seguinte regra pode ser gerada: $[biografia, ator, imagem \rightarrow interesse]$).

¹²Recurso de zoom das folhas de estilo suportadas no Internet Explorer 5.5 (msdn.microsoft.com).

¹³Primeiro o algoritmo remove palavras comuns menos importantes e depois elimina palavras/caracteres da direita para a esquerda até que o número de linhas original seja preservado.

¹⁴<http://www.opera.com>



Figura 3.11: Exemplo de telas geradas por (a) uma proposta comum de *thumbnail* e (b) o Thumbnail Resumido (LAM; BAUDISCH, 2005, p.682). Os textos legíveis de (b) permitem a leitura de boa parte da página sem a necessidade constante de acesso às visões detalhadas.

entrevista para avaliar as vantagens e desvantagens de cada abordagem. Os principais resultados foram:

- Busca por palavras-chave e imagens com texto: Thumbnail Resumido foi considerado mais útil do que o *thumbnail* comum;
- Busca por área específica já visitada: Thumbnail Resumido foi considerado mais útil do que o Coluna Simples;
- Satisfação: Oito indivíduos optaram pelo Thumbnail Resumido e apenas um escolheu o Coluna Simples.

No experimento quantitativo, onze participantes usaram quatro interfaces: *thumbnail* comum, Thumbnail Resumido, Coluna Simples e *Desktop* com resolução de 800x600 pixels. A escolha das páginas *web* e suas respectivas tarefas foram feitas a partir de um estudo com 12 estudantes universitários, resultando em 44 páginas válidas para o experimento e divididas para balancear os conjuntos de testes. Pelo que se pôde perceber, nenhuma tarefa exigia navegação pelo *site*, dado que apenas uma imagem bitmap era disponibilizada de acordo com a interface em questão. Já as propostas de *thumbnail* exigiram uma pequena navegação dentro de uma mesma página para acesso à visão detalhada do *thumbnail* (disponível neste experimento). Os principais resultados foram:

- **Eficiência na execução da tarefa:** Thumbnail Resumido foi 41% mais rápido que o Coluna Simples;
- **Exatidão da tarefa:** Ambas as abordagens de *thumbnail* tiveram taxas de erro aproximadamente três vezes menor que o Coluna Simples;
- **Necessidade de zoom:** Thumbnail Resumido reduziu a necessidade de zoom em relação ao *thumbnail* comum em 59%;
- **Uso da barra de rolagem:** Thumbnail Resumido exigiu menos movimentação da barra de rolagem do que as outras abordagens. Além disso, ele levou os usuários a alterar o sentido de movimento da barra de rolagem vertical quatro vezes menos do que no Coluna Simples, o que pode revelar que eles tiveram menos dúvidas na busca por informações no Thumbnail Resumido do que no Coluna Simples. De maneira similar, o Thumbnail Resumido levou os usuários a alterarem o sentido de movimento da barra de rolagem horizontal 82% menos vezes do que no *thumbnail* comum;
- **Satisfação:** Nove de 11 participantes preferiram o Thumbnail Resumido sendo que os outros dois optaram pelo Coluna Simples.

De acordo com os resultados destes experimentos, o Thumbnail Resumido não apenas superou o Coluna Simples em atributos de facilidade e eficiência de uso, mas também aprimorou a necessidade de zoom e uso da barra de rolagem do *thumbnail* comum. Ainda que MacKay et al. (2004) já tenham verificado experimentalmente a superioridade de sua implementação de *thumbnail* em relação à abordagem Linear para o contexto de *sites* de notícias, seria curioso comparar¹⁵ o Thumbnail Resumido com versões lineares não automáticas, construídas especificamente para o dispositivo móvel.

3.1.18 Minimap (Consistência de Layout)

Minimap é uma ferramenta para visualização de páginas *Web* proposta por Roto et al. (2006) que mantém consistência com o layout original ao mesmo tempo que garante boa usabilidade em telas pequenas. A proposta se difere das implementações do Smartview, Gateway e Thumbnail Resumido por ser a única a implementar efetivamente a técnica de foco + contexto. Enquanto em todas as outras o *thumbnail* é apresentado primeiro para só então o usuário poder alternar para a visão detalhada, no Minimap o processo é invertido, permitindo que o usuário navegue diretamente na visão com textos completos e legíveis ao mesmo tempo que identifica sua localização dentro da estrutura da página. Em resumo, essa proposta é implementada combinando duas soluções:

¹⁵Esta comparação é realizada no experimento da seção 5, porém envolvendo a proposta desta tese e a abordagem Linear adaptada ao dispositivo e à tarefa de interesse do usuário para ganho de eficiência.

- **Alteração de escala de layout:** A página *web* original é reformatada para reduzir o tamanho das figuras, modificar o tamanho dos textos em relação ao resto do conteúdo e limitar a largura dos parágrafos e colunas de tabelas para se adequar à largura máxima do visor. Isso é feito para garantir visualização e leitura sem necessidade de interação com a barra de rolagem horizontal (ver Figura 3.12b);
- **Overview da página:** Para auxiliar o usuário na localização do que é apresentado no *smartphone* em relação à página completa, um *thumbnail* da interface *desktop* é sobreposto à visão detalhada com um retângulo vermelho sobre a região visualizada (ver Figura 3.12c). Esse *thumbnail*, chamado de Minimap, só é apresentado ao usuário quando ele utiliza a barra de rolagem. Além disso, sua coloração amarela, aplicada inicialmente, vai desaparecendo conforme o usuário explora o documento. Esse mecanismo ajuda na identificação de regiões visitadas, o que se torna útil ao tentar encontrar informações em páginas extensas.

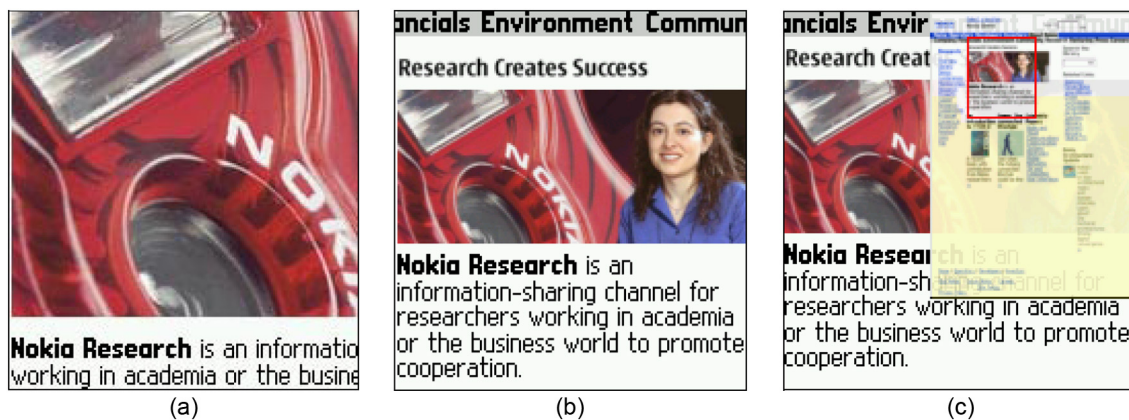


Figura 3.12: Exemplo de telas geradas pelo Minimap para um *site web* acessado por um navegador de *smartphone* (ROTO et al., 2006, p.38-39). Em (a), a tela correspondente à uma região da página original; em (b), a implementação do Minimap aplicada à mesma página mostrada em (a), permitindo leitura e visualização adequada dessa região; e em (c), o *thumbnail* sobreposto à tela de (b) quando o usuário utiliza a barra de rolagem. Note que a região visualizada no *smartphone* está marcada por um retângulo no Minimap.

No estudo de caso realizado, 20 participantes realizaram 12 tarefas comuns em *sites web* utilizando o protótipo do Minimap e a abordagem de Coluna Simples num navegador para *smartphone*. O estudo foi conduzido durante oito dias e os indivíduos receberam mensagens de texto diariamente contendo uma ou duas tarefas a serem realizadas com ambas as abordagens. Para simular uma situação real, nenhuma instrução foi dada quanto ao uso do navegador. Os principais resultados foram:

- **Facilidade de aprendizado:** Houve uma diferença significativa entre os métodos, sendo o Minimap indicado como o mais fácil tanto para o início da interação quanto depois de um certo tempo de uso. Os motivos apontados para isso foram a familiaridade com o layout das páginas mantida no Minimap e a sua visão de contexto dando suporte à localização;
- **Segurança de uso:** Nenhuma diferença significativa foi encontrada entre os dois métodos quanto à conveniência e confiança na busca da informação desejada;
- **Satisfação:** 18 dos 20 participantes preferiram usar o Minimap ao invés do Coluna Simples, sendo que 12 deles indicaram uma forte preferência.

Em um outro estudo, o Minimap foi testado considerando uma nova abordagem de acesso ao *thumbnail*. Ao invés de aparecer automaticamente com o uso da barra de rolagem, nesta avaliação, o Minimap aparecia somente quando uma tecla de atalho era pressionada. Outros 20 indivíduos participaram desse experimento e realizaram várias tarefas usando tanto a abordagem de Coluna Simples quanto a nova implementação do Minimap sem o *thumbnail*. Embora a maioria das tarefas tenham sido executadas sem acessar o *thumbnail*, a mesma preferência pelo Minimap do estudo anterior pôde ser verificada (18 participantes). Isso mostra como a consistência de layout através de pequenas formatações é suficiente para melhorar uma interação multi-dispositivo.

3.1.19 AWT2XIML (Interface Adaptável)

AWT2XIML é uma ferramenta de engenharia reversa criada por Santo & Zimeo (2007) capaz de gerar representações formais de interfaces a partir de aplicações gráficas desenvolvidas em Java com a classe AWT¹⁶. Dessa forma, a implementação de interfaces para múltiplos dispositivos é facilitada visto que o desenvolvedor precisa lidar apenas com descrições de interface ao invés de reconstruir o código fonte da aplicação. Essa vantagem é típica da maioria das propostas de interface adaptável, mas grande parte delas só se aplica à *web*. Sendo assim, o AWT2XIML dá o próximo passo nessa linha de pesquisa ao propor uma solução de adaptação de interfaces baseadas em componentes gráficos.

A abordagem de Santo & Zimeo (2007) usa a arquitetura TCPTE (CANFORA et al., 2005) para que as aplicações possam rodar em um servidor enquanto as interfaces são apresentadas no dispositivo remoto. A principal vantagem disso é que o desenvolvedor não precisa mais se preocupar com as limitações dos dispositivos visto que a lógica da aplicação roda no servidor. Para que a adaptação das interfaces seja feita de maneira adequada no cliente, o processo passa pelos seguintes passos:

¹⁶Kit de ferramentas para construção de janelas abstratas

1. **Engenharia Reversa:** Transformação do Java *bytecode* das interfaces em descrições abstratas. Inicialmente, a ferramenta abre o arquivo com o código binário da aplicação e apresenta seu conteúdo ao desenvolvedor. Este seleciona as classes da aplicação e ativa o analisador que gera o arquivo XIML (PUERTA; EISENSTEIN, 2002) com a estrutura dos componentes da interface (*ex.*: relações pai/filho na árvore de componentes, layout, localização).
2. **Adaptação:** Mapeamento dos componentes interativos abstratos em concretos de acordo com o dispositivo alvo. Esse trabalho é feito manualmente pelo desenvolvedor que, para cada descrição de componente em XIML, prepara múltiplas descrições adequadas às diferentes plataformas.
3. **Renderização:** As descrições construídas pelo desenvolvedor na fase anterior fornecem agora as regras de transformação para uso em tempo de execução na adaptação dos componentes de interface no cliente.

O estudo de caso realizado com o AWT2XIML não envolveu qualquer avaliação de usabilidade, mas apenas um teste quanto à geração de interfaces para *pocket PC* e *palmtop*. Os resultados apresentaram uma reorganização do layout central da interface *desktop*, um novo painel de abas substituindo várias partes do painel principal e a eliminação da barra de ferramentas. Como apresentado até então, essa ausência de compromisso com a consistência de layout é predominante na maioria das propostas de interface adaptável baseada em modelo.

3.2 Comparativo das Propostas

As propostas de design multi-dispositivo discutidas nas seções anteriores são apenas algumas das mais relevantes apresentadas em congressos na área de IHC dos últimos dez anos. Certamente existem outras de tamanha importância e que poderiam ter sido abordadas nesta tese. No entanto, o objetivo deste estudo era contribuir para a criação de um panorama geral identificando as principais linhas de pesquisa para o design multi-dispositivo. Nesse sentido, a Tabela 3.1 faz uma comparação das propostas resumindo suas principais características e contribuições para a área.

Tabela 3.1: Comparação das principais propostas de design multi-dispositivo.

Proposta	Evento	Cat*	Proposta	Experimento
Hodes et al. (1997)	MobiCom (1997)	LMS	Arquitetura de interação universal. Interfaces implementadas manualmente para apresentação/tradução no cliente.	N/A
WebTwig	WWW8 (1999)	LS	Estrutura de links do <i>site</i> em hierarquia de árvore. Clique no ícone expande o nível e no link revela seu conteúdo. Protótipo simulado em <i>desktop</i> .	Maior eficiência que na página original; simulação <i>desktop</i> não adaptada à tela menor de PDAs compromete confiabilidade dos resultados.
Power Browser	CHI (2000)	LS	Estrutura de links do <i>site</i> em hierarquia de árvore. Arrastar <i>esquerda-direita</i> sobre o link expande o nível e clique revela seu conteúdo textual.	Maior eficiência e menos movimentos com a caneta do que na página original; lentidão da rede pode ter garantido eficiência.
Eisenstein et al. (2000)	WMCSA (2000)	LMS	Técnicas para construir interfaces usando um design único (linguagem MIMIC); adaptação dinâmica em tempo real com suporte ao contexto.	N/A
ICrafter	Ubicomp (2001)	LMS	Framework com suporte à seleção/adaptação/geração de interfaces, agregação de serviços na mesma interface e adaptação aos espaços de trabalho.	N/A
Smartview	WWW (2002)	OM	Thumbnail da página <i>web</i> delimitado visualmente em seções lógicas; clique sobre uma seção revela seu conteúdo reformatado para o espaço disponível.	N/A
PIMA	CADUI (2002)	LMS	Ambiente para modelagem/geração de interfaces multi-dispositivos, suporte à alteração manual e inferência de modelos genéricos de interfaces existentes.	N/A
Damask	DMS (2002)	LMS	Ferramenta de prototipação usando camadas (permite propagar alterações inter-dispositivo) e padrões de design (modelos pré-estabelecidos).	Mais eficiente no design para <i>smartphone</i> ; modelos mais completos para <i>desktop</i> e <i>smartphone</i> (número de páginas, elementos e associações).
PUC	UIST (2002)	LMS	Gerador de interfaces de dispositivos móveis para controle remoto universal de aparelhos (<i>ex.</i> : impressora). Garante consistência entre dois modelos diferentes de um mesmo aparelho.	Mais eficiente e seguro que as interfaces dos aparelhos; versão consistente com o modelo conhecido do usuário é mais eficiente que a inconsistente.
TERESA	IUI (2003)	LMS	Ambiente para modelagem e geração de interfaces <i>web</i> adaptadas ao dispositivo e contexto de uso. Migração de interfaces automática ou por demanda.	Avaliações informais indicando que os usuários não foram desorientados pela migração de interfaces gráfica-voz.
Gateway	CHI (2003)	OM	Thumbnail exato da página <i>web</i> adaptado à largura do visor. Clique sobre uma seção revela seu conteúdo em uma caixa sobreposta ao <i>thumbnail</i> .	Melhor para reencontrar uma história já vista, comparar detalhes e navegar; preferência equivalente ao Linear para ler e encontrar uma nova história.
Banerjee et al. (2003)	MHCI (2003)	LS	Transcodificação automática de páginas <i>web</i> de mesmo domínio para uma visão hierarquizada de tópicos relevantes (árvore de links).	Elementos categorizados corretamente; quase todos os relevantes estavam presentes na estrutura de links e poucos irrelevantes permaneceram nela.
MADE	MHCI (2003)		Ambiente para desenvolvimento de aplicações móveis. Embora a arquitetura tenha potencial multi-dispositivo, apenas interfaces de PDAs são geradas.	Aplicações de jogo e turismo desenvolvidas com o MADE revelaram importância da visibilidade dos controles disponíveis e da metáfora escolhida.

* Categoria de classificação: (L) Linear, (O) *Overview*, (M) Modificação de Dados, (S) Supressão de Dados.

Continua na próxima página

Tabela 3.1 Comparação das principais propostas de design multi-dispositivo (**Continuação**)

Proposta	Evento	Cat*	Proposta	Experimento
Dygimes	MHCI (2003)	LMS	Framework para modelagem e geração automática de interfaces <i>web</i> adaptadas ao dispositivo e contexto de uso.	Desenvolvedores sem experiência em design de interfaces foram capazes de usar a ferramenta em poucas horas para criação de interfaces simples.
SUPPLE	IUI (2004)	LM	Geração automática de interfaces otimizadas às limitações do dispositivo e ao menor esforço do usuário para navegação.	Adaptação em dois segundos; avaliação informal onde um dentre quatro designers sugeriu o mesmo design do SUPPLE.
Personalização (interface adaptável)	MHCI (2004)	LMS	Adaptação estática aos dispositivos e dinâmica às preferências do usuário obtidas durante a interação (<i>ex.</i> : omitir imagens, resumir textos, etc.)	Observações informais indicando que o número e estrutura das regras de preferência devem ser reduzidos para ganho de eficiência na adaptação.
Thumbnail Resumido	CHI (2005)	OM	Thumbnail com fontes maiores e textos resumidos para garantir legibilidade de parte do conteúdo. Clique sobre o <i>thumbnail</i> revela a página original (Migração Direta) com textos completos.	Mais eficiente e seguro que o <i>columna</i> simples, maior preferência dos usuários e menor necessidade de zoom e uso da barra de rolagem que em ambos o <i>columna</i> simples e o <i>thumbnail</i> comum.
Minimap	CHI (2006)	OM	Formatação de textos e figuras para visualização de parágrafos adequada à largura do visor. Um <i>thumbnail</i> é sobreposto a esta visão sempre que a barra de rolagem é usada.	Maior facilidade de uso e grande preferência em relação ao <i>columna</i> simples.
AWT2XIML	SAC (2007)	LMS	Engenharia reversa de aplicações Java para obter descrições de interface que serão usadas na renderização dinâmica.	Foi possível adaptar uma aplicação Java <i>desktop</i> para plataformas de <i>pocket PC</i> e Palm-OS.

* Categoria de classificação: (L) Linear, (O) *Overview*, (M) Modificação de Dados, (S) Supressão de Dados.

O estudo dessas e outras propostas de design multi-dispositivo da atualidade permitiu elaborar a seguinte classificação para as mesmas:

- **Estrutura de Links:** Os trabalhos com o WebTwig, Power Browser e a transcodificação de Banerjee são exemplos dessa classe de soluções que demonstram uma grande preocupação tecnológica tanto com a velocidade de transmissão de dados em redes sem fio quanto com a capacidade de processamento dos dispositivos móveis. Por isso, a interface gerada na forma de uma árvore de links que obedece à estrutura do *site web* não mantém qualquer consistência com o layout da página original. Os resultados encontrados indicam maior eficiência na execução de uma tarefa quando os passos para sua realização são bem conhecidos. No entanto, essa melhoria parece ser devido mais à lentidão na transmissão de dados da página original em relação à estrutura de links do que por uma maior facilidade de uso. Nenhum experimento foi realizado para checar usabilidade em contextos de uso alternado e migração de tarefas;
- **Controlador Universal:** A arquitetura de Hodes, o framework ICrafter e a ferramenta PUC são exemplos dessa classe de design que sugerem o acesso multi-dispositivo por

interfaces geradas automaticamente para celulares e *pocket PCs* como se fossem controles remotos. Enquanto os dois primeiros parecem mais adequados a ambientes ubíquos fixos, a arquitetura do PUC se adapta melhor ao contexto móvel por permitir a comunicação com qualquer aparelho através de adaptadores que fazem a tradução dos protocolos. Embora a implementação baseada em modelo utilize regras gerais não muito intuitivas, os experimentos com o PUC mostraram que ele garante uma interação mais segura e eficiente do que as interfaces originais dos aparelhos, limitadas por custo e recursos de interação. Além disso, ao gerar interfaces consistentes com um modelo conhecido do usuário, foi possível aumentar duas vezes a eficiência que já havia sido avaliada como a melhor. Isso revela como a consistência de layout dá suporte ao modelo mental do usuário.

- **Interface Adaptável:** Esta parece ser a classe predominante por conter a maioria das abordagens propostas nesta área. No entanto, o estudo de boa parte delas revelou um motivo inadequado para isso. A proposta do design baseado em modelo visa a redução do trabalho do designer através da implementação de interfaces abstratas que se adaptam automaticamente ao dispositivo alvo, fazendo as alterações necessárias dos objetos de interface utilizados. Embora diminua a sobrecarga no desenvolvedor, as interfaces geradas podem não garantir uma boa transição inter-dispositivo para o usuário. No entanto, essa preocupação quanto a usabilidade não está presente em nenhum dos trabalhos estudados, tão pouco para contextos de uso alternado e migração de tarefas. Em geral, foram realizados apenas estudos de caso para checar a eficiência do processo de adaptação automática.
- **Consistência de Layout:** Smartview, Gateway, Thumbnail Resumido e Minimap são algumas das implementações de transformação *Overview* capazes de manter consistência de layout com a interface original. Os experimentos foram realizados simulando contextos de uso alternado e os resultados indicaram grande superioridade de eficiência, segurança e satisfação de uso dessas abordagens em relação às transformações automáticas de Migração Direta e Linear.

Como se pode notar, o velho conceito de consistência em design de interação ainda está presente em algumas dessas classes como fator essencial à usabilidade, ainda que sob uma nova perspectiva. Várias discussões têm se firmado a respeito de seu novo significado, dimensões de abrangência e importância para o design multi-dispositivo. Com o intuito de caracterizar melhor essas transformações, as próximas seções dão foco à apresentação do conceito de consistência para a solução do problema abordado nesta tese.

3.3 Consistência no Design Multi-Dispositivo

“Consistência em sistemas computacionais constitui uma promessa ao usuário. E não é educado quebrar uma promessa.” (NIELSEN, 1989)

3.3.1 Histórico do Conceito

Em abril de 1981, a Xerox anunciou a chegada do Star 8010, um computador pessoal desenvolvido para uso em escritórios que consistia de um processador, monitor, teclado e mouse. Desde antes da sua criação, o conceito de *consistência* já era empregado no desenvolvimento de sistemas computacionais e tido como uma meta admirável. Com o Star não foi diferente. Só que desta vez, ele era tratado como um princípio de design para construção da interface de um produto comercial (SMITH et al., 1982). A partir daí, a importância da consistência para o design de interação era indiscutível. Apelos para isso não faltavam, como nas frases *“Criem interfaces humanas consistentes”* do livro de Rubinstein & Hersh (1984), *“Esforcem-se pela consistência”* nas oito regras de ouro para o design de Shneiderman (1987) ou mesmo em uma das dez heurísticas de usabilidade de Nielsen & Molich (1990): *“Consistência e padrões: os usuários não devem ter que adivinhar se palavras, situações ou ações diferentes significam a mesma coisa.”* Se por um lado, consistência era um atributo aparentemente indispensável, por outro, tanto pesquisadores quanto desenvolvedores não sabiam muito bem como defini-lo.

Voltando na abordagem de Smith et al. (1982) para iniciar a discussão sobre o processo de evolução deste conceito, consistência era definido como um padrão de uso dos mecanismos para qualquer situação de sua ocorrência. Por exemplo, se o botão esquerdo do mouse era usado para selecionar um caractere, então deveria ser usado para selecionar qualquer coisa, como uma linha de gráfico ou um ícone. Polson et al. (1986) afirmam que essa consistência facilita transferências positivas, o aumento na velocidade de treinamento e uma melhor retenção dos procedimentos de operação. Nielsen (1989) também está de acordo com essa característica de transferência de habilidade de um sistema para outro conduzindo a uma maior facilidade de aprendizado.

Definições como a de Smith et al. (1982) predominaram até o início da década de 1980, mas essa visão simplista de adoção de padrões dentro de um mesmo projeto começou a assumir formas diferentes com o passar do tempo. Contextos de uso e o modelo mental desenvolvido pelo usuário na interação com vários sistemas começaram a se tornar fatores importantes no estabelecimento desse conceito, como indicado por Kellogg (1989): *“Questões de consistência, tanto dentro de uma quanto entre várias aplicações e ambientes de sistemas, são inevitáveis para designers e usuários: estes generalizam, correta ou incorretamente, com base em suas experiências prévias e no que eles conhecem; as aplicações e ambientes são consistentes ou não em uma variedade de formas que influencia o*

uso.” Com o passar do tempo, ficava claro que não era necessário definir consistência de maneira específica, mas compreendê-la dentro de um conjunto de dimensões de abrangência relacionando os principais componentes do design: “*Consistência não tem significado em si mesmo. É basicamente um conceito relacional.*” (KELLOGG, 1989).

Dez anos após a teoria de modelos mentais do Design Conceitual de Norman (1983), ainda era possível verificar a influência de suas idéias em definições de consistência como a de Reisner (1993): “*Consistência pode ser considerada como um acordo entre dois agentes, por exemplo, o designer e o usuário, em como interpretar a interface a respeito da tarefa a ser executada.*” Como se pode perceber, a preocupação quanto ao estreitamento do golfo entre o modelo do design e o modelo do usuário é nítida (NORMAN, 1988), principalmente pelo destaque nas tarefas e experiência prévia do usuário (ver Notação 2.1 da seção 2.3.2).

Ainda no final da década de 1980, começaram a surgir os primeiros pesquisadores discordantes da importância conferida à consistência como princípio de design. Além da ausência de uma boa definição para o termo, várias outras críticas começaram a ser apresentadas. Para Grudin (1989), por exemplo, o “*foco em consistência encorajava a falsa crença de que um bom design poderia ser obtido em propriedades da interface.*” Não era fácil concordar com uma frase dessas no contexto de design, especialmente naquela época. A comunicação entre máquina e ser humano sempre foi viabilizada através de uma interface, o que tornava difícil enxergar qualquer outra maneira para melhorar essa comunicação senão pela interface. No entanto, Grudin (1989) não estava incentivando a ausência de métodos no design simplesmente por rejeitar consistência como uma meta primária. A intenção era “*alterar o foco das propriedades gerais da interface para as tarefas dos usuários e seus contextos de trabalho, limitações físicas e psicologia.*” (GRUDIN, 1989, p.1164).

Com a miniaturização dos componentes digitais e a evolução tecnológica dos últimos anos, a abordagem de Grudin (1989) encontrou grande apoio no design multi-dispositivo, recebendo cada vez mais adeptos. Atualmente, o conceito de consistência tem sido visto como algo ultrapassado e por vezes desnecessário, como indicado por Botherel & Karsenty (2005): “*...os usuários podem facilmente se adaptar ou ainda preferir algumas inconsistências, especialmente no nível dos procedimentos de interação.*” A preocupação com os novos contextos de uso ficava clara na alteração de foco proposta por Pyla et al. (2006): “*Consistência é desejável contanto que dê suporte à migração contínua de tarefas, mas não pode ditar o design.*” Por outro lado, muitos pesquisadores ainda concordam com a importância da consistência para o design, afirmando que “*o ambiente deve ser uma experiência de usuário coerente*” (TRAPP; SCHMETTOW, 2006) e que “*a consistência é um fator crítico no suporte ao momentum de interação.*” (HAJDUKIEWICZ, 2006).

A partir desse breve histórico, fica clara a necessidade de redefinição do conceito de consistência, principalmente para o contexto de aplicações multi-dispositivos. Neste sen-

tido, Nichols et al. (2006b) reuniram as abordagens de vários pesquisadores e as dividiram em duas categorias:

- **Nível do usuário:** A consistência inter-plataforma permite aos usuários transferirem conhecimento em algum nível entre interfaces de diferentes plataformas;
- **Nível da interface:** A consistência inter-plataforma gera interfaces que irão utilizar as mesmas escolhas de design para as mesmas funções, tais como assegurar que um mesmo objeto de interface sempre execute a mesma ação.

Como se pode perceber, as definições de ambos os níveis do usuário e da interface acabam se sobrepondo, visto que o primeiro representa a meta principal e, o segundo, uma maneira de atingi-la. Mesmo com o desenvolvimento do conceito de consistência verificado nos últimos anos, ainda hoje ele não pode ser definido com exatidão. Ao invés disso, procura-se compreender sua utilização dentro de algumas dimensões com formas e preocupações diferentes. A seção a seguir caracteriza melhor essa abordagem.

3.3.2 Dimensões de Abrangência

Consistência já foi estudada dentro da dimensão de uma única aplicação em desenvolvimento. Mais tarde, ela se dividiu em duas formas diferentes chamadas *interna* e *externa*, incluindo também a padronização inter-aplicações (NORMAN, 1988). Com o novo contexto multi-plataforma no qual diferentes interfaces são construídas para atender uma mesma aplicação, as dimensões de abrangência começaram a ficar ainda mais específicas. Nichols et al. (2006b) identificaram cinco dimensões para a consistência inter-plataforma:

- **Tarefa:** Metas similares exigem conjuntos de ações similares para alcançá-las. Essa definição da consistência tarefa-ação é abordada por Dittmar & Forbrig (2006) para os sistemas multi-dispositivos como uma relação entre o modelo mental do usuário e as diferentes interfaces;
- **Contexto:** Cada elemento de uma aplicação pode pertencer a múltiplos contextos e estes podem ser dependentes uns dos outros. Richter et al. (2006) definem essa consistência como sendo o processo que serve de ambiente operacional afetando a percepção de suas propriedades durante, por exemplo, o uso ou a transição;
- **Navegação:** Processo de encontrar uma função, exigindo ou não a travessia de várias telas da interface. Segundo Ali (2006), dependendo das plataformas escolhidas, pode ser que diferentes estilos de navegação não sejam apenas desejados - eles podem ser uma necessidade;

- **Layout:** Refere-se à localização dos controles em cada interface;
- **Plataforma (Look and Feel):** Refere-se à aparência dos controles em cada interface.

Essas dimensões possuem relacionamentos diretos e indiretos umas com as outras. Por exemplo, a dimensão de tarefa tem forte ligação com a navegação por ser um mapeamento do modelo mental do usuário nas ações correspondentes nas interfaces. Ela também se aproxima muito da dimensão de contexto por serem ambos conceitos abstratos sem foco em atributos físicos da interface. Além disso, contextos podem ser considerados tarefas em alguns casos.

Em resumo, cada abordagem de design multi-dispositivo prioriza alguma dessas dimensões de consistência. Resta saber quais delas podem contribuir mais para uma interação de qualidade nos diferentes contextos. Mais importante ainda é compreender como elas devem ser aplicadas dentro de uma proposta de design centrado no usuário.

3.3.3 Foco no Usuário ou na Consistência de Interfaces?

O objetivo principal dessa tese é o retorno do foco do Design de Interação para o usuário, trazendo de volta a preocupação com o seu modelo mental desenvolvido durante a interação com a interface de uma aplicação. Na prática, essa preocupação se reflete no design de interfaces multi-dispositivos consistentes com a expectativa do usuário e, de uma certa forma, com as propriedades inter-dispositivos. Logo, a resposta para o título dessa seção é imediata: foco no usuário. Mas o resultado também pode ser percebido nas propriedades da interface.

Um argumento comum contra essa posição favorável à consistência é o de perda de eficiência na execução das tarefas. Um exemplo típico é apresentado por Grudin (1989) quanto à melhor organização das facas de uma casa. Guardar todas elas em uma única gaveta da cozinha pode ser a alternativa que forneça maior consistência. No entanto, algumas facas especiais normalmente não seguem essa regra, como a faca de cristal, guardada na sala junto com os outros cristais e porcelanas para ocasiões especiais; a faca de canivete suíço, que fica junto com o material para acampamento; ou a faca de cerca, deixada na bancada da garagem. Para Grudin, essa é a melhor configuração porque o arranjo das facas foi feito de maneira a priorizar a forma, tarefas e o contexto no qual elas são usadas. Por mais contraditório que pareça ser, esta tese está de acordo com essa visão e a aparente contradição é desfeita considerando o escopo de design multi-dispositivo. Usando o próprio exemplo, suponha que o usuário em questão acumule as funções de cozinheiro e carpinteiro, atendendo vários clientes em suas casas diariamente. Logo, esta tese concorda com a visão de Grudin quanto à disposição das facas de maneira personalizada e adequada às tarefas do usuário dentro de sua própria casa, mas todas as vezes que ele

precisa executar as mesmas tarefas com facas similares nas casas de seus clientes, sugere-se que a localização esperada esteja disponível (dentro da analogia, cada casa corresponde a uma interface multi-dispositivo da aplicação e a organização das facas corresponde à disposição dos mecanismos de controle em cada interface). Da mesma forma, cada cliente deve ter acesso às facas nos locais de costume, os quais nem sempre serão consistentes com os do usuário. Embora esse rearranjo automático no momento da execução da tarefa não seja possível devido às limitações de natureza física do exemplo, ele pode ser implementado para o contexto de aplicações computacionais. Ainda sobre o exemplo e de maneira análoga às propostas de design baseado em modelo, o que não se pode aceitar é que os designers das casas proponham a construção automática delas de forma que a disposição das facas e a sua utilização sejam feitas mais pela adequação ao procedimento de construção dessas casas do que pelo interesse e experiência prévia do usuário. Neste sentido, o capítulo a seguir apresenta a proposta desta tese que contribui para a solução deste problema.

Capítulo 4

Prioridades de Consistência no Design Multi-Dispositivo

4.1 Construção da Proposta

O corpo teórico desta proposta teve suas idéias iniciais apresentadas por Oliveira & Rocha (2005) e foi posteriormente implementado para o domínio de aplicações de Educação a Distância (OLIVEIRA; ROCHA, 2006, 2007b). Em resumo, a abordagem de design multi-dispositivo estabelecia que uma aplicação computacional deve ter o mesmo modelo conceitual nas n interfaces de acesso mantendo boa usabilidade. Como se pode perceber, essa proposta recorre à definição de um termo de grande controvérsia dentro da literatura de IHC. Enquanto Norman (1986) definia modelo conceitual como a conjunção dos modelos de design e do usuário, outros consideravam apenas o primeiro que, na prática, reduzia sua abrangência aos diagramas de classe com seus atributos e relacionamentos (ROSSI et al., 1999; JOHNSON; HENDERSON, 2002; ANDRADE et al., 2004). Por isso, a seguinte definição foi utilizada para ampliar o conceito em direção à sua proposta original: “*Modelo conceitual é uma descrição do sistema proposto em termos de um conjunto de idéias integradas e conceitos sobre o que ele deve fazer, como se comportar e parecer, de forma a se tornar compreensível aos usuários da maneira desejada*” (PREECE et al., 2002). Dentro desta abordagem, a sugestão de que o modelo conceitual não deve ser alterado nas várias interfaces de uma mesma aplicação significa que o modelo do usuário deve ser mantido, seja para checar o saldo bancário em um terminal bancário ou em um *smartphone*, por exemplo. O objetivo era a busca por uma experiência consistente com quaisquer que fossem as interfaces da aplicação.

Essa proposta gerou uma série de questionamentos, sendo que os principais argumentavam a favor da incerteza da construção de um modelo mental na primeira interação com um dispositivo, da facilidade de adaptação desses modelos às diversas plataformas,

da impossibilidade de manter o mesmo modelo conceitual em dispositivos com tipos de interação diferentes e da grande probabilidade do contexto poder exigir formas de uso diferentes. Esses e outros argumentos foram refutados por Oliveira & Rocha (2007a).

Ainda assim, não era muito claro como a transição teórico-prática poderia ser feita. Por mais que o conceito fosse estabelecido, era preciso prover uma orientação metodológica para a implementação da proposta de design multi-dispositivo. Neste sentido, Oliveira & Rocha (2007d, 2007c, 2008) propuseram uma hierarquia de prioridades de consistência que, quando seguidas, colaboram para o aprimoramento da usabilidade e da experiência de usuário ao realizar tarefas similares em dispositivos diferentes. As seções a seguir detalham esta proposta.

4.1.1 Ciclo de Atualização do Modelo Mental do Usuário

Para manter consistência com o modelo mental do usuário na execução de uma mesma tarefa em múltiplas interfaces, é necessário entender os processos cognitivos envolvidos na interação. As seções iniciais do referencial teórico destacam este tema deixando claro a necessidade de redução do esforço do usuário ao interagir com uma interface similar a outra previamente conhecida. Resta conectar esta teoria de forma a explicar o processo de atualização do modelo mental do usuário para que se possa propor soluções em busca dessa redução de esforço.

Norman (1986, 1988) colabora neste sentido com a proposição de um ciclo de atualização do modelo mental do usuário que se baseia em um raciocínio bem simples. Para fazer alguma coisa, é necessário começar com uma noção do que se quer, ou seja, a meta a ser alcançada. Em seguida, algo deve ser feito em relação ao mundo de tal forma que a ação do indivíduo o aproxime da meta desejada. Por último, deve-se checar se tal meta foi alcançada. Segundo Norman (1988), este processo pode ser dividido em sete estágios de ação:

1. **Formação da Meta:** Algo que se deseja alcançar. *Ex.:* checar se existe alguma tarefa urgente para realizar.
2. **Formação da Intenção:** Especificar o que deve ser feito para alcançar a meta. *Ex.:* ler os emails recebidos recentemente.
3. **Especificação da Sequência de Ações:** Estabelecer a sequência precisa de ações a serem realizadas no mundo para efetuar a intenção. *Ex.:* ligar o computador, digitar senha de usuário, conectar-se à internet, acessar o gerenciador de *e-mail*, *etc.*
4. **Execução de uma Ação:** Executar cada ação da sequência estabelecida. *Ex.:* ligar o computador (de fato).

5. **Percepção do Estado do Mundo:** Perceber o que aconteceu após a execução da sequência de ações. *Ex.:* percepção visual das telas e dos sons emitidos após cada ação.
6. **Interpretação do Estado do Mundo:** Gerar significado para os eventos percebidos. *Ex.:* comparação da experiência prévia com a atual envolvendo todos os efeitos produzidos durante a execução de ações.
7. **Avaliação do Resultado:** Comparar o que aconteceu com o que era desejado. *Ex.:* foi possível verificar se existe alguma tarefa urgente para realizar?

Como se pode notar, o ciclo de estágios de ação envolve vários processos cognitivos, tais como a *atenção* quanto aos elementos do mundo, *tomada de decisão* para a execução das ações, *percepção* dos efeitos produzidos, uso da *memória* para interpretação do estado do mundo e *aprendizado* do resultado final. A Figura 4.1 faz uma adaptação deste modelo esquematizando-o de uma maneira simplificada e com maior destaque para o estágio de atualização do modelo mental do usuário.

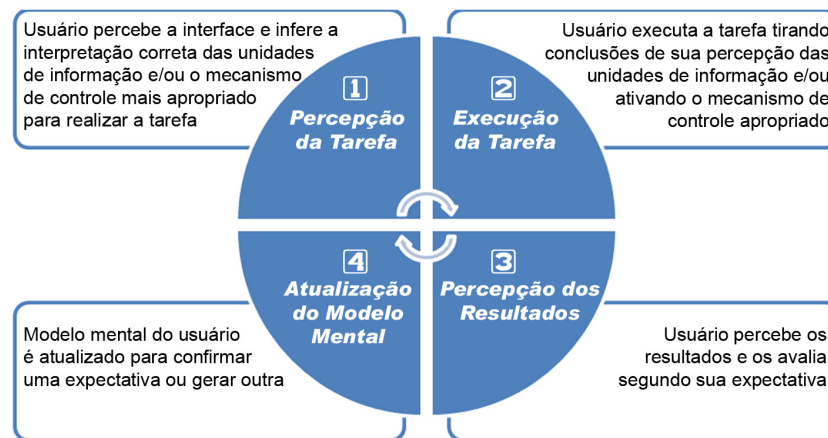


Figura 4.1: Ciclo de atualização do modelo mental do usuário ao executar tarefas em interfaces computacionais.

4.1.2 Prioridades de Consistência

“O design de uma interface consistente se inicia no nível das tarefas”
(CONINX et al., 2003, p.260).

De acordo com o ciclo de atualização do modelo mental do usuário apresentado na Figura 4.1, o primeiro passo do usuário é inferir qual deve ser sua ação em busca da meta

desejada para só então vir a executá-la de fato. Esse processo de inferência normalmente contrasta a percepção da interface (*ex.*: visual, auditiva, tátil, *etc.*) com a experiência prévia do usuário (modelo mental). O resultado disso é a sugestão de uma tomada de decisão que, segundo o julgamento particular do usuário, aumenta a probabilidade de alcançar seu objetivo. No entanto, quando o sistema oferece situações semelhantes que conduzem, por inferência, a conclusões diferentes, é provável que o usuário venha a cometer erros e tenha de armazenar informações ambíguas em seu modelo mental (quarto estágio). Para evitar isso, *esta tese propõe que as interfaces de uma mesma aplicação devem preservar as mesmas características perceptivas (que serão os dados de entrada do processo de inferência) e adotar um comportamento consistente no qual uma mesma tarefa possa ser concluída seguindo um mesmo fluxo de ações, independente das diferentes modalidades de tipos de interação envolvidas.* Esta proposta pode ser hierarquizada nas seguintes prioridades de consistência:

- **Percepção da Tarefa:** Constância perceptiva dos mecanismos de controle e unidades de informação relevantes à tarefa, além da preservação de sua localização relativa na interface. Se os dispositivos apresentarem divergências relevantes quanto ao (à):
 - **tamanho**, adaptar a interface mantendo visibilidade;
 - **forma**, adaptar a interface mantendo visibilidade e mapeamento;
 - **cor**, adaptar a interface mantendo visibilidade, mapeamento e feedback.

Por outro lado, se os tipos de interação forem incompatíveis com estes atributos (*ex.*: interfaces gráficas sensíveis ao toque e interfaces por comando de voz), a percepção de cada mecanismo de controle e sua localização relativa devem ser mapeadas para sensibilizar o sentido humano correspondente.

- **Execução da Tarefa:** Preservação do fluxo de ações para executar as tarefas de usuário. Se os mecanismos de controle tiverem sido adaptados pela prioridade de percepção da tarefa, o fluxo de ações deve ser mantido em uma perspectiva lógica para que os nós do modelo de tarefas e suas conexões permaneçam iguais, mudando-se apenas a implementação da natureza de suas ações.

Por se adequar à experiência prévia do usuário, esta hierarquia de prioridades de consistência deve contribuir para a construção de interfaces multi-dispositivos garantindo maior facilidade de aprendizado, lembrança e segurança em contextos de uso alternado e de migração de tarefas. No entanto, alguns usuários podem optar pelo acesso à aplicação através de um único dispositivo, reduzindo a importância da preocupação com sua experiência. Mais do que isso, a própria natureza variada desses dispositivos pode limitar

o conjunto de tarefas executáveis pela aplicação. Neste caso, eficiência e satisfação de uso podem ser comprometidas pela preservação dos dois primeiros níveis de consistência. Logo, sugere-se a aplicação de uma terceira prioridade de consistência para balancear os atributos de usabilidade:

- **Personalização da Tarefa:** Habilidade de mudar a percepção e execução da tarefa de acordo com as preferências do usuário. A meta é atingir o melhor design possível que é aquele com a configuração desejada pelo usuário. Neste caso, incentiva-se a criação de bons padrões de layout por parte do designer, deixando ao usuário a escolha daquele de sua preferência. Essa prioridade está relacionada com o conceito de design pessoal consistente de Nichols (2006), mas com uma posição ativa por parte do usuário. Como resultado, eficiência e satisfação de uso são garantidas tanto aos usuários experientes quanto aos novatos, evitando uma das desvantagens do design consistente apontadas por Grudin (1989).

É importante que a aplicação prática destes conceitos seja bem caracterizada visto que a interpretação dessas prioridades pode ser facilmente mal compreendida. Por exemplo, se um indivíduo deseja checar seu saldo bancário usando um terminal, um *tablet PC* e um telefone, é inviável (quando não impossível) garantir que ele possa perceber e executar tarefas da mesma forma. Por outro lado, se o acesso à aplicação usando todos estes dispositivos for de grande importância para o usuário, a adaptação aos seus diferentes tipos de interação é um preço que eles se propõem a pagar. Aliás, esta forma de adaptação é uma das atividades que as pessoas mais sabem fazer. Dentro desta metodologia, ela faz parte, inclusive, da consistência na personalização da tarefa (*ex.*: em casos de deficiências motoras, visuais ou auditivas). Sendo assim, o foco passa a ser o de preservação da percepção e execução das tarefas sob uma perspectiva lógica, o que pode ocorrer por meio de textos digitados, escritos ou falados. Logo, a alteração nestas modalidades de estímulos sensoriais é permitida, mas o mapeamento da organização perceptual e do fluxo de ações para execução das tarefas deve ser preservado, deixando ao usuário a capacidade de escolher um padrão de interface ou personalizá-lo. Esta visão está de acordo com o trabalho de Nichols et al. (2007) sobre as vantagens de se beneficiar da experiência do usuário, além de dar suporte aos tipos de interação presentes nos mais variados dispositivos.

4.1.3 Teoria reforçando Teoria

A natureza subjetiva desta proposta de design torna impraticável a elaboração de uma prova teórica. Ainda assim, vários resultados experimentais e conceitos estabelecidos em áreas multidisciplinares, como a Psicologia, Neurociência, Sistemas de Informação e Interação Humano-Computador, dão suporte a esta proposta. Sendo assim, apresenta-se a seguir uma lista com algumas delas abordadas no referencial teórico:

- Thorndike (1898) firmou as bases da teoria do Conexionismo a partir de um de seus experimentos que originou a Lei do Efeito: *respostas seguidas de conseqüências satisfatórias se tornam associadas com a situação e irão repetir com maior probabilidade quando a mesma situação for encontrada*. Esta lei dá suporte ao ciclo de atualização do modelo mental do usuário proposto nesta tese. Além disso, ela sugere que a execução de uma tarefa em interfaces diferentes está diretamente ligada à percepção das mesmas e que, se estas forem similares ao ponto de caracterizar uma mesma situação, existe uma probabilidade maior de que o indivíduo irá tomar as mesmas decisões;
- Segundo o princípio da Constância Perceptiva, as pessoas esperam que um dado objeto seja sempre percebido com o mesmo tamanho, forma e cor, dado que mudanças nestes atributos podem gerar uma percepção equivocada. Essa teoria da Psicologia dá suporte à prioridade de consistência na percepção da tarefa;
- As teorias do Cognitivismo analisam a maneira com a qual as pessoas executam tarefas mentais e visam à construção de modelos que expliquem esse processo. Segundo elas, para que o aprendizado ocorra, novas informações devem se ajustar ao que já é conhecido. Além disso, a individualidade das pessoas faz com que elas demandem metodologias de ensino diferentes para aprenderem (HARTLEY, 1998). Estas teorias conferem importância às três prioridades de consistência (percepção, execução e personalização de tarefas);
- Young (1983) propõe uma abordagem de modelo mental chamada mapeamento tarefa-ação na qual a consistência tem grande importância para garantir que tarefas sobrepostas em mais de uma parte do sistema sejam traduzidas no mesmo conjunto de ações. Essa abordagem dá suporte à prioridade de consistência na execução da tarefa;
- Rasmussen (1987) e Norman (1993) apresentam propostas para a classificação do modelo humano de processamento de informação. Em ambas as abordagens, fica claro que as atividades com maior exigência cognitiva são aquelas nas quais o indivíduo passa por uma situação desconhecida, exigindo maior atividade de raciocínio, pensamento, comparação e tomada de decisão. Situações familiares podem ser resolvidas de maneira simplificada, reforçando a hipótese de que o design de interfaces multi-dispositivos deve ser consistente com a experiência prévia do usuário;
- Manktelow & Jones (1987) aplicam a teoria de Johnson-Laird (1983) e afirmam que a construção do modelo mental do usuário considera, inicialmente, a extensão de um modelo existente. Essa afirmação está de acordo com o ciclo de atualização do modelo mental.

- Segundo Wozny (1989), a expansão do conhecimento em computação aumentará o número de usuários capazes de usarem analogias quando do aprendizado de novos sistemas, capacidade esta essencial a uma das abordagens de modelo mental chamada Analogia de Modelo. Essa tendência reforça a viabilidade de implementação das prioridades de consistência;
- Sohlberg & Mateer (1989) desenvolveram um modelo clínico para avaliação de atenção em pacientes com patologias neurológicas no qual cinco atividades formam uma hierarquia com graus de dificuldade crescente. Os dois graus mais elevados desta hierarquia (atenção alternada e dividida) sugerem que os contextos de uso alternado e migração de tarefas demandam grande esforço cognitivo, o que contribui para uma maior complexidade no design multi-dispositivo. Isso mostra quão adequado se faz o estudo de soluções de design para estes contextos móveis;
- Payne et al. (1990) afirmam que cada tarefa executada pelo usuário deve estar unida aos operadores correspondentes no dispositivo. Essa hipótese, chamada de Espaços do Estado de União, incentiva o estudo de consistência no nível de tarefas do usuário e em seu modelo mental sobre como executá-las na interface computacional;
- Banavar et al. (2000) estabelecem alguns preceitos para a computação pervasiva, dentre os quais afirma que uma aplicação é o meio pelo qual o usuário realiza uma tarefa e não uma parte do software escrita para explorar as capacidades do dispositivo. Esta afirmação dá suporte à abordagem desta tese quanto ao design multi-dispositivo centrado no usuário;
- Denis & Karsenty (2004) afirmam que as diferenças na organização espacial da informação podem reduzir a eficiência na identificação dos objetos da interface e que as diferenças em seus formatos podem dificultar a associação de um objeto com sua função. Além disso, quando dois objetos gráficos são nomeados de maneira inconsistente entre duas versões do sistema, o usuário precisa adivinhar se o objeto possui a mesma função em ambas as versões. Essas afirmações dão suporte à prioridade de consistência na percepção da tarefa;
- MacKay et al. (2004) observaram experimentalmente que uma abordagem de transformação *Overview* com consistência de layout apresenta maior satisfação de uso do que abordagens de transformação Linear ou Direta. Encontrar uma nova história, reencontrar uma história já vista, comparar detalhes de uma história e outra e navegar pelas páginas *web* foram tarefas que os usuários preferiram executar em interfaces de *pocket PC* que mantinham consistência visual com a interface original para *desktop*;

- Lam & Baudisch (2005) obtiveram resultados semelhantes aos de MacKay et al. (2004), além de constatarem uma maior eficiência (velocidade na execução das tarefas) e segurança de uso (menor taxa de erros) da abordagem com consistência de layout;
- Roto et al. (2006) também realizaram um experimento comparando uma abordagem de transformação *Overview* com a Linear e observaram que a facilidade de aprendizado e a satisfação de uso foram maiores quando a consistência de layout foi preservada;
- Hajdukiewicz (2006) aponta a consistência como o fator crítico de suporte ao momentum de interação (migração de tarefas). Segundo ele, pistas fundamentais que permanecem invariantes entre as plataformas facilitam a adaptação do indivíduo e lhe conferem melhor capacidade de execução da tarefa;
- Nichols et al. (2007) observaram uma eficiência duas vezes maior na execução de tarefas em impressoras de marcas diferentes usando um controle remoto universal com interfaces consistentes com um modelo conhecido do usuário. Este trabalho deixa claro como uma abordagem de design baseado em modelo pode obter melhores resultados ao conferir maior importância ao modelo mental do usuário.

4.2 Aplicação da Proposta

A implementação prática desta proposta deve ser compreendida em conjunto com o processo de design da aplicação original. Neste sentido, a Figura 4.2 destaca a sequência de passos a serem tomados no modelo do ciclo de vida do software. Os passos mais relevantes são descritos a seguir:

1. **Construção do Modelo de Tarefas:** Representação das tarefas de usuário, tarefas de interação necessárias à execução dessas tarefas de usuário, sequência temporal de execução das tarefas e unidades de informação presentes na interface;
2. **Construção do Fluxo de Ações das tarefas relevantes do usuário:** Descrição passo a passo do esforço cognitivo do usuário na percepção, execução e uso de memória para a realização de suas tarefas mais importantes;
3. **Análise de Restrições dos Dispositivos:** Comparação entre os dispositivos de acesso à aplicação para identificação das restrições mais relevantes entre eles. Dessa forma, o designer identifica os princípios de design a serem preservados na fase seguinte;

4. Implementação das Prioridades de Consistência: Design da(s) interface(s) alternativa(s) seguindo as três prioridades da hierarquia de consistências (percepção, execução e personalização).

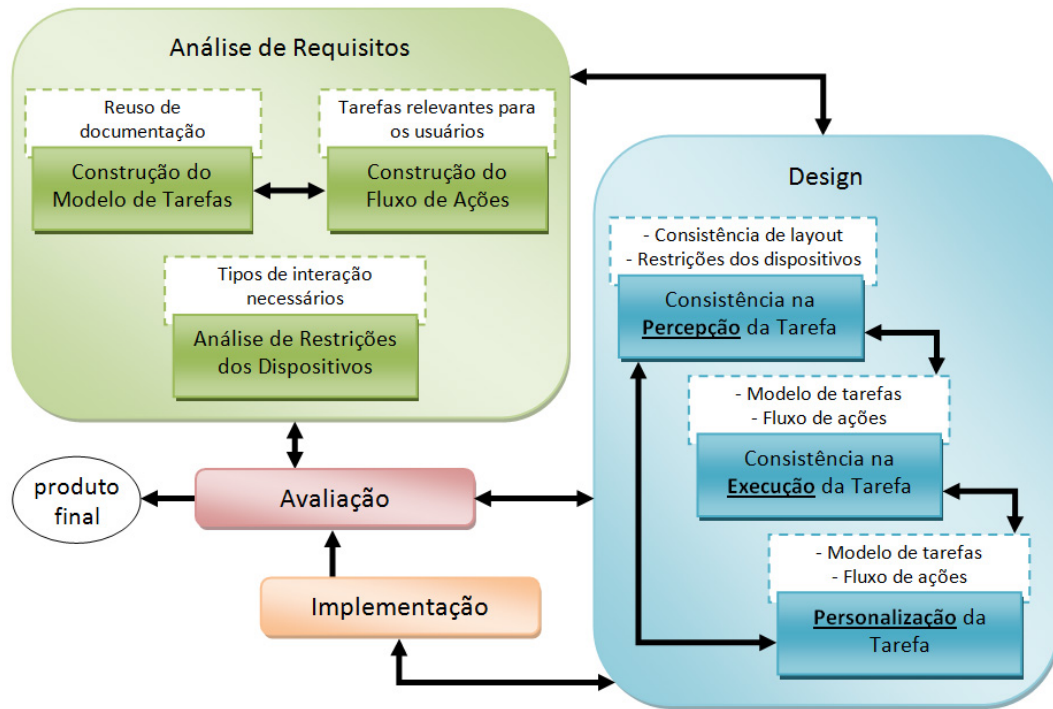


Figura 4.2: Modelo do ciclo de vida de uma aplicação com foco nos passos da metodologia de design multi-dispositivo por prioridades de consistência.

Para facilitar a compreensão desta metodologia, esta seção apresenta um exemplo de sua aplicação visando a preservação das prioridades de consistência no design de interfaces de *pocket PC* para uma aplicação *desktop* já existente. A seguir, tem-se a descrição da aplicação escolhida como exemplo, a elaboração do modelo de tarefas relativo a uma de suas ferramentas, a identificação dos fluxos de ações de algumas das tarefas de usuário mais relevantes, a análise de restrições dos dispositivos a serem usados e, por fim, o processo de construção de duas interfaces móveis adequadas a diferentes contextos de uso.

4.2.1 Domínio da Aplicação

A Educação a Distância (EaD) foi escolhida para ser o domínio da aplicação de exemplo. Vários fatores contribuíram para essa escolha, sendo seu potencial de disseminação no contexto móvel e a disponibilidade de recursos humanos para realização de experimentos,

alguns dos mais relevantes. Embora exista há mais de 150 anos, a EaD teve grande impulso com o advento da Internet e a chegada dos sistemas de ensino eletrônico. Como exemplo destes sistemas, faz-se destaque ao TelEduc¹, um ambiente de ensino de código aberto usado por mais de 3000 instituições no Brasil e no exterior, dentre escolas, faculdades, universidades e empresas. Um dos principais motivos desta popularidade é a sua boa usabilidade, resultado de um processo de formação de professores para a informática educacional, baseado na metodologia de formação contextualizada desenvolvida por pesquisadores do Núcleo de Informática Aplicada à Educação (NIED) da Universidade Estadual de Campinas. A Figura 4.3 mostra uma tela da interface *desktop* deste sistema.

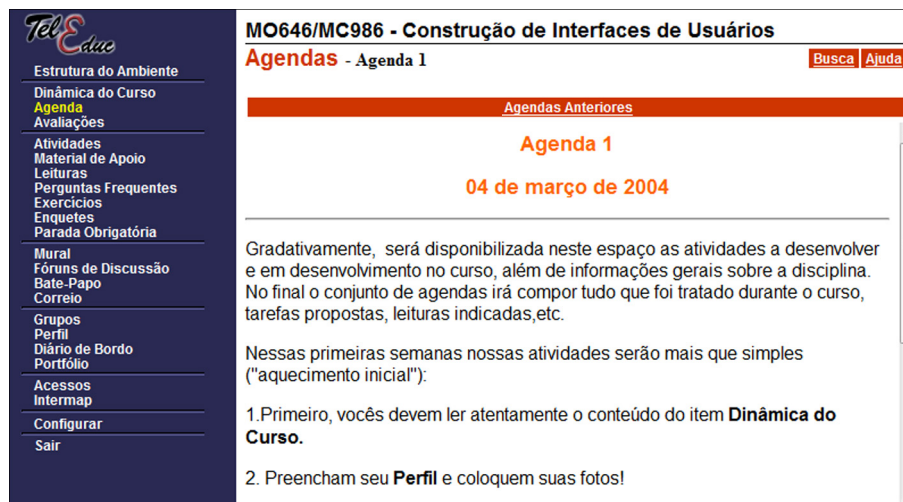


Figura 4.3: Exemplo de tela do ambiente de EaD TelEduc.

Em geral, os cursos de EaD fazem apologia às facilidades de estudo a qualquer hora e em qualquer lugar, mas o simples fato de introduzir a necessidade de um computador conectado a Internet impõe uma barreira à mobilidade do estudante. Com o surgimento dos novos dispositivos móveis sem fio com boas capacidades de processamento (*ex.: smartphone, pocket PC, etc.*), a EaD parece ter recebido a matéria prima para concretizar sua proposta inicial de maneira efetiva. Resta saber como estes recursos podem ser aproveitados com boa usabilidade no acesso multi-dispositivo a uma mesma ferramenta de EaD.

Neste sentido, o TelEduc foi escolhido como a aplicação de exemplo para implementação da proposta desta tese visando uma transição adequada entre suas interfaces multi-dispositivos: *desktop* e *pocket PC*. É importante destacar que os resultados aqui obtidos podem ser reutilizados em boa parte para outros ambientes computacionais de apoio ao

¹<http://teleduc.nied.unicamp.br/teleduc>

ensino presencial, como o Tidia-Ae², Moodle³, Sakai⁴, dentre outros. Isso se deve ao fato de que esses ambientes possuem uma intersecção significativa de recursos, tais como de suas ferramentas de comunicação (*ex.*: *e-mail*, bate-papo, fórum de discussões), de materiais de estudo (*ex.*: notas de aula, slides, portfólio pessoal/grupo) e de atividades dos alunos (*ex.*: exercícios, avaliações).

4.2.2 Modelo de Tarefas

Construir um modelo com a especificação de tarefas da aplicação é o primeiro passo desta proposta que dará subsídio à análise de prioridades de consistência. A grande vantagem do uso de modelos de tarefas é o fato deles descreverem os sistemas interativos em termos das metas dos usuários e das tarefas necessárias ao alcance destas metas. Com a modelagem explícita de todos os passos necessários à execução de cada tarefa, o processo de design multi-dispositivo ganha suporte para geração de interfaces consistentes. Isso se deve, dentre outros motivos, ao redirecionamento do foco dos designers para os requisitos e comportamento do sistema ao invés dos detalhes de implementação em cada plataforma. Relembrando Banavar et al. (2000), *“uma aplicação é o meio pelo qual o usuário realiza uma tarefa e não uma parte do software escrita para explorar as capacidades do dispositivo”*.

Existem várias abordagens para modelagem de tarefas, as quais se originam de conceitos antigos, como as Redes de Petri (PETRI, 1962) em Sistemas Distribuídos, e se estendem até os mais atuais, provenientes da Engenharia de Software e IHC (HAREL, 1987; PATERNÒ et al., 1997). A metodologia proposta nesta tese não encoraja o uso de uma ou outra notação. O importante é que a abordagem escolhida seja capaz de representar as seguintes entidades/propriedades:

- Tarefas de usuário (em alto nível);
- Tarefas de interação usuário-dispositivo;
- Sequência temporal das tarefas de interação para conclusão da tarefa de usuário;
- Elementos de interface ou Unidades de informação disponíveis no momento da execução das tarefas de interação.

Para o exemplo de construção do modelo de tarefas, optou-se pelo uso da notação da ConcurTaskTree (CTT) criada por Paternò et al. (1997) devido à sua grande utilização

²<http://tidia-ae.incubadora.fapesp.br>

³<http://moodle.org>

⁴<http://sakaiproject.org>

em trabalhos recentes para construção de interfaces multi-dispositivos (WINCKLER et al., 2002; MOLINA et al., 2003; CLERCKX et al., 2004a; PAQUETTE; SCHNEIDER, 2005; KLUG; KANGASHARJU, 2005). Essa abordagem oferece uma sintaxe gráfica para especificação de relações temporais entre atividades que captura o comportamento da interface em uma árvore de tarefas. Ainda assim, algumas extensões devem ser feitas ao modelo para viabilizar a representação de todas as informações relevantes listadas anteriormente.

Uma das maneiras de se construir o modelo de tarefas de uma aplicação é começar das tarefas do usuário e investigar todas as interações necessárias com a interface para a conclusão de cada uma delas. Uma outra abordagem segue o processo inverso, representando cada possibilidade de interação com a interface até que todas as suas funcionalidades tenham sido exploradas. Como a notação CTT adota esta última abordagem, é necessário fazer uma análise de cada tela do TelEduc para construção de seu modelo. A título de simplificação deste exemplo, apenas o subconjunto de tarefas relativo à ferramenta de Avaliações do TelEduc será considerado. A Figura 4.4 mostra um exemplo da tela apresentada ao usuário ao ativar esta ferramenta.

Avaliações Passadas	Avaliações Atuais	Avaliações Futuras	Notas dos Participantes
Avaliações Atuais	Tipo da Avaliação	Data de início	Data de Término
Projeto Fase 3	Atividade em grupo no portfólio	13/05/2004	15/06/2004
Projeto Fase 2	Atividade em grupo no portfólio	12/05/2004	14/05/2004

Ver
Histórico de Desempenho dos participantes

Figura 4.4: Exemplo de tela com as avaliações atuais disponíveis no TelEduc. Ao clicar sobre qualquer avaliação, uma janela *popup* é aberta com opções para visualização de seus detalhes ou do histórico de desempenho dos participantes.

Como se pode perceber, a tela apresentada ao clicar no link “Avaliações” do menu lateral do TelEduc revela as avaliações atuais disponíveis para o aluno, juntamente com informações a respeito do tipo de atividade envolvida, suas datas de início e término (ver Figura 4.4). A partir dessa tela, ainda é possível acessar às seguintes informações:

- Avaliações realizadas pelos alunos (link “Avaliações Passadas” no topo da tela);

- Avaliações a serem realizadas (link “Avaliações Futuras” no topo da tela);
- Notas dos alunos (link “Notas dos Participantes” no topo da tela);
- Detalhes das avaliações disponíveis (links “Projeto Fase 3” e “Projeto Fase 2” na região de conteúdo da tela que abrem uma janela *popup* com os links “Ver” e “Histórico de Desempenho dos participantes”);
- Busca de termos dentro do TelEduc (link “Busca” no topo direito da tela);
- Ajuda para utilização da ferramenta (link “Ajuda” no topo direito da tela).

Com estas informações, pode-se construir um modelo de especificação de tarefas parcial para a ferramenta de Avaliações do TelEduc, como apresentado na Figura 4.5.

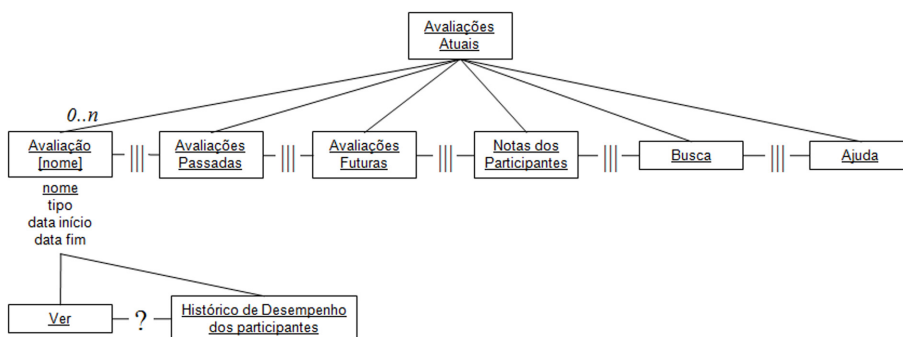


Figura 4.5: Modelo de tarefas obtido com a tela de avaliações atuais do TelEduc (ver Figura 4.4).

Pela Figura 4.5, conclui-se que a tarefa de interação “Avaliações Atuais” dá acesso a várias outras, tal como listado anteriormente. O segundo nível da árvore revela cada uma destas tarefas (*ex.*: “Avaliações Passadas”, “Avaliações Futuras”, *etc.*) conectadas entre si por uma linha contínua e o símbolo de concorrência independente “|||” indicando que a tarefa de interação “Avaliações Atuais” dá acesso a várias outras sem dependência de execução ordenada, ou seja, que o usuário pode acessar qualquer uma dessas atividades sem ter acessado as outras. Mais do que isso, o símbolo de concorrência garante que, mesmo após a ativação de uma dessas tarefas, as outras ainda continuam disponíveis nos níveis seguintes da árvore. Como a tela da Figura 4.4 não permite afirmar se as tarefas de interação “Ver” e “Histórico de Desempenho dos participantes” da janela *popup* estarão disponíveis após a ativação de uma delas, o símbolo de interrogação “?” foi utilizado. É importante destacar que, assim como o símbolo de interrogação, outros artifícios gráficos usados no modelo de tarefas da Figura 4.5 não estão presentes na notação da CTT, tendo sido inseridos para adequação do modelo às necessidades desta proposta ou apenas para

simplificação da mesma. Por exemplo, o símbolo “0..n” indica multiplicidade da tarefa associada que, no exemplo, indica a existência de nenhuma, uma ou várias tarefas de interação relativas a avaliações com nomes diferentes. Com isso, evita-se a discretização de cada tarefa e o modelo se torna mais simples. Outra extensão para a CTT é a listagem das unidades de informação e/ou elementos de interface associados a uma dada tarefa de interação. No exemplo anterior, os itens “nome”, “tipo”, “data início” e “data fim” indicam que estas informações estão presentes para cada avaliação atual.

Para completar o modelo de tarefas, faz-se a seguir uma busca em profundidade dos nós da árvore da Figura 4.5 para análise de suas respectivas telas. Sendo assim, a Figura 4.6 mostra um exemplo da tela obtida com a ativação da tarefa de interação “Ver” disponível na forma de um link na janela *popup* da Figura 4.4.

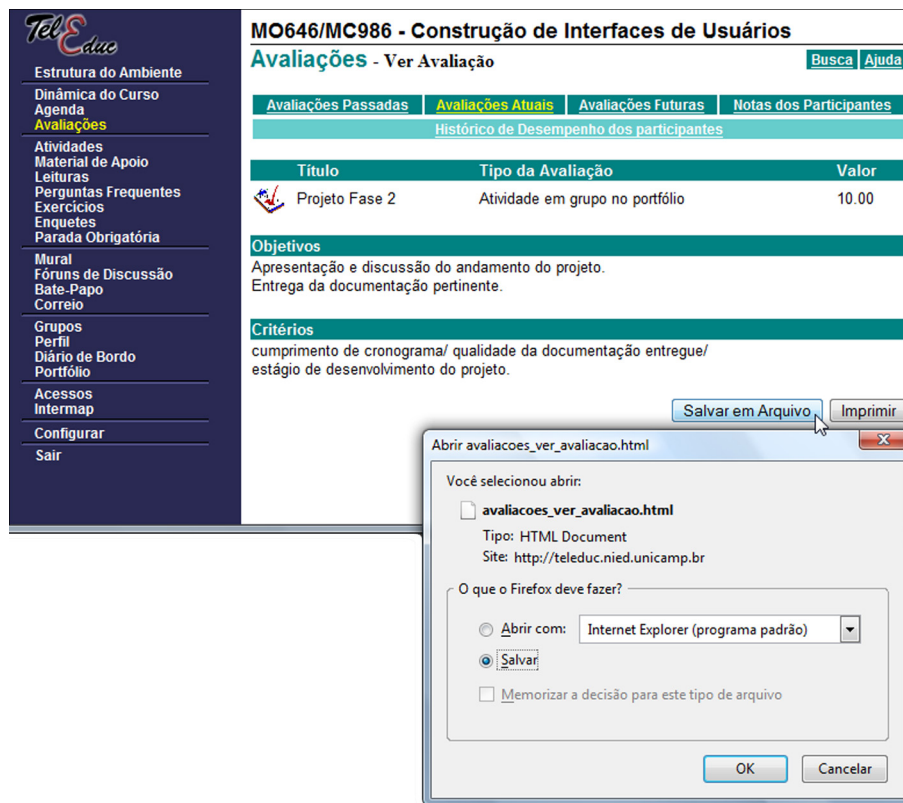


Figura 4.6: Exemplo de tela com a visualização dos detalhes de uma avaliação no TelEduc.

De acordo com a Figura 4.6, mesmo após a ativação do link “Ver”, o link “Histórico de Desempenho dos participantes” continua disponível ao usuário, desta vez localizado abaixo do menu no topo da tela. Isso soluciona a dúvida indicada pelo ponto de interrogação na Figura 4.5, ficando claro que se trata de uma relação de concorrência independente. Além das informações de conteúdo da avaliação selecionada (*ex.*: valor, objetivos, critérios, *etc.*),

tem-se duas novas tarefas de interação disponíveis através dos botões no canto inferior direito da tela: “Salvar em Arquivo” e “Imprimir”. A ativação de qualquer um destes botões sobrepõe janelas do navegador *web* na tela do TelEduc, como pode ser verificado no exemplo de ativação do botão “Salvar em Arquivo” da Figura 4.6. De posse destas novas informações, o modelo de tarefas anterior pode ser estendido como mostra a Figura 4.7.

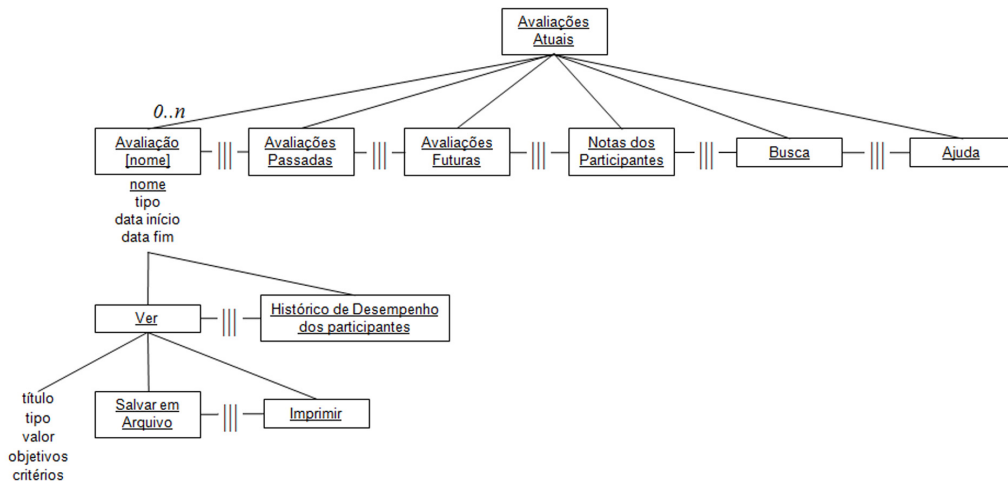


Figura 4.7: Modelo de tarefas estendido com a tela de visualização dos detalhes de uma avaliação atual disponível no TelEduc (ver Figura 4.6).

Grande parte das aplicações modeladas com a notação CTT utilizam o símbolo de escolha “[]” para a maioria dos menus e funções similares às apresentadas anteriormente (*ex.*: salvar, imprimir). Em resumo, ele se difere do de concorrência “|||” por indicar que, embora duas tarefas $T1$ e $T2$ estejam disponíveis em um primeiro momento, assim que uma delas é ativada, a outra não pode mais ser acessada: $T1 [] T2$. No caso do TelEduc, isso raramente acontece. O motivo principal é o fato de que este sistema abre janelas *popup* com frequência para permitir o uso concorrente de suas funcionalidades. Retomando o exemplo da janela sobreposta na Figura 4.6, após a ativação do botão “Salvar em Arquivo”, ainda é possível realizar qualquer tarefa na tela do TelEduc. O mesmo acontece para o botão “Imprimir”. Por isso o modelo de tarefas da Figura 4.7 utiliza o operador de concorrência para conectar ambas as tarefas.

Dando continuidade ao exemplo, a exploração dos nós relativos a estas tarefas no modelo da Figura 4.7 não se faz necessária visto que elas ativam telas do navegador *web*. Logo, o próximo nó a ser expandido é o “Histórico de Desempenho dos participantes” através da análise de sua tela correspondente, como mostrado na Figura 4.8.

Como se pode perceber, a tela da Figura 4.8 apresenta não apenas informações relevantes à identificação do desempenho dos participantes (*ex.*: nome do grupo, número de contribuições, nota e data da avaliação), mas também fornece acesso a outras tarefas,

Avaliações Passadas	Avaliações Atuais	Avaliações Futuras	Notas dos Participantes
Ver Avaliação			Atualizar

Título	Tipo da Avaliação	Valor
Projeto Fase 2	Atividade em grupo no portfólio	10.00

Grupo	Número de contribuições	Nota	Data da Avaliação
Grupo 1	0	9.00	12/05/2004
Grupo 2	1	9.00	12/05/2004
Grupo 3	1	9.00	12/05/2004
Grupo 4	1	6.00	12/05/2004

Salvar em Arquivo Imprimir

Figura 4.8: Exemplo de tela com o histórico de desempenho dos participantes do TelEduc.

tais como a atualização da página (link “Atualizar” disponível abaixo do menu no topo da tela), a identificação dos componentes do grupo ou do perfil dos alunos (link com o nome do grupo/aluno), os detalhes da contribuição por meio de documentos no portfólio ou mensagens postadas no fórum de discussões (link com o número de contribuições), os comentários do professor para a nota atribuída (link com o valor da nota) e a possibilidade de salvar ou imprimir todas as informações (botões no canto inferior direito). A Figura 4.9 estende o modelo de tarefas construído até então para incluir estas novas informações.

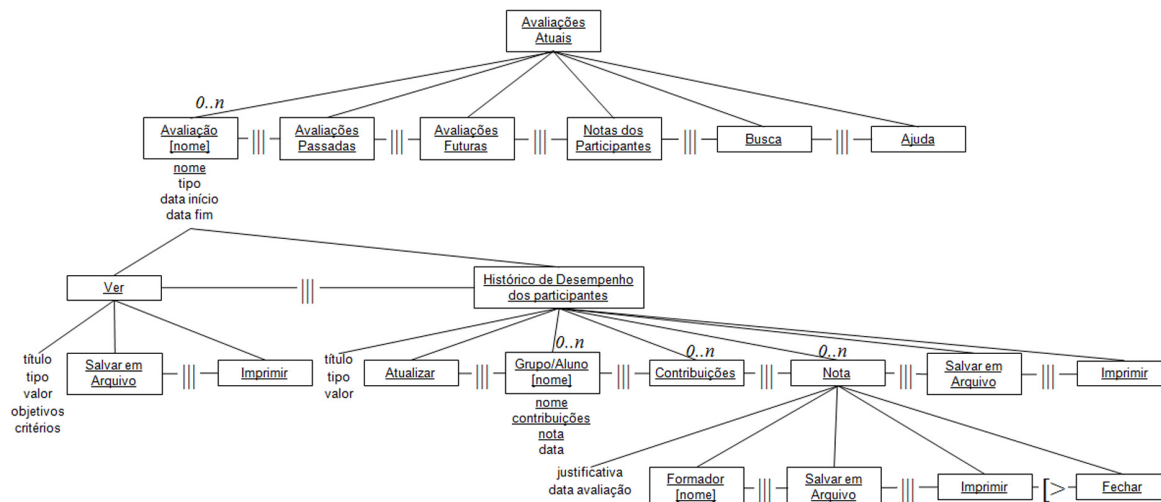


Figura 4.9: Modelo de tarefas estendido com a tela de histórico de desempenho dos participantes do TelEduc (ver Figura 4.8).

Como se pode perceber, o modelo da Figura 4.9 inclui não apenas as sub-tarefas de interação citadas anteriormente, mas também outras relativas à ativação de um dos links com o valor da nota atribuída ao aluno ou ao grupo. Como esta estrutura de navegação abre uma janela *popup* muito simples, ela não foi apresentada neste exemplo. Em resumo, seu conteúdo principal inclui o nome do formador, a data na qual ele avaliou a atividade do aluno/grupo, sua justificativa para a nota atribuída e três botões para salvar/imprimir as informações e fechar a janela. O operador “[>” usado com esta última tarefa significa desativação, indicando que uma ação da tarefa à direita do símbolo desativa as da esquerda.

O modelo da Figura 4.9 pode ser reaproveitado tanto para a tarefa “Avaliações Passadas” quanto para a “Avaliações Futuras” por compartilharem das mesmas sub-tarefas. A Figura 4.10 faz a união destes modelos. Note que a tarefa “Avaliações Atuais” não está grifada, o que difere de todas as demais tarefas de interação presentes no modelo. Essa decisão foi tomada para indicar que o estágio inicial quando da ativação do link “Avaliações” no menu lateral do TelEduc é justamente o das avaliações atuais.

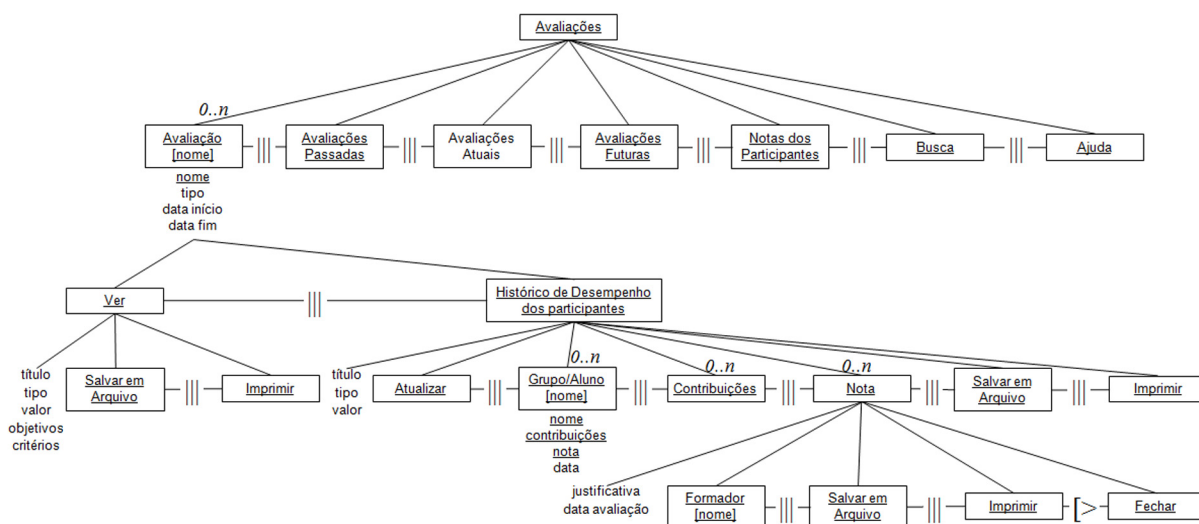
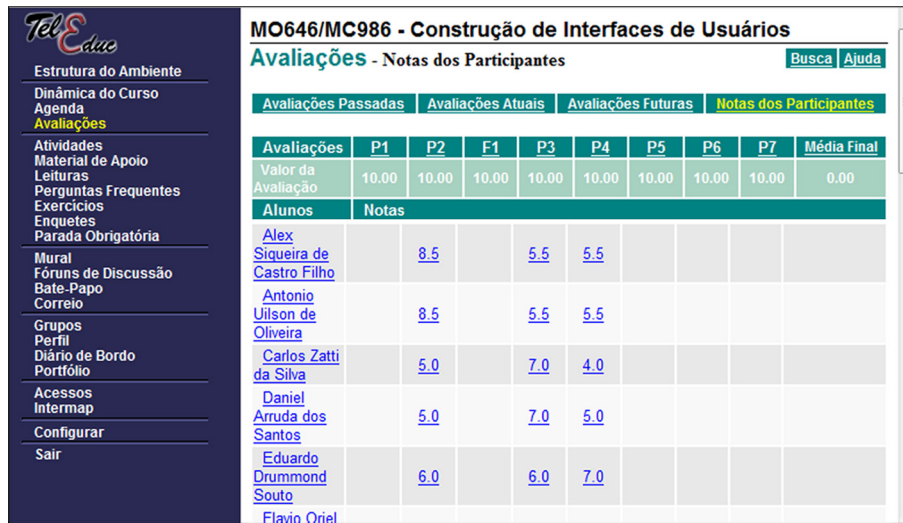


Figura 4.10: Modelo de tarefas para avaliações atuais, passadas e futuras do TelEduc.

Dando continuidade ao exemplo, esta última extensão do modelo apresenta novas sub-tarefas cujos nós precisam ser explorados (*ex.*: atualizar, grupo/aluno, contribuições, nota, *etc.*). No entanto, isto não será feito aqui pelo motivo de simplificação apresentado no início da seção 4.2, dado que todas estas atividades levam ou a telas do navegador *web* (salvar e imprimir arquivos) ou a funcionalidades de outras ferramentas que não a de Avaliações do TelEduc (ferramentas “Perfil” e “Grupos” para detalhes do aluno/grupo e ferramentas “Portfólio” e “Fórum de Discussão” para detalhes das contribuições). Sendo assim, resta apenas a análise da tela da Figura 4.11 relativa ao nó “Notas dos Participantes”

(os nós “Busca” e “Ajuda” também não serão explorados por constituírem duas outras ferramentas distintas do TelEduc).



MO646/MC986 - Construção de Interfaces de Usuários

Avaliações - Notas dos Participantes [Busca](#) [Ajuda](#)

Avaliações	P1	P2	F1	P3	P4	P5	P6	P7	Média Final
Valor da Avaliação	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00
Alunos	Notas								
Alex Siqueira de Castro Filho		8.5		5.5	5.5				
Antonio Uilson de Oliveira		8.5		5.5	5.5				
Carlos Zatti da Silva		5.0		7.0	4.0				
Daniel Arruda dos Santos		5.0		7.0	5.0				
Eduardo Drummond Souto		6.0		6.0	7.0				
Flavio Oriel									

Figura 4.11: Exemplo de tela com as notas dos participantes do TelEduc.

A tela apresentada na Figura 4.11 possui uma grande quantidade de informação em uma matriz de m avaliações por n alunos contendo as respectivas notas. Além disso, ela assume caráter dinâmico não apenas por variar o número destas entidades, mas também devido à disposição das mesmas em links capazes de abrir janelas *popup* com a informação desejada (código da avaliação revela seus detalhes, nome de aluno conduz às suas informações na ferramenta “Perfil” e as notas em cada avaliação apresentam as justificativas do formador). Embora a Figura 4.11 não mostre todo o conteúdo da tela, ela também possui os mesmos botões de salvar e imprimir no final da página presentes em algumas telas anteriores. Além disso, tem-se uma tabela com a conversão do código das avaliações para os seus respectivos nomes (*ex.*: P1: Projeto Fase 1, F1: Discussão de Artigo, *etc.*) Por fim, a Figura 4.12 completa o modelo de tarefas construído até então.

4.2.3 Fluxo de Ações das Tarefas de Usuário

O próximo passo após a construção do modelo de tarefas é o de especificação do fluxo de ações para execução de todas as tarefas de usuário identificadas na análise de requisitos do projeto. Novamente, não é necessário a utilização de uma ou outra notação, mas é de grande interesse a identificação das atividades listadas no ciclo de atualização do modelo mental do usuário (ver seção 4.1.1). Neste sentido, sugere-se o uso dos seguintes termos:

- **perceive:** esforço empregado durante o intervalo de início da busca pelo objeto de interesse (mecanismo de controle ou unidade de informação passiva) e sua eventual

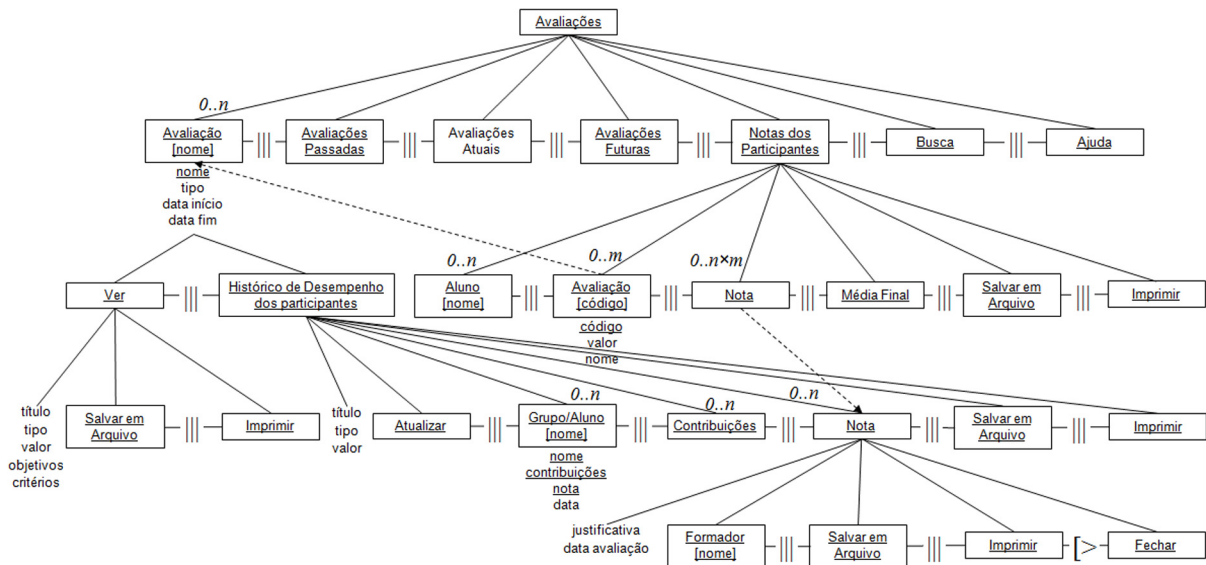


Figura 4.12: Modelo de tarefas da ferramenta Avaliações do TelEduc.

descoberta. Todos os sentidos da percepção humana podem estar envolvidos nesta busca de forma isolada ou em conjunto. O retorno da função deve ser armazenado em memória caso seja necessário utilizá-lo após a interrupção de sua descoberta (ver o termo “*store*” a seguir);

- **execute:** esforço empregado durante o intervalo da tomada de decisão e a ativação do mecanismo de controle percebido;
- **store:** esforço empregado no armazenamento temporário de informação em memória de curto prazo. Pode ser entendido de maneira semelhante ao conceito de atribuição presente na maioria das linguagens de programação.

Estes três termos representam atividades que exigem um esforço cognitivo relevante do usuário. A especificação do fluxo de ações em uma notação que deixa claro a ocorrência dessas atividades auxilia no processo de personalização da interface (terceiro nível da hierarquia de consistências), quando o designer estará preocupado em escolher as tarefas de maior interesse ao usuário para reduzir sua complexidade e aumentar a eficiência de execução.

A título de exemplificação da notação, a Tabela 4.1 apresenta a especificação do fluxo de ações de algumas tarefas de usuário relativas à ferramenta Avaliações do TelEduc. Note que os fluxos de ações de todas as tarefas têm como início da interação a primeira tela da interface do sistema. Rotas alternativas à execução de uma mesma tarefa também podem ser especificadas. Outra característica da notação é o estilo em pseudo-código sem compromisso com a exatidão dos passos computacionais, tais como a declaração/inicialização

de variáveis. Logo, esta notação é útil ao designer e não ao desenvolvedor. Com a identificação correta das atividades do ciclo de atualização do modelo mental do usuário, a implementação do terceiro nível de consistência da personalização de tarefas será facilitada (ver seção 4.2.5).

Tabela 4.1: Exemplos de tarefas de usuário e seus fluxos de ações para a ferramenta Avaliação do TelEduc.

Tarefa de Usuário	Fluxo de Ações
Checar os critérios da avaliação atual y	1. execute perceive <u>Avaliações</u> 2. execute perceive <u>Avaliação[nome=y]</u> 3. execute perceive <u>Ver</u> 4. return perceive critérios
Checar a média final do aluno x	1. execute perceive <u>Avaliações</u> 2. execute perceive <u>Notas dos Participantes</u> 3. media store perceive <u>Média Final</u> 4. aluno store perceive <u>Aluno[nome=x]</u> 5. return perceive <u>Nota($aluno$, $media$)</u>
Checar nota do aluno x na avaliação y	1. execute perceive <u>Avaliações</u> 2. execute perceive <u>Notas dos Participantes</u> 3. cod store perceive <u>Avaliação[nome=y]</u> 4. aval store perceive <u>Avaliação[código=cod]</u> 5. aluno store perceive <u>Aluno[nome=x]</u> 6. return perceive <u>Nota($aluno$, $aval$)</u>
Checar justificativa da nota do aluno x na avaliação y	1. execute perceive <u>Avaliações</u> 2. execute perceive <u>Notas dos Participantes</u> 3. cod store perceive <u>Avaliação[nome=y]</u> 4. aval store perceive <u>Avaliação[código=cod]</u> 5. aluno store perceive <u>Aluno[nome=x]</u> 6. execute perceive <u>Nota($aluno$, $aval$)</u> 7. return perceive justificativa
Checar qual foi a maior nota dos n alunos na avaliação y	1. execute perceive <u>Avaliações</u> 2. execute perceive <u>Notas dos Participantes</u> 3. cod store perceive <u>Avaliação[nome=y]</u> 4. aval store perceive <u>Avaliação[código=cod]</u> 4. maior store perceive <u>Nota(primeira linha, $aval$)</u> 5. Para cada <u>Nota</u> na coluna do objeto <u>aval</u> 5.1. temp store perceive <u>Nota($aval$)</u> 5.2. Se $temp > maior$ então maior store $temp$ 6. return $maior$

4.2.4 Análise de Restrições do Dispositivo

O passo seguinte na proposta de design multi-dispositivo desta tese é o de análise das restrições dos dispositivos alvo. Para isso, sugere-se a identificação de todas as diferenças entre estes dispositivos quanto aos atributos relevantes ao princípio da Constância Perceptiva. Em resumo, este conceito preserva a estabilidade da percepção por meio de três atributos: tamanho, forma e cor. Embora existam outros que possam gerar uma percepção equivocada quando alterados de maneira significativa (*ex.*: iluminação, peso, material, fluidez, flexibilidade, opacidade, *etc.*), acredita-se que, uma vez identificadas estas três características para cada dispositivo, será possível avaliar a gravidade de suas divergências e orientar o passo seguinte dessa metodologia relativo à garantia da consistência de percepção das tarefas.

Como estabelecido no início da seção 4.2, o exemplo de aplicação desta proposta seria dado através da apresentação do processo de criação de uma interface de *pocket PC* para o sistema TelEduc. De maneira complementar, a Tabela 4.2 compara não apenas os atributos perceptivos de um *pocket PC* com os de um computador *desktop*, mas também com os de um *smartphone*, dada a sua grande similaridade de propósitos e capacidades.

Tabela 4.2: Comparação das características perceptivas dos dispositivos de entrada e saída de um computador *desktop*, *pocket PC* e *smartphone* padrões.

Dispositivo	Atributo	<i>Desktop</i>	<i>Pocket PC</i>	<i>Smartphone</i>	Relevância
Visor	Cor	32-bit	16-bit ou 24-bit	16-bit ou 24-bit	Baixa
	Tamanho	15", 800x600 pixels	3,5", 240x320 pixels	2", 240x320 pixels	Alta
	Forma	4:3	3:4 ou 4:3	3:4 ou 4:3	Alta/Nenhuma
Teclado	Cor	variado	variado	variado	Nenhuma
	Tamanho	40cm/10cm	4,8cm/4cm	4cm/5cm	Alta
	Forma	QWERTY (adaptado às mãos)	virtual QWERTY (adaptado a um apontador)	numérico/QWERTY (adaptado aos polegares)	Média

De acordo com os dados da Tabela 4.2, os tamanhos de ambos os dispositivos de entrada e saída de um computador *desktop* apresentam grandes divergências em relação aos de um *pocket PC* e de um *smartphone*. Além disso, a rotação do *pocket PC* na palma da mão para corrigir sua orientação invertida em relação a de um monitor *desktop* reflete na perda de suas qualidades ergonômicas, fazendo com que a forma também colabore para uma percepção alterada destes dispositivos. Logo, espera-se que os atributos de tamanho e forma dificultem a implementação direta da hierarquia de prioridades de consistência, fazendo-se necessário o emprego adequado dos princípios de *visibilidade* e *mapeamento*.

4.2.5 Implementação das Prioridades de Consistência

A hierarquia de prioridades proposta na seção 4.1.2 sugere três níveis de consistência: percepção, execução e personalização de tarefas. Em todos eles, os passos realizados até então para a construção do modelo de tarefas, fluxo de ações e análise das restrições do dispositivo são de grande importância na orientação das decisões de design. Dando continuidade ao exemplo de construção da interface de *pocket PC* para o TelEduc, apresenta-se a seguir o processo de implementação desses níveis de consistência.

Primeiro Nível: Percepção da Tarefa

O nível de Percepção da Tarefa visa a consistência dos mecanismos de controle e unidades de informação das interfaces quanto aos seus atributos de tamanho, forma, cor e localização relativa. Um ponto de partida ideal é iniciar o design da nova interface usando a abordagem de Migração Direta, visto que ela mantém a representação exata da interface original. A partir daí, pode-se propor adaptações que conduzam à preservação dos princípios de design violados (*ex.*: visibilidade, mapeamento e feedback). A Figura 4.13 mostra o exemplo de uma tela do TelEduc acessada de duas formas por essa abordagem.

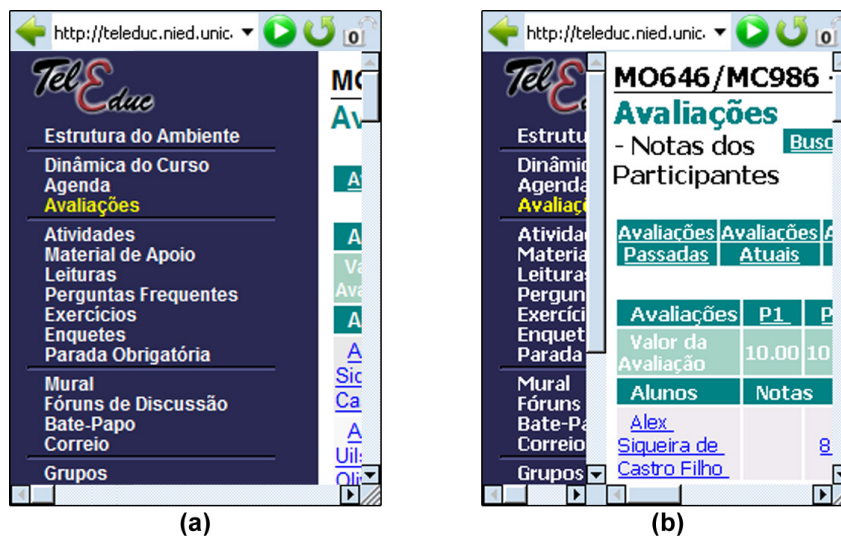


Figura 4.13: Exemplo da abordagem de Migração Direta na visualização da tela de notas dos participantes do TelEduc (Figura 4.11). Em (a), a aplicação da abordagem em uma página simples e, em (b), em uma página com *frames*.

Como se pode notar na Figura 4.13, a abordagem da Migração Direta dá suporte tanto à consistência na localização relativa dos mecanismos de controle quanto ao princípio da constância perceptiva, visto que todos os elementos de sua interface preservam tamanho, forma e cor dos equivalentes na interface *desktop* (comparar com a Figura 4.11). Isto ocorre

porque a interface original é apresentada no *pocket PC* sem qualquer adaptação às suas restrições de tamanho e forma, identificadas na seção 4.2.4. *De acordo com a metodologia desta proposta, se os dispositivos em questão apresentarem divergências relevantes quanto ao tamanho, a interface em construção deve ser adequada a este atributo mantendo-se o princípio de visibilidade. Se o mesmo ocorrer com a forma, a adaptação deve garantir também a mesma facilidade de mapeamento das unidades de informação.* Logo, a ausência dessas adaptações na abordagem da Migração Direta faz com que a interface resultante utilize longas barras de rolagem vertical e horizontal para dar acesso à toda informação disponível na página (ver Figura 4.13a). Isso reduz não apenas eficiência e segurança de uso da aplicação, mas também sua utilidade por não tornar as tarefas de usuário visíveis (NORMAN, 1988). O mesmo ocorre com a implementação dessa abordagem em uma página com *frames* (ver Figura 4.13b). As barras de rolagem no menu lateral não foram capazes de garantir o princípio de visibilidade, uma vez que o acesso aos links de avaliações futuras, notas dos participantes, ajuda do TelEduc, *etc.* não estão visíveis. Por isso, realizar tarefas simples como checar a nota do aluno, compará-la com a de um colega ou fazer previsões de sua média final, podem exigir um esforço maior do usuário.

Identificadas as limitações da Migração Direta, deve-se propor soluções de adaptação da interface quanto aos atributos perceptivos inconsistentes (no exemplo, tamanho e forma). Uma solução comercial muito comum que adapta a interface *desktop* à forma do *pocket PC* é a Coluna Simples, capaz de analisar e particionar a estrutura da página *web* de modo que todo o seu conteúdo seja apresentado sem necessidade da barra de rolagem horizontal. A Figura 4.14 mostra um exemplo de aplicação dessa abordagem.

A interface da Figura 4.14 mostra que a Coluna Simples é uma abordagem de transformação automática eficaz na eliminação das barras de rolagem horizontal. Embora a adaptação do formato da interface faça parte da metodologia proposta nesta tese para adequação às restrições do dispositivo alvo, a solução apresentada viola alguns requisitos deste primeiro nível de consistência:

- **Localização Relativa:** Pela Figura 4.14a, nota-se que o menu de ferramentas do TelEduc não obedece mais a sua localização relativa original na qual era posicionado à esquerda da região de conteúdo. Esta, mostrada na Figura 4.14b, passa a se localizar abaixo do menu (veja que a barra de rolagem vertical está no meio para apresentar uma tela que deveria estar no topo);
- **Princípio da Visibilidade:** A alteração na localização relativa do menu de ferramentas do TelEduc compromete a visibilidade das tarefas disponíveis como um todo. Mesmo que essa decisão de design tenha sido tomada com o argumento de que as tarefas de usuário relevantes à ferramenta selecionada estão todas visíveis (ver Figura 4.14b), a ativação de outra ferramenta do menu conduz sempre à tela da Figura 4.14a. Em

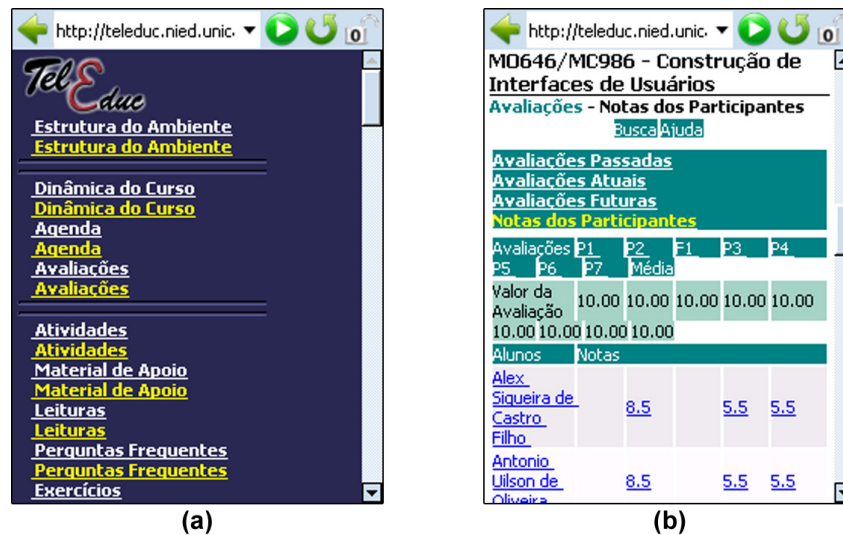


Figura 4.14: Exemplo da abordagem de Coluna Simples na visualização da tela de notas dos participantes do TelEduc (Figura 4.11). Em (a), o início da página gerada contendo o menu de ferramentas e, em (b), a matriz de notas dos alunos localizada abaixo dele. A duplicação dos itens do menu em (a) não faz parte dessa abordagem, mas resulta de uma falha do recurso *Fit To Screen* do Opera na interpretação da página original.

um primeiro contato, principalmente em contextos de migração de tarefas, pode não ser evidente que a página foi alterada e que é preciso descer a barra de rolagem para perceber essa mudança;

- **Princípio do Mapeamento:** Na tentativa de evitar a barra de rolagem horizontal devido à forma invertida do *pocket PC*, a matriz de notas dos alunos teve algumas de suas colunas transformadas em linhas, o que pode comprometer a identificação correta da tríade aluno-avaliação-nota em matrizes completas (ver Figura 4.14b).

O motivo dessa aparente dificuldade em garantir os princípios de visibilidade e mapeamento, além da consistência na localização relativa dos mecanismos de controle, é o fato da Coluna Simples considerar apenas a forma como um atributo divergente entre os dispositivos. Logo, é preciso identificar alternativas que também considerem alterações no tamanho da interface.

Dentre as técnicas de visualização de informação destinadas à adequação desse atributo, destacam-se as de foco + contexto e as que adotam o processo inverso. Pertencentes a esta última classe, o Smartview (MILIC-FRAYLING; SOMMERER, 2002a) e Gateway (MACKAY, 2003) são propostas muito parecidas, nas quais apresenta-se, primeiramente, uma réplica reduzida da interface original para só então aumentar a região de interesse. A Figura 4.15 mostra um exemplo de aplicação do Gateway para a interface do TelEduc.

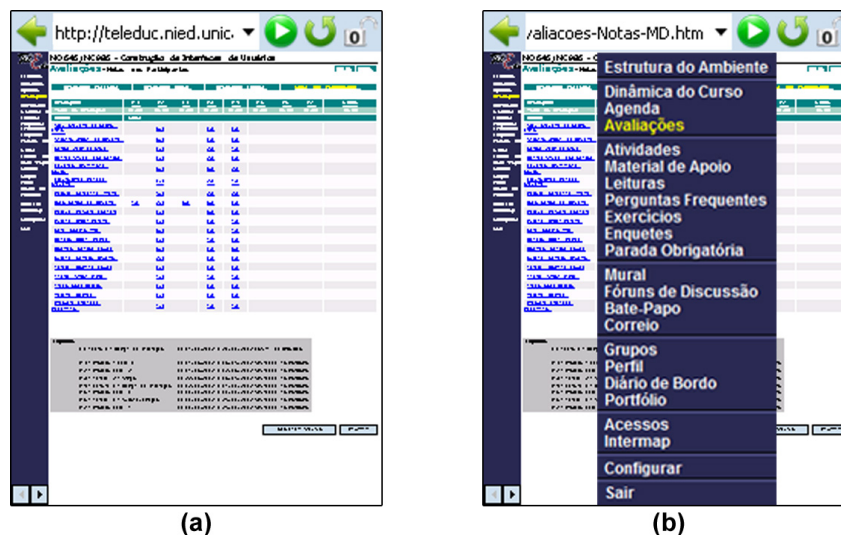


Figura 4.15: Exemplo da proposta Gateway na visualização da tela de notas dos participantes do TelEduc (Figura 4.11). Em (a), uma réplica reduzida e não-funcional da página para *desktop* e, em (b), a sobreposição do menu de ferramentas com funcionalidade completa após um toque sobre sua região no *thumbnail* de (a).

A réplica reduzida da página de notas dos participantes do TelEduc, apresentada na Figura 4.15a, facilita a identificação das regiões de interesse na interface. Em outras palavras, o mapeamento visual é consistente com a experiência prévia do usuário. No entanto, a taxa de redução foi tão grande ao ponto de tornar o conteúdo da página ilegível. Para dar suporte ao princípio de visibilidade, a proposta do Gateway (e, de maneira similar, a do Smartview) altera o fluxo de execução de tarefas (próximo nível da hierarquia de consistências), revelando o texto completo de regiões do *thumbnail* que forem tocadas pelo usuário, como mostra o exemplo do menu sobreposto na Figura 4.15b. Mesmo com o argumento de que essa alteração no modelo de tarefas constitui apenas uma extensão universal para o mesmo (qualquer atividade de navegação passa a exigir uma ação extra de *zoom-in* no *thumbnail*), tarefas de comparação de dados em uma mesma interface podem requerer memorização de informações por parte do usuário. Além disso, dependendo da forma como a estrutura da página de notas dos alunos for interpretada pelo Gateway, é possível que se perca inclusive o mapeamento de linhas e colunas da matriz (*ex.*: um toque sobre uma coluna do *thumbnail* pode revelar apenas os dados dessa coluna, impedindo a associação aluno-avaliação-nota).

Novamente, essa dificuldade de adaptação com preservação dos princípios de design tem a mesma origem daquela identificada com a Coluna Simples, ou seja, apenas um atributo perceptivo divergente foi tratado (no caso do Gateway, o tamanho da tela). Como sugerido nesta proposta, é necessário que ambos forma e tamanho sejam adequados na

interface resultante dado que estes atributos apresentam diferenças relevantes em computadores *desktop* e *pocket PCs*. Isso significa que a redução de tamanho sugerida pelo Gateway e Smartview pode ser uma boa idéia se combinada com adaptações à forma original da interface, reduzindo a base das estruturas visuais e incrementando ligeiramente sua altura. Aliadas aos princípios de visibilidade e mapeamento, estas adaptações darão suporte ao modelo mental do usuário desenvolvido com a versão *desktop* da aplicação ao mesmo tempo que garantem sua boa usabilidade.

Neste sentido, a proposta do Thumbnail Resumido (LAM; BAUDISCH, 2005) propõe uma solução que adapta tamanho e forma da interface através da sumarização dos textos do *thumbnail* e o aumento no tamanho de suas fontes. A Figura 4.16 mostra um exemplo dessa adaptação para a interface do TelEduc.

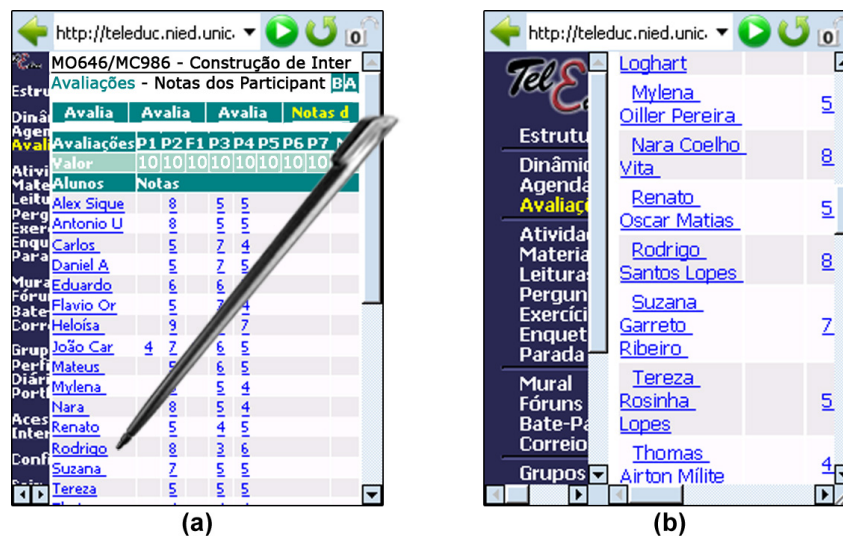


Figura 4.16: Exemplo da proposta de Thumbnail Resumido na visualização da tela de notas dos participantes do TelEduc (Figura 4.11). Em (a), uma réplica reduzida funcional da página para *desktop* com textos legíveis e resumidos e, em (b), a visão em detalhes da região tocada pelo usuário.

A interface da Figura 4.16a revela uma grande similaridade com sua equivalente para *desktop* (ver Figura 4.11) ao mesmo tempo que aprimora a legibilidade do *thumbnail* proposto pelo Gateway (ver Figura 4.15a). Ainda assim, o Thumbnail Resumido apresenta falhas na preservação do princípio de mapeamento e na consistência do segundo nível da hierarquia de prioridades (execução de tarefa).

A falha de mapeamento pode ser verificada na sumarização dos três links “Avaliações Passadas”, “Avaliações Atuais” e “Avaliações Futuras”, resultando em três termos com o mesmo nome “Avalia” (menu no topo da Figura 4.16a). Isso ocorre porque a sumarização automática elimina caracteres da direita para a esquerda até que o texto caiba no

espaço disponível. Essa metodologia deve conduzir a outras falhas de mesma natureza, principalmente em línguas nas quais o adjetivo ocorre à frente do substantivo, tal como no Português e Espanhol. Algumas das soluções para esse problema seriam:

- **Sumarização estática pré-definida:** O designer deve construir um arquivo com a conversão desejada de todos os termos dos mecanismos de controle da interface. Embora o resultado seja o mais adequado possível, o processo inicial de sumarização deve ser feito manualmente para cada aplicação;
- **Sumarização dinâmica por classificação de termos em diferentes domínios:** Neste caso, é necessária a construção de uma base de dados com uma grande coleção de documentos *web* classificados de acordo com o domínio da aplicação, além da análise de frequência dos termos em cada documento. Com isso, os termos escolhidos para permanecerem após a sumarização são aqueles de maior importância em relação à base de dados, ou seja, os que ocorrem várias vezes no documento analisado e poucas vezes na coleção de documentos. Acredita-se que esses resultados podem ser aprimorados ainda mais quando analisados sobre uma perspectiva semântica, tal como a do LSA (FURNAS et al., 1988). Ainda assim, aspectos relevantes à eficiência de implementação desta técnica devem ser considerados para evitar a redução de desempenho devido aos seus inúmeros produtos de matrizes e decomposições (MACEDO et al., 2001).

A falha⁵ de inconsistência no nível de execução da tarefa é produto da preservação do princípio de visibilidade do sistema. O ganho de legibilidade do Thumbnail Resumido em relação ao Gateway garante um passo à frente na consistência de execução das tarefas, dado que o *thumbnail* mantém as funcionalidades de navegação dos links. Logo, não é mais necessário tocar a região de um menu no *thumbnail* para só então clicar no link desejado. É possível ativá-lo diretamente no próprio *thumbnail*. No entanto, a necessidade de ler os textos completos ainda teve de ser implementada com um toque extra na tela para fazer o *zoom-in* na região desejada (ver Figura 4.16b). Note que essa duplicidade de funções gera ambiguidades e confunde o usuário toda vez que ele clica em um link, não sabendo ao certo se ele será ativado ou se a visão com detalhes será apresentada. Uma possível solução para esta falha está na combinação do comportamento consistente da interface do Gateway (um toque no *thumbnail* nunca ativa um link da página) com o ganho de eficiência do Thumbnail Resumido (possibilidade de ativar um link sem navegar para uma página de detalhes) realizada da seguinte forma:

⁵Embora esta falha esteja sendo abordada aqui, ela pertence à análise do segundo nível da hierarquia de prioridades por quebrar a consistência na execução da tarefa. A decisão de tratá-la neste primeiro nível foi tomada para evitar o vai-e-vem de propostas e correção de inconsistências entre um nível e outro.

- **Eliminação da Migração Direta como abordagem da visão detalhada:** A Migração Direta possui várias falhas, como apresentado anteriormente. O uso dessa abordagem na visão detalhada pode não apenas trazer de volta estas falhas como também gerar outras, decorrentes da incerteza de estar acessando a página por ela ou pelo *thumbnail*. Como alternativa, pode-se implementar a região detalhada através de uma janela transparente sobreposta ao *thumbnail* contendo apenas os textos completos da região tocada pelo usuário. Esta solução também contribui para que o contexto do foco de atenção do usuário não seja perdido com a alteração de uma visão para outra;
- **Eliminação da Inconsistência na Execução da Tarefa:** A incerteza do usuário quanto à navegação de um link pode ser removida caso o *thumbnail* volte a não apresentar funcionalidades, como no Gateway e Smartview.

A Figura 4.17 mostra um exemplo da aplicação de todas estas propostas para a preservação deste primeiro nível de consistência na percepção da tarefa, adaptando tamanho e forma em uma interface que mantém boa visibilidade e mapeamento dos mecanismos de controle.

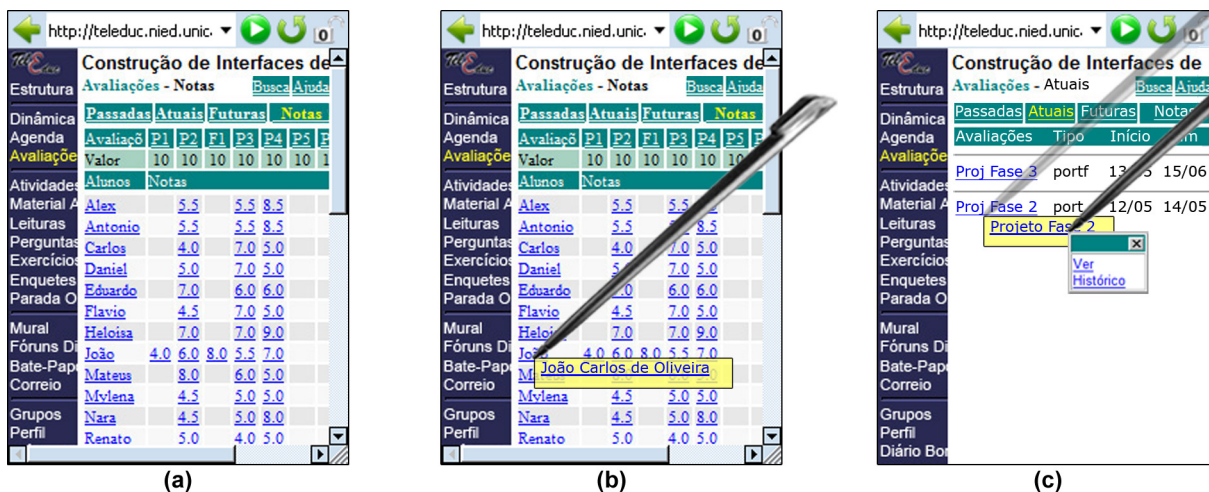


Figura 4.17: Exemplo de implementação da abordagem desta tese na visualização de algumas telas do TelEduc. Em (a), a tela de notas dos participantes (Figura 4.11) similar à proposta do Thumbnail Resumido mas com preservação do princípio de mapeamento; em (b), a visão em detalhes sobreposta a este *thumbnail* para evitar a perda de contexto na troca de visões; e em (c), a tela com as avaliações atuais (Figura 4.4), exemplificando a ativação do link na janela da visão detalhada. Como este procedimento de navegação é mantido por toda a interface, a consistência na execução das tarefas é mantida.

Segundo Nível: Execução da Tarefa

O segundo nível da hierarquia de prioridades de consistências demanda a preservação do mesmo fluxo de ações na execução das tarefas de usuário. Por exemplo, se o usuário deseja ver os critérios de uma avaliação x no TelEduc usando o *pocket PC*, espera-se que ele possa tomar decisões similares às que tomaria em um *desktop*, tal como a seguir:

1. **execute perceive** Avaliações
2. **execute perceive** Avaliação[nome= x]
3. **execute perceive** Ver
4. **return perceive** critérios

Como visto na seção 4.2.3, essa sequência de passos pode ser obtida através de uma análise do modelo de tarefas do TelEduc (ver Figura 4.12). O único empecilho para o completo reaproveitamento deste modelo e, conseqüentemente, de seus fluxos de ações, é o fato de se ter incluído uma ação extra na ativação de qualquer link. Enquanto o processo comum exige apenas um clique sobre o mesmo, a interface sugerida requer um clique adicional sobre o link na janela da visão detalhada (ver Figura 4.17c). Ainda assim, acredita-se que esta alteração não quebra a consistência de execução da tarefa por constituir uma nova abordagem de navegação em dispositivos móveis. O novo conceito implica que qualquer objeto clicado pelo usuário abre uma janela com os seus detalhes (*ex.*: para textos resumidos, revela-se o texto completo; para figuras reduzidas, aumenta-se o tamanho das mesmas). Quando o objeto clicado for um link, um clique sobre ele na visão detalhada ativa a navegação. Estabelecido este conceito no acesso ao TelEduc (ou, sobre uma visão pretensiosa, à maioria das aplicações para *pocket PC*), o modelo de tarefas permanece inalterado, estendendo-se apenas a compreensão do conceito da navegação por cada nó de sua árvore (representado pelo termo “**execute**” no fluxo de ações).

Terceiro Nível: Personalização da Tarefa

O terceiro nível da hierarquia de prioridades se preocupa com o fato de que nem todos os usuários irão acessar uma aplicação em contextos de uso alternado e migração de tarefas. Mais do que isso, pode ser que eles escolham um dispositivo para acessar a aplicação e não tenham qualquer intenção de usar os demais. Logo, os níveis de consistência propostos anteriormente para dar suporte à experiência prévia dos usuários perdem importância para um grupo restrito deles. Neste caso, sugere-se a personalização da interface construída através da participação ativa desses usuários no design durante a interação, visando o aprimoramento dos atributos de eficiência e satisfação de uso. As formas mais importantes de implementação dessa participação são:

1. **Customização da interface:** Disponibilização de ferramentas para que o usuário possa alterar não apenas os aspectos perceptivos dos mecanismos de controle (*ex.*: aumentar tamanho de fonte, reduzir largura de menu lateral, alterar forma e cor das estruturas, *etc.*), mas também a organização da informação apresentada (*ex.*: esconder itens de menu ou colunas de tabela, adicionar atalhos, revelar textos completos em abordagens com sumarização de conteúdo, omitir imagens, *etc.*);
2. **Escolha de padrões:** Construção de uma interface alternativa para escolha do usuário priorizando eficiência na execução das tarefas mais relevantes ao seu contexto de uso. O modelo de tarefas original deve ser adaptado para reduzir o fluxo de ações dessas tarefas, o que pode ser feito através da eliminação de nós folha, sub-árvores, ou mesmo do rearranjo hierárquico de nós filhos decorrente da eliminação de seu nó pai. A escolha de padrões pode ser implementada identificando ou questionando o usuário quanto ao contexto de uso no momento de sua primeira interação com a aplicação em um dado dispositivo.

É importante destacar que a customização exige grande motivação para uso de seus recursos durante a interação. Se essa motivação não estiver presente, o usuário pode nem vir a descobrir suas funcionalidades. Por este motivo, incentiva-se o uso da abordagem de escolha de padrões por não exigir tamanho esforço do usuário. Embora sua participação não seja direta ao ponto de alterar a interface durante a interação, o usuário assume papel ativo na escolha dessa interface.

Exemplificando esta forma de personalização na interface em construção para o TelEduc, considere o seguinte fluxo de ações necessário à execução da tarefa de usuário “*chegar nota do aluno x na avaliação y* ” (ver Tabela 4.1 da seção 4.2.3):

1. **execute perceive** Avaliações
2. **execute perceive** Notas dos Participantes
3. **cod store perceive** Avaliação[nome= y]
4. **aval store perceive** Avaliação[código= cod]
5. **aluno store perceive** Aluno[nome= x]
6. **return perceive** Nota($aluno$, $aval$)

Se esta tarefa for considerada a mais relevante para o usuário móvel, então ela deve ser personalizada para reduzir sua complexidade e aumentar a eficiência de execução. O primeiro passo é identificar as mudanças impostas pelo contexto de uso que podem simplificar a forma com a qual as tarefas são vistas atualmente. No exemplo dado, pode-se assumir que o usuário móvel não esteja interessado em realizar tarefas de comparação de sua nota com as de seus colegas por preferir o acesso a informações curtas e rápidas a seu respeito. Essa decisão reduz o fluxo de ações aos seguintes passos:

1. **execute perceive** Avaliações
2. **execute perceive** Notas dos Participantes
3. *aval* **store perceive** Avaliação[nome=*y*]
4. **return perceive** Nota(*aval*)

Como se pode notar, o novo fluxo de ações é o resultado da eliminação das tarefas de busca e memorização tanto do código da avaliação quanto da linha na matriz de notas relativa ao nome do aluno. A Figura 4.18 mostra o reflexo dessa alteração no modelo de tarefas original.

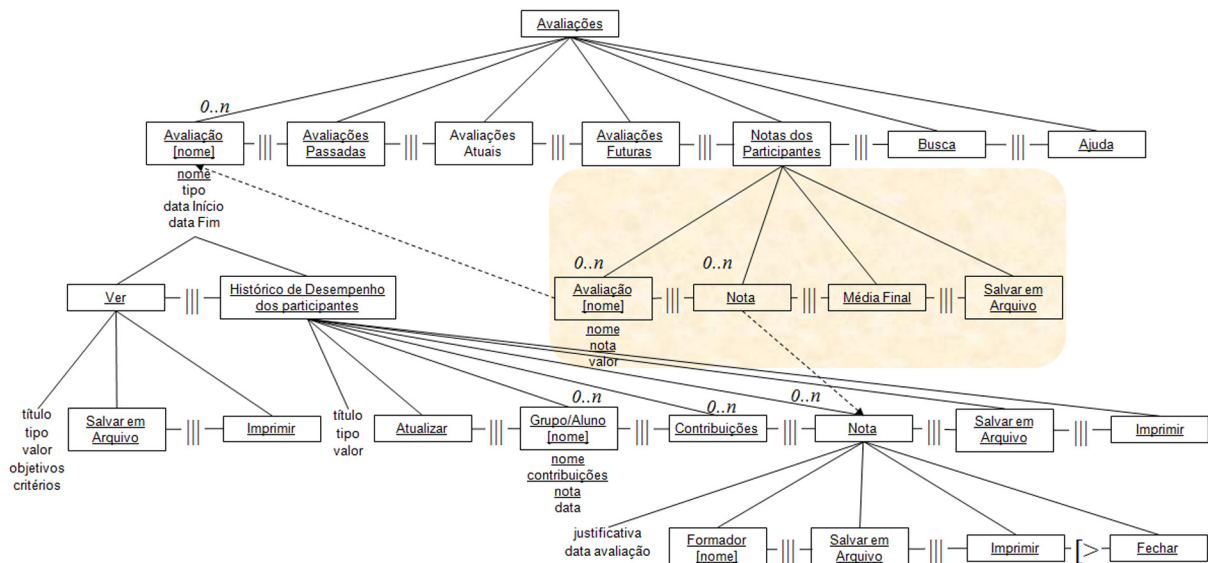
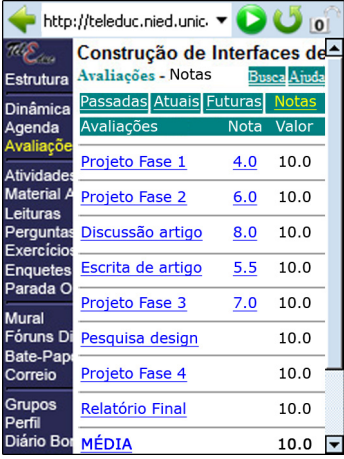


Figura 4.18: Primeira personalização no modelo de tarefas da ferramenta Avaliações do TelEduc para aumentar a eficiência na checagem da nota do aluno em uma dada avaliação.

A comparação entre os modelos de tarefa das Figuras 4.18 e 4.12 permite concluir que o modelo personalizado elimina apenas um nó folha (“Imprimir”), uma sub-árvore (“Aluno[nome]”) e unidades de informação desnecessárias aos novos propósitos de eficiência para o usuário móvel. Mesmo em se tratando de uma simplificação do modelo, a consistência no nível de execução das tarefas foi quebrada por não garantir mais o antigo fluxo de ações na execução da tarefa em questão, além do fato de que nem todas as tarefas podem mais ser realizadas (a remoção da sub-árvore “Aluno[nome]” impede tanto a visualização do perfil de cada aluno quanto a comparação de suas notas). Essa perda de consistência é esperada no terceiro nível da hierarquia visto que a nova interface é uma alternativa aos usuários de um dispositivo único, reduzindo a preocupação com sua experiência prévia. A Figura 4.19 mostra como essa alteração no modelo pode ser repassada para a interface.



Avaliações	Nota	Valor
Projeto Fase 1	4.0	10.0
Projeto Fase 2	6.0	10.0
Discussão artigo	8.0	10.0
Escrita de artigo	5.5	10.0
Projeto Fase 3	7.0	10.0
Pesquisa design		10.0
Projeto Fase 4		10.0
Relatório Final		10.0
MÉDIA		10.0

Figura 4.19: Primeira personalização da interface do TelEduc visando eficiência na checagem da nota do aluno em uma dada avaliação.

A tabela de três colunas da Figura 4.19 inverte a organização da antiga matriz de notas, trocando as colunas com códigos de avaliações por linhas contendo os seus respectivos nomes (comparar com a Figura 4.17a). Este novo layout visa maior eficiência na checagem das notas do usuário não apenas devido à eliminação de informação codificada, mas também do excesso dela referente aos demais alunos.

Outra forma de ganhar eficiência é através da eliminação de nós pai e a elevação de suas sub-árvores filhas para reduzir uma ação de navegação no fluxo de ações. No exemplo anterior, isso pode ser feito para agrupar as informações das telas de avaliações passadas, atuais, futuras e notas dos participantes em uma única, eliminando a necessidade de ativação desses itens no menu correspondente. Com isso, o fluxo de ações é simplificado em apenas três passos:

1. **execute perceive** Avaliações
2. *aval* **store perceive** Avaliação[nome=*y*]
3. **return perceive** Nota(*aval*)

Embora esta alteração garanta maior eficiência na execução da tarefa de checagem de notas do usuário, ela quebra a organização da informação ao unificar conceitos de classes diferentes. Como visto na seção 2.2.3, a organização contribui para uma melhor lembrança dos fatos, seja através da criação de categorias de palavras (BOUSFIELD, 1953; MANDLER, 1967), diagramas lógicos (BOWER et al., 1969) ou títulos (BRANSFORD; JOHNSON, 1972). Mesmo que o usuário nunca utilize o TelEduc em outro dispositivo senão o *pocket PC*, eliminando a importância da consistência com sua experiência prévia, no mínimo ele deve perder informações relevantes com a junção de sub-árvores diferentes. O resultado desse procedimento é apresentado no modelo de tarefas da Figura 4.20.

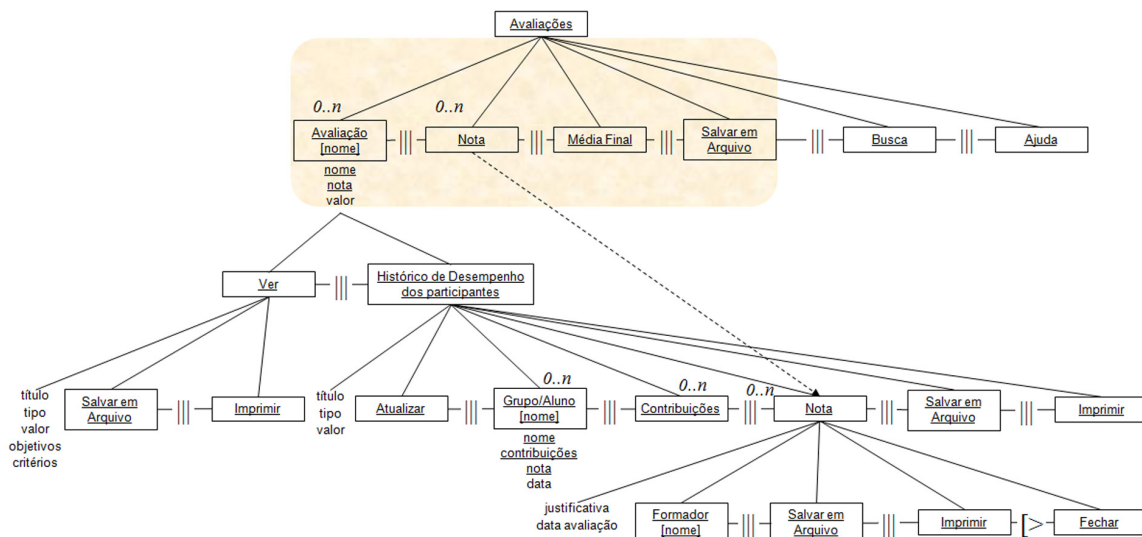


Figura 4.20: Segunda personalização no modelo de tarefas da ferramenta Avaliações do TelEduc resultando na junção de sub-árvores diferentes para ganho de eficiência.

A Figura 4.21 mostra o reflexo dessa alteração na interface personalizada, eliminando o menu de avaliações passadas, atuais, futuras e notas dos participantes.

Construção de Interfaces de			
Avaliações			
	Nota	Valor	
Projeto Fase 1	4.0	10.0	
Projeto Fase 2	6.0	10.0	
Discussão artigo	8.0	10.0	
Escrita de artigo	5.5	10.0	
Projeto Fase 3	7.0	10.0	
Pesquisa design		10.0	
Projeto Fase 4		10.0	
Relatório Final		10.0	
MÉDIA		10.0	

Figura 4.21: Segunda personalização da interface do TelEduc que elimina o menu no topo da tela e combina os seus conteúdos em busca de eficiência para checagem de notas.

A interface obtida com a Figura 4.21 garante alta eficiência na execução da tarefa de checagem de notas do usuário, mas dificulta a realização de outras, tais como as de identificação das avaliações passadas, atuais e futuras. Além disso, essa interface inviabiliza o acesso às notas dos outros alunos, o que impede a comparação com as do usuário. Se por um lado, o designer pode interpretar que estas não são as tarefas de interesse do usuário

móvel, por outro, vários autores reforçam a idéia de que a continuidade⁶ de interação é um fator decisivo para o design multi-dispositivo (NEWCOMB et al., 2003; DENIS; KARSENTY, 2004; FLORINS et al., 2004; PYLA et al., 2006; HAJDUKIEWICZ, 2006). Em acordo com esta visão, pode-se sugerir uma personalização que busque um equilíbrio entre o conceito de continuidade e o ganho em eficiência. Neste sentido, duas alterações podem ser feitas no modelo de tarefas: (1) preservação da antiga sub-árvore “Aluno[nome]” e (2) de todas as outras que constituíam o menu da ferramenta Avaliações (passadas, atuais, futuras e notas dos participantes). A Figura 4.22 apresenta o modelo personalizado após a aplicação destas alterações.

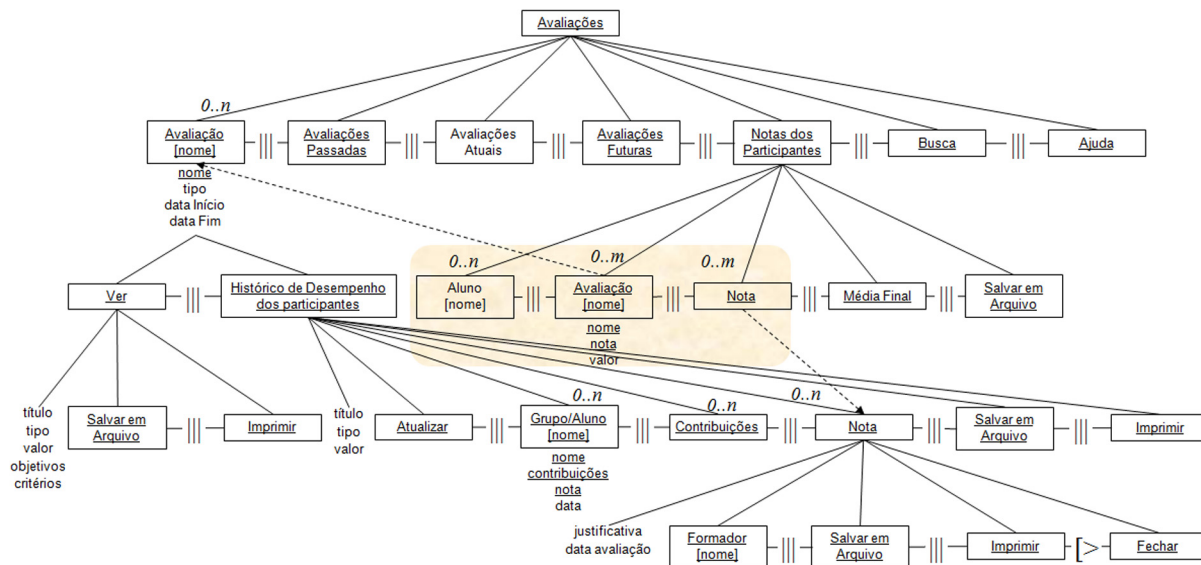


Figura 4.22: Terceira personalização no modelo de tarefas da ferramenta Avaliações do TelEduc para equilibrar a continuidade de interação e o ganho em eficiência.

A primeira mudança a se perceber no modelo personalizado da Figura 4.22 é o retorno das sub-árvores de avaliações passadas, atuais, futuras e notas dos participantes. Com isso, o fluxo de ações da tarefa de checagem da nota do usuário volta a possuir quatro estágios:

1. **execute perceive** Avaliações
2. **execute perceive** Notas dos Participantes
3. **aval store perceive** Avaliação[nome=y]
4. **return perceive** Nota(aval)

⁶Continuidade de interação e Momentum de interação são termos usados por alguns autores com o mesmo significado de migração de tarefas.

Outro ponto importante a ser destacado é o retorno da sub-árvore “Aluno[nome]” na forma de um nó folha, não sendo mais possível navegar em direção às informações do perfil de cada aluno. Esta decisão foi tomada para combinar a tabela de notas do usuário com a necessidade de visualização destes dados para os demais alunos. A solução encontrada para implementação da interface foi através do uso de uma caixa de seleção. Como este recurso não permite a inclusão de links em sua estrutura, optou-se pela preservação da continuidade de interação apenas para as tarefas de comparação de notas. A Figura 4.23 mostra a interface obtida com esta última personalização.



Construção de Interfaces de		
Avaliações - Notas		
Passadas	Atuais	Futuras
Notas		
Aluno: João Carlos de Oliveira		
Avaliações	Nota	Valor
Projeto Fase 1	4.0	10.0
Projeto Fase 2	6.0	10.0
Discussão artigo	8.0	10.0
Escrita de artigo	5.5	10.0
Projeto Fase 3	7.0	10.0
Pesquisa design		10.0
Projeto Fase 4		10.0
Relatório Final		10.0

Figura 4.23: Terceira personalização da interface do TelEduc visando o equilíbrio entre a continuidade de interação e o ganho em eficiência.

A interface personalizada poderia assumir formas bem diferentes de acordo com as decisões tomadas pelo designer. Por exemplo, se outras tarefas de usuário fossem consideradas mais relevantes do que a checagem de suas notas, então uma nova proposta de design personalizado seria estabelecida. É importante lembrar que, neste terceiro nível de consistência, a maioria das decisões de design entrarão em conflito com a preservação dos níveis de consistência anteriores, dado que a natureza da personalização de tarefas é justamente o descompromisso com a experiência prévia do usuário. No entanto, sempre que o designer não tiver informações suficientes para se decidir sobre a melhor interface personalizada para os usuários de um único dispositivo, pode-se optar pela implementação de recursos de customização da interface.

Capítulo 5

Experimento

Este capítulo descreve o experimento realizado que avaliou a implementação da proposta desta tese em contextos de uso alternado e migração de tarefas. Para obter resultados mais conclusivos, optou-se pela comparação desta abordagem com outras em um único estudo, tal como se tem feito em alguns trabalhos recentes (MACKAY et al., 2004; LAM; BAUDISCH, 2005; ROTO et al., 2006). O objetivo final foi identificar vantagens e desvantagens de cada uma delas em busca de uma validação empírica para a metodologia proposta.

5.1 Domínio, Aplicação e Foco das Tarefas

A motivação para a escolha da EaD como domínio de teste e do TelEduc como aplicação exemplo deste domínio já foi apresentada na seção 4.2.1. Quanto à escolha de uma de suas 21 ferramentas para foco do experimento (*ex.*: agenda, avaliações, fóruns de discussão, portfólio, *etc.*), optou-se por aquela que apresentasse duas características principais: (1) alta frequência de acesso durante a realização de um curso e (2) grandes desafios de visualização de informação para a conversão de seus elementos de interface.

Para o primeiro critério de escolha, foram utilizados os registros de acesso ao TelEduc durante a disciplina de Construção de Interfaces de Usuários ministrada em 2007 na UNICAMP. Esta escolha foi motivada pelo fato de que desta turma saíam os indivíduos constituintes da amostra do experimento. De um total de 48 participantes do curso acessando o TelEduc em um período de 83 dias, a maior frequência de acesso foi da ferramenta “Correio”, com um total de 1283 acessos (ver Tabela C.1). Para agrupar as ferramentas com taxas de acesso semelhantes e gerar a pontuação para o primeiro critério de escolha da ferramenta foco do experimento, optou-se pela divisão das frequências em 5 categorias de análise de histograma e a atribuição de uma pontuação apropriada a cada uma delas (zero sendo o menor valor e um o maior). A Tabela 5.1 mostra a divisão dessas categorias, suas pontuações e as ferramentas incluídas em cada uma delas.

Tabela 5.1: Pontuação das ferramentas do TelEduc quanto ao total de acessos.

Acessos	Frequência	Pontuação	Ferramentas
0	2	0	Perguntas Frequentes Parada Obrigatória
0 – 321	7	0, 25	Dinâmica do Curso Bate-papo Diário de Bordo Acessos Estrutura do Ambiente Intermap Exercícios
321 – 642	5	0, 5	Perfil Leitura Enquete Grupos Mural
642 – 961	4	0, 75	Fóruns de Discussão Material de Apoio Atividades Avaliações
961 – 1283	3	1	Correio Agenda Portfólio

Para o segundo critério de avaliação, foi realizada uma análise de todas as ferramentas do TelEduc quanto aos seus desafios de visualização de informação para adaptação da interface *desktop*. As regras usadas para identificação dos desafios foram as seguintes:

- Tabelas com número variável de colunas representam um desafio devido à limitação de tamanho e forma invertida do *pocket PC* em relação ao *desktop*;
- Tabelas com número variável de linhas representam um desafio devido à limitação de tamanho do *pocket PC* em relação ao *desktop*;
- Janelas *popup* representam um desafio devido à impossibilidade de implementar janelas sobrepostas no *pocket PC* (apenas através de estruturas similares dentro de uma mesma página);
- Hierarquização de menus e submenus da própria ferramenta envolvendo pelo menos dois níveis representa um desafio devido à limitação de tamanho do *pocket PC*.
- Representações visuais complexas (*ex.*: grafo) representam um desafio devido às limitações de tamanho e processamento do *pocket PC*;

Segundo estas regras, o maior desafio de adaptação do TelEduc é a ferramenta “Avaliações”. A Tabela 5.2 relaciona os desafios de cada ferramenta além de suas pontuações usando o mesmo procedimento de categorização do critério anterior.

Tabela 5.2: Pontuação das ferramentas do TelEduc quanto ao total de desafios de visualização de informação para adaptação da interface *desktop* na de *pocket PC*.

Ferramentas	Classes de Desafio*					Total	Pontos (0 – 1)
	1	2	3	4	5		
Acessos	•	•	•			3	0,75
Agenda						0	0,00
Atividades		•		•		2	0,50
Avaliações	•	•	•	•		4	1,00
Bate-papo		•	•			2	0,50
Correio		•	•			2	0,50
Diário de Bordo		•	•			2	0,50
Dinâmica do Curso						0	0,00
Enquete		•				1	0,25
Estrutura do Ambiente						0	0,00
Exercícios		•	•			2	0,50
Fóruns de Discussão		•	•	•		3	0,75
Grupos		•	•			2	0,50
Intermap			•	•	•	3	0,75
Leituras		•		•		2	0,50
Material de Apoio		•		•		2	0,50
Mural		•	•			2	0,50
Parada Obrigatória		•		•		2	0,50
Perfil		•	•			2	0,50
Perguntas Frequentes		•		•		2	0,50
Portfólio		•	•	•		3	0,75

* 1: n colunas; 2: n linhas; 3: janela *popup*; 4: submenus; 5: grafo

Por fim, a média da pontuação de ambos os critérios (maior número de acessos e desafios) para cada ferramenta do TelEduc é apresentada na Tabela 5.3. Note que as ferramentas Avaliações e Portfólio são as que apresentam proporções maiores de acessos dos usuários e quantidade de desafios à adaptação multi-dispositivo. Neste caso, optou-se pela escolha da ferramenta Avaliações para ser o foco das tarefas deste experimento pelo fato de que o seu desafio quanto ao número variável de colunas da matriz de notas é muito apropriado para exemplificação das limitações de forma e tamanho do *pocket PC*.

5.2 Participantes

O experimento foi realizado com 18 alunos matriculados na disciplina de Construção de Interfaces de Usuário ministrada em 2007 para a turma do quarto ano de graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual de Campinas. As idades dos indivíduos

Tabela 5.3: Média da pontuação das ferramentas do TelEduc quanto ao total de acessos e desafios de visualização de informação.

Ferramentas	Pontuação por Critérios (0 – 1)		Média Final
	acessos	desafios	
Acessos	0,25	0,75	0,500
Agenda	1,00	0,00	0,500
Atividades	0,75	0,50	0,625
Avaliações	0,75	1,00	0,875
Bate-papo	0,25	0,50	0,375
Correio	1,00	0,50	0,750
Diário de Bordo	0,25	0,50	0,375
Dinâmica do Curso	0,25	0,00	0,125
Enquete	0,50	0,25	0,375
Estrutura do Ambiente	0,25	0,00	0,125
Exercícios	0,25	0,50	0,375
Fóruns de Discussão	0,75	0,75	0,750
Grupos	0,50	0,50	0,500
Intermap	0,25	0,75	0,500
Leituras	0,50	0,50	0,500
Material de Apoio	0,75	0,50	0,625
Mural	0,50	0,50	0,500
Parada Obrigatória	0,00	0,50	0,250
Perfil	0,50	0,50	0,500
Perguntas Frequentes	0,00	0,50	0,250
Portfólio	1,00	0,75	0,875

variaram entre 19 e 29 anos ($\bar{x} = 22$), sendo que todos eram do sexo masculino e tinham grande experiência tanto com computadores quanto com o uso dele no acesso ao ambiente de EaD TelEduc (usado por cada aluno em sete outras disciplinas em média). Nenhum dos participantes havia utilizado este sistema em um *pocket PC/palmtop*/PDA ou celular/*smartphone*, sendo que sua única experiência com ele foi através de computadores *desktop/laptop/tablet PC*. Quando questionados a respeito dos dispositivos que teriam vontade de usar no acesso ao TelEduc, apenas seis demonstraram interesse em usar mais de uma dessas classes, o que revela um possível desinteresse por atividades de migração de tarefas. Por outro lado, igualmente seis indivíduos escolheram o acesso apenas via *desktop/laptop/tablet PC*, caracterizando uma maioria de 66% da amostra interessada em interfaces móveis ainda não disponíveis para o sistema. Cada participante também avaliou informalmente sua experiência com o TelEduc usando a escala de Likert com sete pontos (1: nunca uso; 7: uso constantemente), o que resultou em uma média de 5,4 pontos. Por fim, os indivíduos foram questionados quanto à tarefa mais realizada na ferramenta Avaliações do TelEduc. De um total de 15 respostas, 12 indicaram a checagem de notas enquanto apenas três apontaram a busca pelos detalhes das avaliações. O questionário demográfico utilizado na coleta destes dados está disponível na Figura A.2 e os dados

brutos na Tabela C.2.

5.3 Material

O experimento foi conduzido em um laboratório de computação com acesso à Internet sem fio através de 18 *tablet PCs* disponibilizados em mesas individuais. Durante sua execução, todos os *tablet PCs* permaneceram ou deitados na mesa ou inclinados e a interação por apontador foi simulada através da caneta do *tablet PC*. O navegador do *pocket PC* foi reproduzido no navegador do *tablet PC* e todos os equipamentos permaneceram conectados à uma fonte de energia, o que impediu o esgotamento das baterias durante o experimento.

5.4 Tratamentos e Procedimentos

O objetivo deste experimento foi o de iniciar um processo de validação para a proposta desta tese. Em linhas gerais, a hipótese defendida afirma que o design de interfaces multi-dispositivos para uma mesma aplicação usada em contextos de uso alternado e migração de tarefas deve ser orientado a uma hierarquia de prioridades de consistência com suporte à experiência prévia do usuário. Uma das formas de checar a validade desta hipótese é comparar os resultados da aplicação deste tratamento com outro oposto ao seu.

Um exemplo de abordagem contrária a esta é a de transformação Linear, na qual a interface original é adaptada às limitações do dispositivo alvo sem garantia de consistência com o modelo mental previamente desenvolvido pelo usuário (ver abordagens de interface adaptável da seção 3.1). Como resultado, as interfaces alteram forma, cor, tamanho e localização relativa de seus mecanismos de controle e unidades de informação, visando eficiência e preservação das características do modelo de tarefas da interface original.

Segundo a proposta desta tese, a consistência com o modelo de tarefas (mais especificamente, dos fluxos de ações embutidos nesse modelo) constitui apenas o segundo nível de uma hierarquia de prioridades de consistências a ser mantida. Antes dela, ainda é necessário pensar como os atributos do princípio da constância perceptiva podem ser preservados na interface adaptada.

Outra abordagem a fazer parte do experimento é a Migração Direta por servir de ponto de comparação, visto que a interface original é mantida de maneira exata. Além disso, ela deve levantar questões quanto à interpretação literal da consistência na percepção da tarefa sem considerar os princípios de visibilidade, mapeamento e feedback.

Sendo assim, o experimento realizado aplicou os seguintes tratamentos:

- **Migração Direta:** Reprodução da mesma interface *desktop* do TelEduc no *pocket PC*. Embora essa abordagem mantenha consistência na percepção e execução das tarefas,

ela não garante os princípios de visibilidade, mapeamento e feedback de acordo com as divergências relevantes entre os dispositivos. A Figura 5.1a mostra um exemplo de aplicação dessa abordagem na visualização de uma tela do TelEduc usada no experimento;

- **Transformação Linear:** Adaptação da interface *desktop* do TelEduc às limitações do *pocket PC* visando eficiência nas tarefas de maior interesse e preservação das características do modelo de tarefas original. Esta abordagem quebra a consistência na percepção das tarefas e mantém parcialmente a consistência de execução por alterar o fluxo de ações. Para eliminar qualquer resíduo indesejado de uma transformação automática, optou-se pela implementação manual das telas deste tratamento (ver Apêndice B). A Figura 5.1b mostra um exemplo de tela dessa abordagem para visualização das notas dos participantes do TelEduc;
- **Transformação Overview por Prioridades de Consistência:** Adaptação da interface *desktop* do TelEduc preservando apenas os dois primeiros níveis da hierarquia de prioridades de consistência proposta nesta tese para foco em contextos de uso alternado e migração de tarefas. A Figura 5.1c mostra um exemplo da tela de notas dos participantes do TelEduc implementada por esta abordagem.



Figura 5.1: Telas utilizadas no experimento para visualização das notas dos participantes do TelEduc usando cada um dos três tratamentos aplicados: (a) Migração Direta, (b) transformação Linear e (c) transformação *Overview* por prioridades de consistência.

Considerando formas de implementação e domínios de aplicação a parte, a escolha destas três abordagens como tratamentos do experimento de validação também foi adotada em outros trabalhos (MACKAY et al., 2004; LAM; BAUDISCH, 2005; ROTO et al., 2006). A

similaridade nas decisões desses experimentos contribui para a comparação dos resultados finais e o fortalecimento das conclusões obtidas.

5.4.1 Distribuição da Amostra

A ordem de aplicação dos tratamentos aos indivíduos da amostra pode introduzir efeitos residuais significativos de um tratamento sobre o outro. Para balancear este efeito, optou-se pela distribuição total dos 18 participantes em 6 grupos com 3 integrantes cada, tal que cada grupo seguiu uma ordem diferente de aplicação dos tratamentos. A Tabela 5.4 mostra como esta distribuição foi feita.

Tabela 5.4: Distribuição dos indivíduos da amostra em grupos com diferentes ordens de aplicação dos tratamentos

Grupo	Indivíduos	Ordem de aplicação dos tratamentos para qualquer tarefa		
		Primeiro	Segundo	Terceiro
1	1, 2 e 3	Migração Direta	Linear	<i>Overview</i>
2	4, 5 e 6	Linear	<i>Overview</i>	Migração Direta
3	7, 8 e 9	<i>Overview</i>	Migração Direta	Linear
4	10, 11 e 12	Migração Direta	<i>Overview</i>	Linear
5	13, 14 e 15	Linear	Migração Direta	<i>Overview</i>
6	16, 17 e 18	<i>Overview</i>	Linear	Migração Direta

5.4.2 Variáveis Estudadas

Para comparar as vantagens e desvantagens da aplicação de cada tratamento na execução de cada tarefa, foram estudadas as seguintes variáveis:

- **Variáveis Quantitativas:** Valores computados durante e após a execução da tarefa.
 - Tempo de duração (eficiência)
 - Exatidão da resposta (eficácia)
- **Variáveis Qualitativas:** Informações mensuradas subjetivamente pelos indivíduos após a execução da tarefa.
 - Facilidade de execução comparada com a interface *desktop*
 - Eficiência de execução comparada com a interface *desktop*
 - Segurança de execução comparada com a interface *desktop*

Após a realização de cada tarefa usando todas as três abordagens disponíveis, os usuários responderam outro questionário qualitativo identificando a melhor e a pior das interfaces para realização da referida tarefa, juntamente com os motivos dessa escolha. Por fim, após a realização de todas as tarefas com todas as abordagens, eles preencheram um questionário de satisfação identificando a interface de sua preferência.

5.4.3 Escolha das Tarefas

A escolha das tarefas a serem executadas no experimento respeitou a experiência prévia dos participantes, dos quais 80% apontaram a checagem de notas (pessoal ou coletiva) como sendo a tarefa mais realizada por eles e os 20% restantes indicaram a busca pelos detalhes das avaliações a serem realizadas. É importante destacar que esta pergunta foi respondida de maneira livre, não tendo sido apresentado quaisquer conjuntos de soluções ou alternativas de múltipla escolha (ver questionário da Figura A.2). Este procedimento contribui para a afirmação de que a indicação destas tarefas não foi induzida.

Identificadas as tarefas mais realizadas pelos participantes, foi necessário elaborar um cenário que representasse o contexto de migração de tarefas. Só assim seria possível identificar as vantagens da proposta desta tese na execução de tarefas que precisam ser iniciadas em um dispositivo e concluídas em outro, ou ainda, de tarefas que são executadas em dois dispositivos diferentes com um espaço de tempo relativamente curto entre as execuções.

A seguir, tem-se o cenário construído para a primeira tarefa de checagem de notas do usuário em uma determinada avaliação (ver questionário da Figura A.3):

“Seu professor diz que corrigiu os artigos dos alunos e que já disponibilizou as notas de cada um no TelEduc. Você se dirige ao laboratório de computadores e acessa o sistema, fornecendo login e senha. Em seguida, clica no menu *Avaliações* e depois no link *Notas dos Participantes*. Nesse momento, a energia do laboratório cai e você tenta completar a tarefa usando seu *pocket PC*. Após entrar com o seu login e senha, o sistema apresenta a tela correspondente à última acessada.”

Os passos iniciais deste cenário foram executados para todos os participantes do experimento até o suposto momento da queda de energia. A partir daí, cada indivíduo era responsável por completar a tarefa no seu simulador de *pocket PC* usando as interfaces geradas pelas três abordagens avaliadas (ver Figura 5.1). Note que *esta tarefa não requer ativação de nenhum mecanismo de controle*, sendo necessário apenas a identificação perceptual de certas unidades de informação (nome de aluno ou de avaliação) e a memorização de algumas delas (relação entre código e nome de uma avaliação). O fato de não

exigir ativação de mecanismos de controle torna esta tarefa muito apropriada ao experimento, visto que **a principal¹ divergência entre os tratamentos se encontra no nível de consistência da percepção das tarefas.**

De maneira resumida, cada abordagem permite a realização desta primeira tarefa através dos seguintes fluxos de ações (x : nome do aluno; y : nome da avaliação):

- Migração Direta e Transformação Overview por Prioridades de Consistência:

1. `cod store perceive Avaliação[nome=y]`
2. `aval store perceive Avaliação[código=cod]`
3. `aluno store perceive Aluno[nome=x]`
4. `return perceive Nota(aluno, aval)`

- Transformação Linear:

1. `aval store perceive Avaliação[nome=y]`
2. `return perceive Nota(aval)`

Como já era de se esperar, ambas Migração Direta e transformação *Overview* por prioridades de consistência apresentam o mesmo fluxo de tarefas, visto que a primeira não faz qualquer adaptação à interface original e a segunda mantém consistência no nível de execução das tarefas. Por outro lado, a transformação Linear prioriza o ganho de eficiência através da redução e simplificação de seu fluxo de ações. Este objetivo foi alcançado através da substituição da matriz de notas dos alunos por uma tabela contendo apenas as notas do usuário (similar ao que foi sugerido no terceiro nível da hierarquia de prioridades de consistência da seção 4.2.5).

Para considerar as consequências impostas a outras tarefas por se ter melhorado a eficiência de uma em específico, optou-se pela elaboração de uma segunda tarefa com a mesma natureza da checagem de notas, porém apresentando efeitos no sentido inverso. A tarefa escolhida foi a de comparação das notas dos alunos, a qual teve sua relevância confirmada pela indicação explícita de dois dos 12 participantes que apontaram a checagem de notas como a tarefa mais realizada na ferramenta Avaliações do TelEduc. A seguir, tem-se o cenário de migração desta segunda tarefa, construído de maneira similar ao da primeira (ver questionário da Figura A.4):

“Seu professor diz que corrigiu os projetos da fase 2 e que já disponibilizou as notas de cada um no TelEduc para visualização de todos. Você se dirige ao laboratório de computadores e acessa o sistema, fornecendo login e senha. Em

¹Embora a transformação Linear também apresente inconsistência no segundo nível por reduzir o fluxo de ações de uma tarefa visando maior eficiência, o seu motivo tem origem direta no primeiro nível.

seguida, clica no menu *Avaliações* e depois no link *Notas dos Participantes*. Nesse momento, a energia do laboratório cai e você tenta completar a tarefa usando seu *pocket PC*. Após entrar com o seu login e senha, o sistema apresenta a tela correspondente à última acessada.”

Assim como na primeira tarefa, os primeiros passos deste segundo cenário foram executados até o momento da suposta queda de energia. A única diferença está no fato de que a abordagem de transformação Linear não permite a execução dessa tarefa apenas realizando atividades de percepção e armazenamento de informação. Em outras palavras, é necessário alterar o nome dos alunos na caixa de seleção da Figura 5.1b e contabilizar quantos deles tiraram nota superior à do usuário para completar a tarefa. ***No entanto, este experimento visou o isolamento da percepção de tarefas impedindo a ativação de qualquer mecanismo de controle, visto ser a consistência de layout a principal divergência entre os tratamentos.*** Neste caso, esperava-se que os indivíduos conseguissem identificar apenas a necessidade de alterar o nome dos alunos na caixa de seleção sem efetivamente alterar um a um. Esta decisão de projeto inviabilizou a comparação direta dos dados da transformação Linear com as demais abordagens. Mesmo assim, algumas conclusões válidas puderam ser tiradas da seguinte maneira:

- **Quanto à Eficiência:** Como a caixa de seleção na abordagem Linear continha o nome de 19 alunos e apresentava inicialmente as notas de apenas um deles (a do próprio usuário), a conclusão desta tarefa nesta abordagem ainda exigia a execução dos seguintes passos: (1) escolha dos 18 demais alunos na caixa de seleção; (2) identificação visual da nota de cada um deles na avaliação de interesse; (3) comparação mental de cada nota com a nota do usuário; e (4) computação do número de alunos com nota superior à sua. Em alguns testes realizados, verificou-se que o tempo de execução destes passos extras sem cometer erros não é menor do que 35 segundos (ver Apêndice D). Logo, para viabilizar a comparação da eficiência da abordagem Linear com as demais, optou-se pelo acréscimo destes 35 segundos ao tempo gasto por cada indivíduo na identificação da necessidade de alteração dos nomes na caixa de seleção (o menor tempo foi utilizado para provar que mesmo a melhor situação da abordagem Linear nesta tarefa não lhe garante superioridade de eficiência).
- **Quanto à Eficácia (exatidão das respostas):** Neste caso, considerou-se que as atividades restantes à execução da tarefa com a abordagem Linear teriam sido realizadas de maneira correta pelos indivíduos. Essa decisão foi tomada para garantir que o experimento não beneficiaria a abordagem de prioridades de consistência proposta nesta tese. Logo, a eficácia foi avaliada com base na seguinte hipótese: “Se o número de indivíduos capazes de executar corretamente uma fração da tarefa usando uma

abordagem x (Linear) for menor que o número de indivíduos a executarem corretamente todas as atividades da tarefa usando uma abordagem y (Migração Direta ou Overview), então certamente y terá sido mais eficaz do que x .

Por último, a terceira tarefa do experimento envolveu a busca por detalhes das avaliações a serem concluídas, tarefa esta apontada por três participantes como a mais realizada na ferramenta Avaliações do TelEduc. Como eles representam uma minoria de 20% dos 15 respondentes do questionário demográfico, pode-se afirmar que esta tarefa é a segunda mais frequente. Logo, o cenário deve estar de acordo com esta constatação, tal como se o usuário estivesse interessado primeiramente em checar notas para só então verificar os detalhes das avaliações a serem realizadas (ver questionário da Figura A.5):

“Após checar as suas notas nas avaliações realizadas até agora, você percebe que será necessário se dedicar mais à disciplina. Sendo assim, você decide rever quais são as avaliações atuais para trabalhar nelas.”

Nesta tarefa, esperava-se que os indivíduos conseguissem identificar apenas o mecanismo de controle a ser ativado para visualizar as avaliações atuais do TelEduc. Isso implicava que, em nenhuma das três abordagens, eles conseguiriam obter efetivamente os detalhes das avaliações. O que se esperava deles era simplesmente o passo seguinte em direção à conclusão da tarefa, como parte do primeiro estágio do ciclo de atualização do modelo mental do usuário (ver seção 4.1.1). Em termos práticos, os usuários deveriam identificar o link “Avaliações Atuais” na Migração Direta (ver Figura 5.1a), o link “Avaliações” na transformação Linear (ver Figura 5.1b) e o link “Atuais” na transformação Overview (ver Figura 5.1c).

Um fato interessante deste cenário é que a execução da terceira tarefa foi impulsionada pelos efeitos produzidos nas anteriores, fazendo com que o seu estágio inicial do fluxo de ações correspondesse ao estágio final das demais. A avaliação dessa característica é de grande importância para o estudo da perda de “rastros mentais”, ou seja, a incapacidade de supor as ações tomadas em um dispositivo b no alcance de seu estado atual devido à migração de tarefa iniciada em um dispositivo a .

5.4.4 Precauções para Construção do Estado Inicial das Tarefas

Para tornar o estado inicial de cada tarefa o mais real possível e evitar a inclusão de casos particulares nos quais um tratamento possa se beneficiar mais do que outro, as seguintes providências foram tomadas.

- **Nome padrão de usuário:** Como a disposição dos alunos na matriz de notas é feita em ordem alfabética do primeiro nome, optou-se pela sua padronização visando eliminar

os efeitos colaterais no tempo de busca do nome de cada indivíduo. Como estes indivíduos não mais procurariam pelos seus próprios nomes, era necessário a escolha de um que fosse comum à sua cultura e de simples identificação. Para considerar um caso médio, o nome também deveria ser posicionado na região mediana da matriz. Além disso, ele deveria conter informações suficientes para compor o primeiro nome, o do meio e o sobrenome. Atendendo a estes quesitos, o nome escolhido foi “João Carlos de Oliveira”;

- **Quantidade de avaliações na matriz:** Foram disponibilizadas oito avaliações na matriz de notas tal que ambos, quantidade e nomes, caracterizam uma situação real de realização deste curso no passado. Essas oito avaliações foram suficientes para exigir o uso da barra de rolagem horizontal tanto na abordagem de Migração Direta quanto na de transformação *Overview*. Já a transformação Linear, que posiciona as avaliações em linhas e não em colunas, não exigiu o uso da barra de rolagem vertical para visualização de todas elas (apenas para checar as justificativas das notas). Como este número de avaliações é real para o curso em questão, a capacidade de sua visualização na transformação Linear sem uso da barra de rolagem não foi considerada um beneficiamento desta abordagem;
- **Quantidade de alunos na matriz:** Foram disponibilizados 19 alunos na matriz de notas, o que também representa uma situação real de realização deste curso no passado. De maneira similar ao número de avaliações, essa quantidade de alunos foi suficiente para exigir o uso da barra de rolagem vertical em ambas as abordagens de Migração Direta e transformação *Overview*. A transformação Linear, por sua vez, não apresenta os dados de todos os alunos em uma única tela;
- **Quantidade de notas na matriz:** Para evitar a memorização de resultados com um tratamento e o reuso no tratamento seguinte, optou-se pelo preenchimento de três colunas de notas com valores diferentes. Este procedimento forçou os indivíduos a realizarem o passo de decodificação do nome da avaliação nas abordagens de Migração Direta e transformação *Overview*, como de costume. Por outro lado, a transformação Linear aprimora a eficiência na execução da tarefa de checagem da nota do aluno e, por isso, não exige este passo de decodificação.

5.5 Método de Análise

A análise estatística tem por objetivo identificar qual a probabilidade do acaso ser responsável pelo resultado encontrado na pesquisa. Como a orientação deste experimento foi

dada segundo os parâmetros da estatística inferencial (procedimento comumente empregado na área de IHC), a principal abordagem usada para análise dos dados foi o teste de hipóteses, no qual os resultados são apresentados como valores de probabilidade por meio de testes estatísticos. Sendo assim, apresentam-se a seguir as justificativas quanto aos testes estatísticos escolhidos para análise de cada um dos conjuntos de dados observados neste experimento:

- **Tempo de execução:** Para ajustar os efeitos residuais produzidos nesta variável contínua devido à influência da execução de um tratamento sobre o outro, optou-se pelo uso de uma análise de variância paramétrica usando quadrado latino balanceado para efeito residual (COCHRAN; COX, 1992). A comparação entre os pares de tratamentos foi feita usando uma análise *post-hoc* pelo teste de comparação múltipla de Tukey. Este teste foi escolhido por ser mais seguro do que outros testes padrões, dentre eles o Student-Newman-Keuls que pode gerar erro do Tipo I acima de 5% e não produz intervalos de confiança a 95% para cada diferença (SEAMAN et al., 1991);
- **Facilidade, eficiência e segurança de uso em relação à interface desktop:** Por se tratar de variáveis discretas, não normais na escala de Likert, optou-se pelo teste de Friedman por ser um método de análise não paramétrica para três ou mais tratamentos com amostras pareadas. Além disso, este teste não faz qualquer suposição quanto à distribuição dos dados. A comparação entre os pares de tratamentos foi feita usando o teste de Wilcoxon por ser o mais adequado à investigação de diferenças entre medianas de dois grupos com amostras pareadas.

5.6 Resultados Esperados

A seleção da estatística inferencial é orientada à pergunta que motiva a realização da pesquisa. Em particular, as perguntas a serem respondidas com este experimento, juntamente com os resultados esperados, foram:

1. O ganho de eficiência proporcionado pela transformação Linear na tarefa de interesse do usuário é significativo (Tarefa 1)?

Esperava-se que sim, pois este é o grande apelo da transformação Linear. Logo, as médias dos tempos de execução para a Tarefa 1 deviam apresentar diferença significativa entre as abordagens Linear e *Overview*, sendo que a da Linear deveria ser menor.

2. Quais os efeitos dessa adaptação da transformação Linear para tarefas de menor interesse (Tarefa 2)?

Esperava-se uma menor eficiência de execução e menor exatidão das respostas em relação à abordagem *Overview*.

3. Qual das três abordagens trata melhor a alteração do estágio inicial do fluxo de ações de uma tarefa (Tarefa 3)?

Esperava-se que fosse a transformação *Overview* devido à sua consistência com a experiência prévia do usuário. Logo, as médias dos tempos de execução para a Tarefa 3 deviam apresentar diferenças significativas entre as abordagens *Linear* e *Overview*, sendo que a *Overview* devia ser menor. Além disso, a eficácia na exatidão das respostas obtidas também devia ser maior com o tratamento *Overview* ao invés do *Linear*.

4. Qual das três abordagens conduz o usuário a uma melhor eficácia de execução das tarefas (exatidão de respostas)?

Esperava-se que fosse a transformação *Overview* devido à sua consistência com a experiência prévia do usuário.

5. Qual das três abordagens provoca menos alterações no modelo mental do usuário quanto aos atributos de usabilidade, tais como facilidade, eficiência e segurança de uso?

Esperava-se que fosse a transformação *Overview* devido à sua consistência com a experiência prévia do usuário. Logo, as médias das avaliações subjetivas quanto à facilidade, eficiência e segurança de uso em relação à interface *desktop* deviam ser mais próximas de quatro para a abordagem *Overview* do que para as demais (quatro representa a ausência de diferença dentro da escala de Likert com sete pontos).

5.7 Resultados Obtidos

A seguir, apresenta-se os resultados obtidos com a realização do experimento e a discussão dos mesmos na ordem de execução das tarefas pelos indivíduos (ver análise completa dos dados no Apêndice E).

5.7.1 Tarefa 1: Principal Interesse do Usuário

A Tarefa 1 de checagem da nota individual do usuário foi considerada a de maior interesse por ser a mais executada (indicada por 12 indivíduos dos 15 respondentes do questionário demográfico). Os dados observados com a realização desta tarefa foram (ver detalhes na Tabela C.3):

- Quanto à eficácia (exatidão de respostas): Os 18 indivíduos do experimento foram capazes de concluir a tarefa e apresentar a resposta correta com cada tratamento;
- Quanto ao tempo de duração: As médias do tempo de execução da tarefa foram de 55s para a Migração Direta (ajustado=51s), 38s para a transformação Linear (ajustado=34s) e 42s para a *Overview* (ajustado=45s), sendo que a diferença entre elas foi significativa ($F = 4,11$, $gl = 2$, $p < 0,05$). A análise *post-hoc* identificou que esta diferença estava presente apenas entre a Migração Direta e Linear, sendo a *Overview* similar a ambas;
- Quanto à facilidade de uso comparada à do TelEduc desktop: As medianas das notas na escala de Likert com sete pontos atribuídas a cada tratamento foram de três para a Migração Direta, seis para a Linear e quatro para a *Overview*, sendo a diferença entre elas considerada significativa ($\chi^2 = 18,381$, $gl = 2$, $p < 0,001$);
- Quanto à eficiência comparada à do TelEduc desktop: Com mediana dois para a Migração Direta, cinco para a Linear e quatro para a *Overview*, estes resultados também apresentaram diferenças significativas ($\chi^2 = 19,906$, $gl = 2$, $p < 0,001$);
- Quanto à segurança de uso comparada à do TelEduc desktop: A Migração Direta teve mediana de nota três, a Linear cinco e a *Overview* quatro, sendo que as diferenças entre elas foram significativas ($\chi^2 = 11,246$, $gl = 2$, $p = 0,004$). No entanto, a análise dos pares de tratamentos revelou que esta diferença está presente apenas entre a Linear e as outras abordagens ($p < 0,005$), o mesmo não ocorrendo entre Migração Direta e *Overview* ($T = 56$, $p = 0,37$);
- Quanto à escolha da melhor abordagem: Dos 18 indivíduos, 16 escolheram a Linear, dois a *Overview* e nenhum optou pela Migração Direta. O principal motivo dessa preferência pela Linear foi a eficiência (14 votos), seguido da facilidade e segurança de uso (ambos empatados com 13 votos);
- Quanto à escolha da pior abordagem: 14 indivíduos escolheram a Migração Direta, três a *Overview* e um a Linear. Todos os que se mostraram aversos à Migração Direta apresentaram o mesmo motivo de ausência de adaptação do conteúdo à limitação de espaço do *pocket PC*.

A primeira observação quanto à exatidão das respostas obtidas confirma o fato de que todas as três abordagens foram eficazes na execução dessa tarefa. Isso indica que a perda de visibilidade na Migração Direta e a quebra de consistência nos níveis de percepção e execução da transformação Linear não conduziram o usuário a cometer erros.

Embora a abordagem Linear tenha reduzido consideravelmente o seu fluxo de ações para realização da tarefa de maior interesse do usuário, não foi verificada uma diferença significativa entre sua média de tempo de execução e a da abordagem *Overview* por prioridades de consistência. Este resultado surpreende as expectativas do experimento visto que a adaptação Linear tem seu maior apelo no ganho de eficiência através da reestruturação da interface adaptada ao dispositivo alvo. Este resultado contribui para a conclusão de que um fluxo menor de ações simples pode ser executado em tempo similar ao de um fluxo maior de ações complexas desde que o primeiro não seja consistente com a expectativa prévia do usuário, ao contrário do segundo.

Embora esta conclusão tenha fundamento nos dados medidos, o mesmo não ocorre para os dados percebidos. De acordo com a avaliação subjetiva, os indivíduos consideraram a eficiência na abordagem Linear como sendo maior do que em qualquer uma das demais abordagens. Essa divergência pode ser explicada pelo fato de que o julgamento pessoal deste atributo foi feito após a execução da tarefa, quando o usuário já havia tomado conhecimento da nova interface. Ciente de que o fator surpresa será menor nas próximas interações, principalmente se ele decidir usar apenas o *pocket PC* para acessar o TelEduc, o usuário revela uma percepção melhor da eficiência do que a que foi medida. Isso ocorre porque, em sua perspectiva, executar um fluxo menor de ações simples é uma opção mais atraente. Pelos resultados observados, essa suposição também se estende na avaliação da facilidade e segurança de uso da interface Linear. A lógica desta suposição é coerente (razão pela qual a proposta desta tese dá suporte ao terceiro nível de consistência na personalização das tarefas), mas um contexto de migração de tarefas pode provar o contrário, como visto na eficiência medida. Resta saber se tarefas de outra natureza, que não a de interesse principal do usuário, revelam conflitos nos demais atributos.

Outro ponto a ser destacado na avaliação subjetiva é que, dentro da escala de Likert com sete pontos, o valor quatro significa a ausência de diferença de um atributo (facilidade, eficiência ou segurança de uso) entre a abordagem avaliada e a interface *desktop* do TelEduc. De acordo com os resultados obtidos, a transformação *Overview* por prioridades de consistência foi a única capaz de manter mediana quatro para os três atributos, apresentando, inclusive, diferença significativa para todas as equivalentes da transformação Linear. Este resultado contribui para a afirmação de que, embora não tenha atingido níveis superiores nesta avaliação, a interface sugerida pelo método de prioridades de consistência alcançou seu objetivo principal, ou seja, a preservação do modelo mental do usuário através da consistência com sua expectativa. Isto colabora para o uso alternado das interfaces sem necessidade de constantes adaptações, o que poderia levar à perda de segurança na execução das tarefas.

Por fim, a escolha da abordagem Linear como a melhor dentre as três para execução da Tarefa 1 confirma sua superioridade na avaliação subjetiva dos atributos de facilidade,

eficiência e segurança de uso. Como esta tarefa foi otimizada para a transformação Linear, o resultado observado condiz com a expectativa prévia do experimento.

5.7.2 Tarefa 2: Variação da Tarefa 1

A Tarefa 2 visava a descoberta do número de alunos que obtiveram nota maior que a do usuário em uma dada avaliação. Essa tarefa representa uma variação da tarefa de maior interesse do usuário, porém com menor relevância (indicada por dois dos 12 indivíduos que elegeram a Tarefa 1 como a mais executada). Os dados observados com a realização desta tarefa foram (ver detalhes na Tabela C.4):

- Quanto à eficácia (exatidão de respostas): Dos 18 indivíduos, 17 foram capazes de concluir a tarefa com exatidão usando as abordagens de Migração Direta e *Overview*. Por outro lado, apenas 6 conseguiram identificar a necessidade de alterar os nomes dos alunos na caixa de seleção da abordagem Linear para tentar concluir a tarefa;
- Quanto ao tempo de duração²: As médias do tempo de execução da tarefa foram de 60s para a Migração Direta (ajustado=69s), 84s para a transformação Linear (ajustado=75s) e 37s para a *Overview* (ajustado=30s), sendo que a diferença entre elas foi significativa ($F = 13,32$, $gl = 2$, $p < 0,01$). A análise *post-hoc* identificou que esta diferença estava presente apenas entre a *Overview* e as demais abordagens, podendo a Migração Direta e Linear serem consideradas similares;
- Quanto à facilidade de uso comparada à do TelEduc desktop: As medianas das notas na escala de Likert com sete pontos atribuídas a cada tratamento foram de dois para a Migração Direta e Linear e 4,5 para a *Overview*³, sendo a diferença entre elas considerada significativa ($\chi^2 = 13,569$, $gl = 2$, $p = 0,001$). No entanto, a análise dos pares de tratamentos revelou que esta diferença está presente apenas entre a *Overview* e as demais abordagens ($p < 0,01$), o mesmo não ocorrendo entre Migração Direta e Linear ($T = 71$, $p = 0,78$);
- Quanto à eficiência comparada à do TelEduc desktop: Com mediana dois para ambas Migração Direta e Linear e quatro para a *Overview*, estes resultados também apresentaram diferenças significativas ($\chi^2 = 12,655$, $gl = 2$, $p = 0,002$). Novamente, a análise dos pares de tratamentos indicou que apenas as diferenças entre *Overview* e as outras abordagens são significativas ($p < 0,007$), o que não ocorre entre Migração Direta e Linear ($T = 67$, $p = 0,73$);

²Como explicado na seção 5.4, os tempos de duração da abordagem Linear foram alterados de acordo com o procedimento sugerido no Apêndice D para viabilizar a comparação dos tratamentos.

³A mediana fracionária 4,5 ocorre porque a amostra possui número par de elementos inteiros e a média entre os dois elementos medianos é fracionária (neste caso, os valores 4 e 5).

- Quanto à segurança de uso comparada à do TelEduc desktop: A Migração Direta teve mediana de nota dois, a Linear três e a *Overview* quatro, sendo que as diferenças entre elas foram significativas ($\chi^2 = 7,143$, $gl = 2$, $p = 0,028$). No entanto, a análise dos pares de tratamentos revelou que esta diferença está presente entre a Migração Direta e a *Overview* ($p = 0,006$), sendo quase significativa entre Linear e as demais ($p < 0,11$);
- Quanto à escolha da melhor abordagem: Dos 18 indivíduos, 14 escolheram a *Overview*, dois a Linear e outros dois optaram pela Migração Direta. O principal motivo da preferência pela abordagem *Overview* foi a eficiência (17 votos), seguido da segurança (10 votos) e facilidade de uso (5 votos);
- Quanto à escolha da pior abordagem: 12 indivíduos escolheram a Linear, seis a Migração Direta e nenhum optou pela *Overview*. Em geral, os que se mostraram aversos à transformação Linear apresentaram motivos relativos à baixa eficiência e diferença em relação à versão *desktop* do TelEduc.

Dentre todas as observações a serem feitas quanto aos resultados da Tarefa 2, acredita-se que aquela relacionada à exatidão das respostas seja a mais importante. Enquanto 94% dos indivíduos foram capazes de concluir a tarefa corretamente usando as abordagens da Migração Direta e *Overview*, apenas 33% o fizeram com a transformação Linear. Isto significa que $\frac{2}{3}$ dos indivíduos não foram capazes sequer de identificar a necessidade de alterar o nome do participante na caixa de seleção como sendo o passo seguinte à conclusão da tarefa. Vale destacar que estes resultados poderiam ser ainda piores para a abordagem Linear considerando-se o longo processo que ainda estava por vir (correspondente à alteração dos 18 nomes de alunos restantes na caixa de seleção, identificação das notas de cada um para a avaliação em questão, comparação com a nota pessoal e computação do número de notas superiores). ***Os resultados dessa segunda tarefa revelam a importância de se ter preparado um experimento com mecanismos de controle desativados. Com esta metodologia, foi possível identificar que a natureza da perda de eficácia está no primeiro estágio do ciclo de atualização do modelo mental do usuário, ou seja, na percepção da tarefa.*** Enquanto ao designer parecia óbvio a necessidade de alteração do participante na caixa de seleção para apresentação de suas notas, o mesmo não foi para os indivíduos do experimento, provavelmente devido à expectativa gerada por sua experiência prévia. Este exemplo mostra como uma adaptação de interface para privilégio de uma determinada tarefa pode refletir nas demais.

Os tempos de execução corrigidos para comparação dos tratamentos revela este mesmo efeito agravante na eficiência da tarefa. A maior rapidez com a abordagem *Overview* em

relação à Linear confirma uma das expectativas do experimento. Esta superioridade está presente não apenas nos valores medidos, mas também nos percebidos, visto que ambas as abordagens de Migração Direta e Linear receberam notas inferiores à *Overview* quando comparadas com a versão *desktop* do TelEduc.

Assim como na Tarefa 1, a avaliação subjetiva confirmou novamente a capacidade da abordagem *Overview* de preservar o modelo mental do usuário, dado que suas medianas na escala de Likert com sete pontos foram as mais próximas de quatro comparadas com as outras abordagens.

Por último, a preferência dos indivíduos pela abordagem *Overview* e o motivo da aversão à transformação Linear confirmam a importância do primeiro nível de consistência na percepção das tarefas, o qual se preocupa não apenas com a preservação dos atributos da constância perceptiva e localização relativa (como faz a Migração Direta), mas também com os princípios de design comprometidos nas divergências entre os dispositivos de acesso (*ex.*: visibilidade, mapeamento e feedback). Mais uma vez a eficiência foi indicada como o motivo principal desta escolha, seguido da segurança como uma comprovação da melhor eficácia na exatidão das respostas.

5.7.3 Tarefa 3: Interesse Secundário do Usuário

A Tarefa 3 tinha como objetivo a visualização dos detalhes de uma determinada avaliação do TelEduc e foi identificada como a de interesse secundário pelos usuários da ferramenta Avaliações (três dos 15 respondentes do questionário demográfico apontaram esta tarefa como a mais executada). Por ser iniciada a partir da tela da Tarefa 1 (mesma tela da Tarefa 2), diz-se que o estágio inicial do seu fluxo de ações foi alterado por não ser mais a primeira tela do sistema. Normalmente, este fato ocorre com a maioria das tarefas realizadas e a avaliação de seus efeitos tem interesse especial no design multi-dispositivo devido à possibilidade de perda de rastro mental por migração de tarefa. Os dados observados com a realização desta tarefa foram (ver detalhes na Tabela C.5):

- Quanto à eficácia (exatidão de respostas): Dos 18 indivíduos, 17 foram capazes de concluir a tarefa com exatidão usando as abordagens de Migração Direta e *Overview*, sendo que 15 o fizeram com a transformação Linear;
- Quanto ao tempo de duração: As médias do tempo de execução da tarefa foram de 21s para a Migração Direta (ajustado=24s), 28s para a transformação Linear (ajustado=26s) e 15s para a *Overview* (ajustado=12s), sendo que a diferença entre elas foi significativa ($F = 5,8$, $gl = 2$, $p < 0,01$). A análise *post-hoc* identificou que esta diferença estava presente apenas entre a *Overview* e as demais abordagens, podendo a Migração Direta e Linear serem consideradas similares;

- Quanto à facilidade de uso comparada à do TelEduc desktop: As medianas das notas na escala de Likert com sete pontos atribuídas a cada tratamento foram de quatro para a Migração Direta e *Overview* e três para a Linear, não havendo diferença significativa entre elas ($\chi^2 = 4,167$, $gl = 2$, $p = 0,125$). Ainda assim, a probabilidade das medianas das abordagens *Overview* e Linear serem semelhantes pode ser considerada pequena ($T = 42$, $p = 0,132$);
- Quanto à eficiência comparada à do TelEduc desktop: Com mediana três para ambas Migração Direta e Linear e mediana quatro para a *Overview*, estes resultados apresentaram diferenças significativas ($\chi^2 = 7,444$, $gl = 2$, $p = 0,024$). Pela análise dos pares de tratamentos, foi verificado que apenas as diferenças entre *Overview* e Migração Direta eram significativas ($T = 17$, $p = 0,011$), mas a probabilidade de similaridade entre as medianas das abordagens *Overview* e Linear também foi pequena ($T = 42$, $p = 0,164$);
- Quanto à segurança de uso comparada à do TelEduc desktop: A Migração Direta e *Overview* obtiveram medianas quatro enquanto a Linear alcançou mediana três, tal que as diferenças entre elas não foram significativas ($\chi^2 = 3,957$, $gl = 2$, $p = 0,138$). No entanto, a análise dos pares de tratamentos encontrou probabilidades pequenas de similaridade entre as medianas das abordagens Linear e Migração Direta ($T = 33$, $p = 0,09$) e entre a Linear e a *Overview* ($T = 39$, $p = 0,158$);
- Quanto à escolha da melhor abordagem: Dos 18 indivíduos, 10 escolheram a *Overview*, quatro a Linear e outros quatro optaram pela Migração Direta. O principal motivo da preferência pela abordagem *Overview* foi a facilidade de uso (10 votos), seguido da eficiência (9 votos) e segurança de uso (7 votos);
- Quanto à escolha da pior abordagem: Nove indivíduos escolheram a Linear, oito a Migração Direta e apenas um optou pela *Overview*. Em geral, os que se mostraram aversos à transformação Linear apresentaram como motivo principal a diferença desta interface em relação à versão *desktop* do TelEduc.

A alteração do estágio inicial do fluxo de ações de uma tarefa de interesse secundário é uma das atividades mais realizadas em sistemas computacionais. Isto ocorre porque, na maioria das vezes, os usuários precisam realizar um conjunto de tarefas em sequência das quais apenas a primeira segue seu fluxo normal. A falha em atacar este problema usando interfaces que privilegiam a tarefa de interesse principal do usuário vem do fato de que elas impõem uma nova organização nas unidades de informação. Essa quebra de consistência no modelo mental construído previamente pelo usuário pode não apenas reduzir a eficiência na realização das tarefas, mas também a eficácia na exatidão das respostas.

Como se pode observar, esta suposição foi confirmada pelos resultados obtidos. Novamente, a abordagem *Overview* teve um número maior de indivíduos concluindo a tarefa corretamente do que a abordagem Linear. Essa superioridade se estendeu quanto à rapidez de execução inclusive sobre a Migração Direta. Mais uma vez as medianas da avaliação subjetiva se mantiveram em quatro para a abordagem *Overview*, revelando não apenas uma melhoria sobre a Linear, mas também a alta capacidade das prioridades de consistência na preservação da usabilidade relativa à interface *desktop* do TelEduc. Este deve ser um dos resultados mais importantes para o contexto de migração de tarefas, no qual oscilações perceptivas podem reduzir a utilidade dos diferentes dispositivos de acesso.

Por fim, a escolha da abordagem *Overview* como a melhor para execução desta tarefa foi devido à sua facilidade de uso e eficiência. Já a transformação Linear foi indicada como a pior devido às suas diferenças em relação à versão *desktop* do TelEduc, o que confirma os resultados obtidos com a Tarefa 2. A combinação destes resultados mostra como a consistência com a experiência prévia do usuário é fundamental na garantia de eficiência.

5.7.4 Satisfação Subjetiva

A última avaliação subjetiva comparou as interfaces quanto aos seus principais motivos de satisfação para os usuários. Nesta etapa, as perguntas admitiam apenas respostas discursivas e a desconsideração quanto às tarefas realizadas foi fortemente destacada. O objetivo era identificar a interface mais agradável de uma maneira geral e as razões para isso. Os resultados encontrados deixam claro a importância da personalização: 12 indivíduos escolheram a abordagem Linear, quatro a *Overview* e dois a Migração Direta.

Como se pode observar, embora apenas a Tarefa 1 de interesse do usuário tenha sido melhorada com a abordagem Linear (mesmo não apresentando diferença significativa no tempo médio de execução), esta foi a escolhida como a mais atraente pelos indivíduos do experimento. Vale lembrar que este resultado não está de acordo com os trabalhos de MacKay et al. (2004), Lam & Baudisch (2005) e Roto et al. (2006). O principal motivo dessa divergência está no fato de que esta tese não utilizou uma abordagem de transformação Linear automática por Coluna Simples, na qual nenhuma decisão de design orientada ao usuário é tomada. Ao contrário, o sistema TelEduc foi reconstruído para o *pocket PC* como se fosse seu único dispositivo de acesso, mantendo as características principais do modelo de tarefas e otimizando a de maior interesse (ver Apêndice B). Em outras palavras, o terceiro nível da hierarquia de prioridades de consistência garantiu a personalização da tarefa principal sem se preocupar com os dois primeiros níveis (percepção e execução). O resultado foi uma interface mais adaptada do que as de Coluna Simples utilizadas nos estudos de caso dos trabalhos citados. Logo, argumenta-se que a comparação realizada neste experimento é mais justa por avaliar o melhor de cada

abordagem.

Após uma análise cuidadosa das respostas deste questionário, percebeu-se que a melhor usabilidade na execução da tarefa de interesse foi fator determinante para a preferência pela abordagem Linear, como revelam os comentários a seguir (ver Tabela C.6):

“...considero esta interface mais funcional que a atual do TelEduc.”

(Indivíduo 1)

“...Linear torna em geral as atividades mais fáceis do que no TelEduc.”

“A interface Linear seria boa mesmo para o TelEduc para desktops!”

(Indivíduo 15)

Ponderações como estas questionam a usabilidade do próprio TelEduc, como se as decisões tomadas na versão para *pocket PC* também deveriam ser tomadas no *desktop*. Isso confirma mais uma vez a importância da consistência entre ambas as interfaces. Ainda assim, é preciso explicar o motivo da satisfação com uma abordagem que não foi capaz de demonstrar superioridade nas tarefas realizadas. Os seguintes fatores podem ter contribuído:

- **Decisões de baixo risco:** Oito dos 12 eleitores da abordagem Linear não foram capazes de executar uma ou mais das três tarefas com exatidão. Por outro lado, todos os eleitores das demais abordagens foram capazes de executar as três tarefas corretamente. Acredita-se que, se o domínio da aplicação envolvesse decisões de risco (*ex.*: transferência monetária, controle de lixo tóxico, operação de maquinário de alto custo, *etc.*), qualquer erro não seria tolerado e se tornaria um motivo de aversão à dada interface;
- **Desinteresse pelo acesso multi-dispositivo:** Embora o questionário demográfico tenha revelado que 12 dos 18 indivíduos eram interessados em usar interfaces móveis para o TelEduc, apenas cinco deles também gostariam de acessar o sistema via *desktop*, o que caracteriza um desinteresse pelo acesso multi-dispositivo e, por conseguinte, a inadequação de contextos de migração de tarefas para este domínio e/ou amostra. Logo, o terceiro nível da hierarquia de prioridades de consistência se faz mais apropriado para garantir a personalização das tarefas de interesse. Alguns comentários favoráveis dos indivíduos a respeito da abordagem Linear confirmam esta suposição (ver Tabela C.6):

“Por caber mais informação [...] que considero que me interesse mais.”

(Indivíduo 4)

“...apresenta a informação de modo mais objetivo e inteligível, sendo que a visualização do quadro de notas é mais clara.”

(Indivíduo 6)

“Estrutura mais voltada ao aluno individualmente.”

(Indivíduo 12)

“Porque mostra informações individuais, menos sujeitas a erro.”

(Indivíduo 13)

Como se pode notar, embora a abordagem *Overview* tenha sido a mais adequada para a realização das tarefas em geral, os participantes do experimento revelaram maior satisfação com a abordagem Linear. Isso mostra que a eficácia gerada pelos dois primeiros níveis da hierarquia de prioridades quanto à percepção e execução das tarefas deve ser combinada com o terceiro nível de personalização visando maior satisfação e/ou eficiência. Para que esta combinação considere múltiplos contextos de uso, propõe-se a disponibilização de padrões criados pelo designer para escolha do usuário. Este procedimento deve auxiliar tanto no acesso por um único dispositivo quanto em contextos de uso alternado e migração de tarefas.

5.8 Resultados Esperados versus Resultados Obtidos

Os resultados obtidos com a realização deste experimento forneceram as seguintes respostas para as perguntas estabelecidas na seção 5.6:

1. O ganho de eficiência proporcionado pela transformação Linear na tarefa de interesse do usuário é significativo (Tarefa 1)?

Esperava-se que sim, mas não foi observado. Ao invés disso, a abordagem *Overview* por prioridades de consistência obteve média semelhante à Linear, levando à conclusão de que um fluxo menor de ações simples pode ser executado em tempo similar ao de um fluxo maior de ações complexas desde que o primeiro não seja consistente com a expectativa prévia do usuário e o segundo seja.

2. Quais os efeitos dessa adaptação da transformação Linear para tarefas de menor interesse (Tarefa 2)?

Em acordo com o que já era esperado, foi verificada uma eficácia quase três vezes menor do que a da *Overview* além de uma redução maior que 90% na eficiência de execução da tarefa (diferença significativa das médias).

3. Qual das três abordagens trata melhor a alteração do estágio inicial do fluxo de ações de uma tarefa (Tarefa 3)?

Novamente a expectativa foi confirmada, revelando a abordagem *Overview* como a mais adequada dentre os tratamentos. Sua eficácia na exatidão das respostas foi ligeiramente maior do que a Linear e a eficiência teve ganho aproximado de 116% em relação a esta (diferença significativa das médias).

4. Qual das três abordagens conduz o usuário a uma melhor eficácia de execução das tarefas (exatidão de respostas)?

Esperava-se que fosse a transformação *Overview*, mas a Migração Direta também obteve a mesma taxa: 100% na Tarefa 1 e 94% em ambas as Tarefas 2 e 3. Este resultado confirma a importância da consistência de layout na execução correta das tarefas quando comparada com a abordagem Linear: 100% na Tarefa 1, 33% na Tarefa 2 e 84% na Tarefa 3.

5. Qual das três abordagens provoca menos alterações no modelo mental do usuário quanto aos atributos de usabilidade, tais como facilidade, eficiência e segurança de uso?

Mais uma vez, a expectativa prévia do experimento foi confirmada, sendo a abordagem *Overview* a única capaz de manter mediana quatro em todas⁴ as avaliações na escala de Likert com sete pontos para os atributos de facilidade, eficiência e segurança de uso. Em quase todas essas avaliações, as demais abordagens apresentaram diferenças significativas entre suas medianas e as da *Overview*.

⁴Na avaliação da facilidade de uso para a Tarefa 2, a abordagem *Overview* obteve mediana 4,5. Ainda assim, sua proximidade da versão *desktop* do TelEduc foi bem maior do que as demais, ambas com mediana dois.

Capítulo 6

Conclusão

A metodologia de design multi-dispositivo proposta nesta tese obteve suporte tanto de conceitos antigos da Filosofia e Psicologia sobre lógica de raciocínio indutivo, leis do Conexismo, teorias de aprendizagem Cognitivista e construção de modelos mentais, quanto de resultados mais recentes da Neurociência para avaliação de atenção e da Interação Humano-Computador na busca por métodos apropriados de design. Estas bases teóricas reforçam a hipótese de que as interfaces de uma mesma aplicação devem preservar as mesmas características perceptivas e adotar um comportamento consistente no qual uma mesma tarefa possa ser concluída seguindo um mesmo fluxo de ações, independente das diferentes modalidades de tipos de interação envolvidas.

O experimento conduzido nesta tese para o domínio de Educação a Distância contribuiu com as seguintes conclusões quanto ao design multi-dispositivo em contextos de migração de tarefas:

- As Prioridades de Consistência (2 primeiros níveis) preservam melhor o modelo mental do usuário do que abordagens com consistência literal de layout (Migração Direta) ou com maior foco de design nas características dos dispositivos (Linear): Esta confirmação foi verificada através de uma avaliação subjetiva da interface de *pocket PC* construída usando a metodologia proposta nesta tese, a qual revelou uma similaridade significativa com a versão *desktop* para os atributos de facilidade, eficiência e segurança na execução de um conjunto de tarefas de interesse do usuário. Este resultado apresentou diferenças significativas em relação aos obtidos com as abordagens de Migração Direta e transformação Linear, o que confirma a incapacidade destas em atender a expectativa do usuário;
- As Prioridades de Consistência (2 primeiros níveis) atingem eficácia e eficiência similares às obtidas com a Linear na tarefa otimizada para esta abordagem: Mesmo tendo a abordagem Linear otimizado uma tarefa no *pocket PC* para garantir melhor eficiência

exigindo do usuário a execução de um fluxo menor de ações simples, a abordagem desta tese manteve eficácia e eficiência similares com um fluxo maior de ações complexas por serem consistentes com o modelo mental do usuário. Este fato revela a importância da expectativa prévia em contextos de migração de tarefas;

- As Prioridades de Consistência (2 primeiros níveis) melhoram eficácia e eficiência da abordagem Linear nas tarefas que não foram otimizadas para ela: A eficácia obtida com a interface proposta chegou a ser quase três vezes maior que a da abordagem Linear e a eficiência aumentou mais que o dobro.

Embora não tenha sido tão eficaz e eficiente quanto a interface proposta por esta tese, a abordagem Linear obteve maior preferência dos participantes do experimento devido à sua personalização da tarefa de maior interesse do usuário. Esta aparente contradição pode ser explicada pelo fato de que o experimento foi realizado em um contexto de migração de tarefas, mas as respostas do questionário demográfico e os comentários da avaliação de satisfação deixaram claro que a amostra não estava interessada nesse contexto de uso. Logo, mesmo tendo os dois primeiros níveis das prioridades de consistência garantido melhor usabilidade e preservação do modelo mental dos usuários, a personalização da abordagem Linear teve grande aceitação porque a maioria dos participantes do experimento preferia acessar a aplicação usando um único dispositivo. Este resultado está de acordo com a suposição inicial de que não existe uma abordagem de design multi-dispositivo capaz de garantir boa usabilidade em todos os contextos porque o usuário pode escolher apenas uma forma de acesso à aplicação ou alternar seu uso por meio de vários dispositivos. Portanto, *é necessário combinar abordagens com objetivos diferentes para atender o usuário de acordo com o seu contexto de uso*. Em outras palavras, *a eficácia gerada pelos dois primeiros níveis da hierarquia de prioridades quanto à percepção e execução das tarefas deve ser combinada com o terceiro nível de personalização visando maior satisfação e/ou eficiência*. Essa combinação pode ser implementada com um papel ativo do usuário que se torna responsável pela especificação de seu contexto de uso para interação com o padrão de interface adequado.

Os resultados e implicações da proposta desta tese ainda deixam várias questões em aberto, as quais devem ser investigadas como continuação desta linha de pesquisa. Algumas delas são apresentadas e discutidas a seguir:

- Os resultados do experimento são extensíveis para outros domínios de aplicação?

Por um lado, espera-se que aplicações de risco devam intensificar a superioridade da abordagem *Overview* por prioridades de consistência (dois primeiros níveis) devido à sua melhor eficácia na execução correta das tarefas. Por outro lado, aplicações com utilidade limitada a um conjunto reduzido de tarefas e que primam pela eficiência

de uso sem preocupação quanto à eficácia exata dos resultados, devem destacar a importância da personalização na abordagem Linear. Em ambos os casos, espera-se verificar a necessidade de combinação de abordagens com objetivos diferentes para atender o usuário de acordo com o seu contexto de uso.

- Os resultados do experimento são extensíveis para outras amostras de indivíduos?

A opção por um experimento com indivíduos peritos em computação pode ter influenciado os resultados obtidos, principalmente na avaliação de satisfação subjetiva que revelou a preferência pela personalização de tarefas (algo incomum para usuários novatos). É interessante notar que, mesmo com uma amostra tão experiente no uso das tecnologias envolvidas, a consistência na percepção e execução das tarefas apresentou melhores resultados, indicando a superioridade da abordagem desta tese sobre a abordagem Linear (*ex.*: na tarefa 2, os usuários não conseguiram identificar com boa eficácia a necessidade de alteração dos alunos na caixa de seleção da interface Linear por não estar de acordo com a sua expectativa). Logo, espera-se que um experimento com indivíduos menos iniciados em computação destaque ainda mais a importância dos dois primeiros níveis de consistência além de reduzir o interesse pela personalização das tarefas (terceiro nível).

- Os resultados obtidos com o experimento são extensíveis para contextos em que os usuários adotam um único dispositivo de acesso?

Se os usuário aprenderem primeiro a usar a aplicação em uma interface x para só depois abandoná-la e optarem por uma interface y , espera-se que o período de transição entre elas revele resultados similares aos encontrados no experimento. Por outro lado, se os usuários nunca tiverem de realizar tarefas em outras interfaces da aplicação que não aquela de seu conhecimento, a proposta de prioridades de consistência não deve apresentar resultados tão bons quanto a abordagem Linear. Resta saber qual a probabilidade dos usuários nunca precisarem de acessar mais do que uma das interfaces de uma mesma aplicação.

- Uma vez propostas as interfaces adaptadas para ambos os contextos de uso (migração de tarefas e acesso por único dispositivo) como elas podem ser obtidas automaticamente a partir da interface de referência?

Para o contexto de uso alternado e migração de tarefas, foi construído um protótipo capaz de adaptar automaticamente a interface do TelEduc de acordo com as decisões tomadas para os dois primeiros níveis da hierarquia de prioridades. O processo de adaptação realizado pelo protótipo é similar ao descrito por Lam & Baudisch (2005) na implementação do Thumbnail Resumido, salvas as alterações na sumarização de textos, visão detalhada e o fato de ser executado em um navegador¹ de *pocket PC*

ao invés de um simulador *desktop*. Já a interface de acesso exclusivo, resultante da aplicação das três prioridades de consistência, não foi implementada de maneira automática. Embora esta prática seja viável, o tipo de personalização pode tornar as adaptações muito específicas e sensíveis a pequenas alterações na versão *desktop*. Espera-se que o estudo de métodos adequados para automatização desse processo se torne uma linha de pesquisa relevante.

- Como automatizar o processo de design na preservação da hierarquia de prioridades de consistência?

O desenvolvimento de ferramentas para modelagem de tarefas e seus fluxos de ações integrados à análise de restrições dos dispositivos alvo será de grande interesse a ambos designer e desenvolvedor. Mais do que isso, a identificação automática de inconsistências baseadas em heurísticas de análise da interface, bem como a apresentação de soluções usando os princípios de design afetados podem ditar uma nova tendência dos futuros ambientes de desenvolvimento de aplicações multi-dispositivos.

Os argumentos e conclusões apresentados neste trabalho devem ser úteis como suporte ao design multi-dispositivo centrado no usuário e suas expectativas. Desta forma, não apenas os contextos de uso alternado e migração de tarefas poderão ser abordados de maneira mais adequada, mas também o de acesso por único dispositivo, no qual o usuário recebe um papel ativo na escolha e/ou personalização de sua interface.

¹O navegador deve ser compatível com recursos de CSS, DHTML e Javascript.

Referências Bibliográficas

- ALI, M. F. Navigation consistency, or the lack thereof, in cross-platform user interfaces. In: *CHI'06: Workshop on The Many Faces of Consistency in Cross-Platform Design*. Montréal, Canada: ACM, 2006.
- ANDERSON, J. R. *Language, Memory and Thought*. Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1976.
- ANDRADE, A. R. de; MUNSON, E. V.; PIMENTEL, M. da G. C. Engineering web applications with xml and xslt. In: *LA-WEBMEDIA'04: Proceedings of the WebMedia & LA-Web 2004 Joint Conference 10th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web 2nd Latin American Web Congress*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004. p. 86–93. ISBN 0-7695-2237-8.
- ATKINSON, R. C.; SHIFFRIN, R. M. Human memory: A proposed system and its control processes. In: SPENCE, K. W.; SPENCE, J. T. (Ed.). *The psychology of learning and motivation*. London: Academic Press, 1968. v. 8.
- BADDELEY, A. D. The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Science*, v. 4, p. 417–423, 2000.
- BADDELEY, A. D.; HITCH, G. J. Working memory. In: BOWER, G. H. (Ed.). *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. New York: Academic Press, 1974. v. 8, p. 47–89.
- BANAVAR, G. et al. Challenges: an application model for pervasive computing. In: *MobiCom'00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*. Boston, MA, United States: ACM, 2000. p. 266–274. ISBN 1-58113-197-6.
- BANAVAR, G. et al. Tooling and system support for authoring multi-device applications. *Journal of Systems and Software*, v. 69, n. 3, p. 227–242, 2004.

- BANDELLONI, R.; BERTI, S.; PATERNÒ, F. Mixed-initiative, trans-modal interface migration. In: *MobileHCI'04: Proceedings of the 6th international conference on human-computer interaction with mobile devices and services*. Glasgow, Scotland: Springer, 2004. p. 216–227.
- BANDURA, A. *Social Learning Theory*. New York: General Learning Press, 1977.
- BANERJEE, S.; GUPTA, A.; BASU, A. Online transcoding of web pages for mobile devices. In: *MobileHCI'03: Proceedings of the 5th international conference on human-computer interaction with mobile devices and services*. Udine, Italy: Springer, 2003. p. 271–285.
- BAUDISCH, P.; LEE, B.; HANNA, L. Fishnet, a fisheye web browser with search term popouts: a comparative evaluation with overview and linear view. In: *AVI'04: Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*. Gallipoli, Italy: ACM, 2004a. p. 133–140. ISBN 1-58113-867-9.
- BAUDISCH, P. et al. Collapse-to-zoom: viewing web pages on small screen devices by interactively removing irrelevant content. In: *UIST'04: Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*. Santa Fe, NM, USA: ACM, 2004b. p. 91–94. ISBN 1-58113-957-8.
- BELLOTTI, F. et al. Supporting efficient design of mobile hci. In: *MobileHCI'03: Proceedings of the 5th international conference on human-computer interaction with mobile devices and services*. Udine, Italy: Springer, 2003. p. 241–255.
- BELLOTTI, F. et al. User testing a hypermedia tour guide. *IEEE Pervasive Computing*, v. 3, n. 6, 2002.
- BELLOTTI, F. et al. Vegame: Exploring art and history in venice. *IEEE Computer*, v. 36, n. 9, p. 48–55, 2003.
- BELLOTTI, F.; FERRETTI, E.; GLORIA, A. D. Discovering the european heritage through the chikho educational web game. In: *INTETAIN'05: Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Technologies for Interactive Entertainment*. Madonna di Campiglio, Italy: ACM, 2005. p. 13–22.
- BELLOTTI, V. Implications of current design practice for the use of hci techniques. In: *Proceedings of the 4th Conference of the British Computer Society on People and computers*. Univ. of Manchester, United Kingdom: Cambridge University Press, 1988. p. 13–34. ISBN 0-521-36553-8.

- BERGMAN, L. D. et al. Combining handcrafting and automatic generation of user-interfaces for pervasive devices. In: *CADUI'02: Proceedings of the 4th International Conference on Computer-Aided Design of User Interfaces*. Valenciennes, France: Kluwer, 2002.
- BERTI, S. et al. Teresa: a transformation-based environment for designing and developing multi-device interfaces. In: *CHI Extended Abstracts*. Vienna, Austria: ACM, 2004. p. 793–794.
- BERTI, S.; PATERNÒ, F. Migratory multimodal interfaces in multidevice environments. In: *ICMI'05: Proceedings of the 7th international conference on multimodal interfaces*. Torento, Italy: ACM, 2005. p. 92–99. ISBN 1-59593-028-0.
- BOKER, J. Immediate and delayed retention effects of interspersing questions in written instructional passages. *Journal of Educational Psychology*, v. 66, p. 96–98, 1974.
- BOTHEREL, V.; KARSENTY, L. How inconsistencies between speech and graphical user interfaces may be detrimental... or desirable. In: *SPECOM'05: 10th Conference on Speech and Computers*. Patras, Greece: Springer, 2005. p. 17–19.
- BOUILLON, L.; VONDERDONCKT, J.; SOUCHON, N. Recovering alternative presentation models of a web page with vaquita. In: *CADUI'02: Proceedings of the 4th International Conference on Computer-Aided Design of User Interfaces*. Valenciennes, France: Kluwer, 2002. p. 311–322.
- BOUSFIELD, W. A. The occurrence of clustering in the recall of randomly arranged associates. *Journal of General Psychology*, v. 49, p. 229–240, 1953.
- BOWER, G. H. et al. Hierarchical retrieval schemes in recall of categorized word lists. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, v. 8, p. 323–343, 1969.
- BRANSFORD, J. D.; JOHNSON, M. K. Contextual prerequisites for understanding: some investigations of comprehension and recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, v. 4, n. 2, p. 717–726, 1972.
- BRUGGER, P.; BRUGGER, S. The easter bunny in october: Is it disguised as a duck? *Perceptual & Motor Skills*, v. 76, p. 577–578, 1993.
- BRUNER, J. *Going Beyond the Information Given*. New York: Norton, 1973.
- BUYUKKOKTEN, O. et al. Power browser: efficient web browsing for pdas. In: *CHI'00: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. The Hague, The Netherlands: ACM, 2000. p. 430–437. ISBN 1-58113-216-6.

- CANFORA, G.; SANTO, G. D.; ZIMEO, E. Developing java-awt thin-client applications for limited devices. *IEEE Internet Computing*, IEEE Educational Activities Department, Piscataway, NJ, USA, v. 9, n. 5, p. 55–63, 2005. ISSN 1089-7801.
- CARLING, A. *Introducing neural networks*. Wilmslow, UK: Sigma, 1992. ISBN 1-85058-174-6.
- CARROLL, J. M.; MACK, R. L. Metaphor, computer systems, and active learning. *International Journal of Man-Machine Studies*, v. 22, p. 39–57, 1985.
- CHOMSKY, N. A review of b. f. skinner's verbal behavior. *Language*, v. 35, n. 1, p. 26–58, 1959.
- CLERCKX, T.; LUYTEN, K.; CONINX, K. Dynamo-aid: A design process and a runtime architecture for dynamic model-based user interface development. In: *EHCI/DS-VIS*. Hamburg, Germany: Springer, 2004a. p. 77–95.
- CLERCKX, T.; LUYTEN, K.; CONINX, K. The mapping problem back and forth: customizing dynamic models while preserving consistency. In: *TAMODIA*. Prague, Czech Republic: ACM, 2004b. p. 33–42.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. *Experimental designs*. 2nd. ed. Canada: Wiley & Sons, 1992. 611p. ISBN 978-0-471-54567-5.
- CONINX, K. et al. Dygimes: Dynamically generating interfaces for mobile computing devices and embedded systems. In: *MobileHCI'03: Proceedings of the 5th international conference on human-computer interaction with mobile devices and services*. Udine, Italy: Springer, 2003. p. 256–270.
- CRAIK, F. I. M.; LOCKHART, R. S. Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal learning and Verbal Behavior*, v. 11, p. 671–684, 1972.
- CRAIK, F. I. M.; TULVING, E. Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology*, v. 104, p. 268–294, 1975.
- CRAIK, K. *The Nature of Exploration*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1943.
- DENIS, C.; KARSENTY, L. Inter-usability of multi-device systems - a conceptual framework. In: SEFFAH, A.; JAVAHERY, H. (Ed.). *Multiple User Interfaces: Cross-platform applications and context-aware interfaces*. West Sussex, UK: Wiley & Sons, 2004. p. 374–385.

- DIEBERGER, A.; RUSSELL, D. M. Exploratory navigation in large multimedia documents using context lenses. In: *HICSS'02: Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. Big Island, Hawaii, USA: IEEE, 2002. p. 911–917.
- DISESSA, A. Models of computation. In: NORMAN, D. A.; DRAPER, S. W. (Ed.). *User-centered system design: new perspectives in human-computer interaction*. Hillsdale, NJ, USA: LEA, 1986.
- DITTMAR, A.; FORBRIG, P. Task-action consistency in multi-device systems. In: *CHI'06: Workshop on The Many Faces of Consistency in Cross-Platform Design*. Montréal, Canada: ACM, 2006.
- DÖMEL, P. Webmap: A graphical hypertext navigation tool. *Computer Networks and ISDN Systems*, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, Netherlands, v. 28, n. 1&2, p. 85–97, 1995. ISSN 0169-7552.
- DREYFUS, H. L. *What Computers Can't Do: A Critique of Artificial Reason*. New York: Harper and Row, 1972.
- EISENSTEIN, J.; VANDERDONCKT, J.; PUERTA, A. R. Adapting to mobile contexts with user-interface modeling. In: *WMCSA'03: Proceedings of the 3rd IEEE workshop on mobile computing systems and applications*. Monterey, CA, USA: IEEE Computer Society, 2000. p. 83–92.
- ERICKSON, T. D. Working with interface metaphors. In: LAUREL, B. (Ed.). *The art of human-computer interface design*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 1990. p. 65–73.
- FEIGENBAUM, E. A.; SIMON, H. A. Epam-like models of recognition and learning. *Cognitive Science*, v. 8, p. 305–336, 1984.
- FIALA, Z.; HINZ, M.; MEISSNER, K. Developing component-based adaptive web applications with the amacontbuilder. In: *WSE'2005: 7th IEEE International Symposium on Web Site Evolution*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2005. p. 39–45. ISSN 1550-4441.
- FISHER, G. H. Mother, father, and daughter: a three-aspect ambiguous figure. *The American Journal of Psychology*, v. 81, n. 2, p. 274–277, 1968.
- FLORINS, M.; TREVISAN, D. G.; VANDERDONCKT, J. The continuity property in mixed reality and multiplatform systems: a comparative study. In: *CADUI'04:*

- Proceedings of the International Conference on Computer-Aided Design of User Interfaces*. Funchal, Madeira, Portugal: ACM, 2004. p. 323–334.
- FURNAS, G. W. Generalized fisheye views. In: *CHI'86: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. Boston, MA, United States: ACM, 1986. p. 16–23. ISBN 0-89791-180-6.
- FURNAS, G. W. et al. Information retrieval using a singular value decomposition model of latent semantic structure. In: *SIGIR'88: Proceedings of the 11th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*. Grenoble, France: ACM, 1988. p. 465–480. ISBN 2-7061-0309-4.
- GAEREMYNCK, Y.; BERGMAN, L. D.; LAU, T. More for less: model recovery from visual interfaces for multi-device application design. In: *IUI'03: Proceedings of the 8th international conference on Intelligent user interfaces*. Miami, FL, USA: ACM, 2003. p. 69–76. ISBN 1-58113-586-6.
- GAGNÉ, R. M. *The Conditions of Learning*. 4th. ed. New York: Holt, 1985.
- GAJOS, K.; WELD, D. S. Supple: automatically generating user interfaces. In: *IUI'04: Proceedings of the 9th international conference on Intelligent user interfaces*. Funchal, Madeira, Portugal: ACM, 2004. p. 93–100. ISBN 1-58113-815-6.
- GARDNER, H. *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. New York: Basic, 1983.
- GENTNER, S.; STEVENS, A. L. (Ed.). *Mental Models*. Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- GIBSON, J. J. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1979.
- GRANT, A. S. *Modelling Cognitive Aspects of Complex Control Tasks*. Tese (Doutorado) — Department of Computer Science, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, 1990.
- GREEN, T. R. G. Limited theories as framework for human-computer interaction. In: *Selected papers of the 6th Informatics and Psychology Workshop*. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland, 1987. p. 3–39.
- GRUDIN, J. The case against user interface consistency. *Commun. ACM*, ACM, New York, NY, USA, v. 32, n. 10, p. 1164–1173, 1989. ISSN 0001-0782.

- HAJDUKIEWICZ, J. Interaction momentum - industrial application design and consistency across platforms. In: *CHI'06: Workshop on The Many Faces of Consistency in Cross-Platform Design*. Montréal, Canada: ACM, 2006.
- HANUS, M. Logic programs with equational type specifications. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Algebraic and Logic Programming*. Nancy, France: Springer LNCS 463, 1990. p. 70–85. Extended version in *Types in Logic Programming*, MIT Press, 1992.
- HAREL, D. Statecharts: A visual formalism for complex systems. *Sci. Comput. Program.*, Elsevier North-Holland, Inc., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 8, n. 3, p. 231–274, 1987. ISSN 0167-6423.
- HARTLEY, J. *Learning and Studying. A research perspective*. London: Routledge, 1998.
- HAWKINS, J. *On intelligence*. New York, USA: Times Books, 2004. 272 p. ISBN 0-8050-7456-2.
- HECKER, U. V. Disambiguating a mental model: influence of social context. *The Psychological Record*, v. 54, n. 1, p. 27, 2004.
- HENDERSON, D. A.; CARD, S. Rooms: the use of multiple virtual workspaces to reduce space contention in a window-based graphical user interface. *ACM Trans. Graph.*, ACM, New York, NY, USA, v. 5, n. 3, p. 211–243, 1986. ISSN 0730-0301.
- HINZ, M.; FIALA, Z.; WEHNER, F. Personalization-based optimization of web interfaces for mobile devices. In: *MobileHCI'04: Proceedings of the 6th international conference on human-computer interaction with mobile devices and services*. Glasgow, Scotland: Springer, 2004. p. 204–215.
- HODES, T. D. et al. Composable ad-hoc mobile services for universal interaction. In: *MobiCom'97: Proceedings of the 3rd annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*. Budapest, Hungary: ACM, 1997. p. 1–12. ISBN 0-89791-988-2.
- HOFSTEN, C. von; LEE, D. N. Dialogue on perception and action. *Human Movement Science*, v. 1, p. 125–138, 1982.
- JAMES, W. *The Principles of Psychology*. New York: Henry Holt, 1890.
- JASTROW, J. The mind's eye. *Popular Science Monthly*, v. 54, p. 299–312, 1899.

- JOHNSON, J.; HENDERSON, A. Conceptual models: begin by designing what to design. *Interactions*, v. 9, n. 1, p. 25–32, 2002.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. *Mental Models*. Cambridge, MA, USA: Cambridge University Press, 1983.
- JOHNSON-LAIRD, P. N.; BYRNE, R. Mental models website. Available at: [http :
//www.tcd.ie/Psychology/Ruth_Byrne/mental_models/theory.html](http://www.tcd.ie/Psychology/Ruth_Byrne/mental_models/theory.html). Checked on October 2007. 2000.
- JONASSEN, D. H.; HENNING, P. Mental models: knowledge in the head and knowledge in the world. In: *ICLS'96: Proceedings of the 1996 international conference on Learning sciences*. Evanston, Illinois: International Society of the Learning Sciences, 1996. p. 433–438. ISBN 1-880094-23-1.
- JONES, K. L. nif-t-nav: a hierarchical navigator for www pages. In: *Proceedings of the 5th International World Wide Web conference on Computer Networks and ISDN Systems*. Paris, France: Elsevier Science Publishers B. V., 1996. p. 1345–1353.
- JONES, M.; BUCHANAN, G.; MOHD-NASIR, N. An evaluation of webtwig - a site outliner for handheld web access. In: *HUC'99: Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*. Karlsruhe, Germany: Springer-Verlag, 1999a. p. 343–345. ISBN 3-540-66550-1.
- JONES, M. et al. A site-based outliner for small screen web access. In: *Proceedings of W8 conference*. Toronto, USA: Elsevier Science Publishers Ltd., 1999b.
- KAHN, K.; SARASWAT, V. A. Actors as a special case of concurrent constraint (logic) programming. *SIGPLAN Not.*, ACM, New York, NY, USA, v. 25, n. 10, p. 57–66, 1990. ISSN 0362-1340.
- KAMBA, T. et al. Using small screen space more efficiently. In: *CHI'96: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. Vancouver, British Columbia, Canada: ACM, 1996. p. 383–390. ISBN 0-89791-777-4.
- KAPTELININ, V.; CZERWINSKI, M. Introduction: the desktop metaphor and new uses of technology. In: KAPTELININ, V.; CZERWINSKI, M. (Ed.). *Beyond the desktop metaphor*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2007. p. 1–12.
- KELLOGG, W. A. *The dimensions of consistency*. San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, Inc., 1989. 9–20 p. ISBN 0-12-518400-X.

- KLUG, T.; KANGASHARJU, J. Executable task models. In: *TAMODIA'05: Proceedings of the 4th international workshop on Task models and diagrams*. Gdansk, Poland: ACM, 2005. p. 119–122. ISBN 1-59593-220-8.
- KOWALSKI, R. A. *Logic for Problem Solving*. Amsterdam: Elsevier North-Holland, 1979.
- LAM, H.; BAUDISCH, P. Summary thumbnails: readable overviews for small screen web browsers. In: *CHI'05: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. Portland, Oregon, USA: ACM, 2005. p. 681–690. ISBN 1-58113-998-5.
- LANSDALE, M. The psychology of personal information management. *Applied Ergonomics*, v. 19, n. 1, p. 55–66, March 1988.
- LIDDLE, D. Design of the conceptual model. In: WINOGRAD, T. (Ed.). *Bringing design to software*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1996. p. 17–31.
- LIN, J. *Using Design Patterns and Layers to Support the Early-Stage Design and Prototyping of Cross-Device User Interfaces*. Tese (Doutorado) — University of California, Berkeley, 2005.
- LIN, J.; LANDAY, J. A. Damask: A tool for early-stage design and prototyping of multi-device user interfaces. In: *DMS'02: Proceedings of the 8th International Conference on Distributed Multimedia Systems (Workshop on Visual Computing)*. San Francisco, CA, USA: [s.n.], 2002. p. 573–580.
- LINDGAARD, G. Should systems designers need to bother with the notion of mental models? In: *IEA'88: Proceedings of the 10th International Ergonomics Association Congress*. Sydney, Australia: Taylor & Francis, 1988. v. 2, p. 630–632.
- LUYTEN, K. et al. Derivation of a dialog model from a task model by activity chain extraction. In: *DSV-IS'03: Proceedings of the 10th International Workshop on Interactive Systems: Design, Specification, and Verification*. Funchal, Madeira Island, Portugal: Springer, 2003. p. 83–97.
- MACEDO, A. A.; PIMENTEL, M. da G. C.; GUERRERO, J. A. C. Latent semantic linking over homogeneous repositories. In: *DocEng'01: Proceedings of the 2001 ACM Symposium on Document engineering*. Atlanta, Georgia, USA: ACM, 2001. p. 144–151. ISBN 1-58113-432-0.
- MACKAY, B. The gateway: a navigation technique for migrating to small screens. In: *CHI'03: Extended abstracts on human factors in computing systems*. Ft. Lauderdale, FL, USA: ACM, 2003. p. 684–685. ISBN 1-58113-637-4.

- MACKAY, B.; WATTERS, C. R. The impact of migration of data to small screens on navigation. *IT&Society*, v. 1, n. 3, p. 90–101, 2003.
- MACKAY, B.; WATTERS, C. R.; DUFFY, J. Web page transformation when switching devices. In: *MobileHCI'04: Proceedings of the 6th international conference on human-computer interaction with mobile devices and services*. Glasgow, Scotland: Springer, 2004. p. 228–239.
- MALLOCH, J. et al. Towards a new conceptual framework for digital musical instruments. In: *Proceedings of the 9th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-06)*. Montréal, Canada: McGill University, 2006.
- MALONE, T. W. How do people organize their desks?: Implications for the design of office information systems. *ACM Trans. Inf. Syst.*, ACM, New York, NY, USA, v. 1, n. 1, p. 99–112, 1983. ISSN 1046-8188.
- MANDLER, G. Organization and memory. In: SPENCE, K. W.; SPENCE, J. T. (Ed.). *The psychology of learning and motivation*. New York: Academic Press, 1967. v. 1, p. 327–372.
- MANKTELOW, K.; JONES, J. Principles from the psychology of thinking and mental models. Wiley & Sons, New York, NY, USA, p. 83–117, 1987.
- MERRIAM, S.; CAFFARELLA. *Learning in Adulthood. A comprehensive guide*. San Francisco: Jossey-Bass., 1991. 528 pages.
- MILIC-FRAYLING, N.; SOMMERER, R. *SmartView: Enhanced Document Viewer for Mobile Devices*. Cambridge, UK, November 2002a.
- MILIC-FRAYLING, N.; SOMMERER, R. Smartview: Flexible viewing of web page contents. In: *Proceedings of the 11th World Wide Web Conference (Poster)*. Hawaii, USA: [s.n.], 2002b.
- MILLER, G. A. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, v. 63, p. 81–97, 1956.
- MOLINA, P. J.; BELENGUER, J.; PASTOR, O. Describing just-ui concepts using a task notation. In: *DSV-IS'03: Proceedings of the 10th International Workshop on Interactive Systems: Design, Specification, and Verification*. Funchal, Madeira Island, Portugal: Springer, 2003. p. 218–230.

- MORI, G.; PATERNÒ, F.; SANTORO, C. Tool support for designing nomadic applications. In: *IUI'03: Proceedings of the 8th international conference on Intelligent user interfaces*. Miami, FL, USA: ACM, 2003. p. 141–148. ISBN 1-58113-586-6.
- NATION, D. A. et al. Visualizing web sites using a hierarchical table of contents browser: Webtoc. In: *HFWeb'97: Proceedings of the 3rd Conference on Human Factors and the Web*. Denver, USA: [s.n.], 1997.
- NEISSER, U. *Cognitive Psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts., 1967.
- NELSON, T. The right way to think about software design. In: LAUREL, B. (Ed.). *The art of human-computer design*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1990.
- NEWCOMB, E.; PASHLEY, T.; STASKO, J. T. Mobile computing in the retail arena. In: *CHI'03: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. Fort Lauderdale, FL, USA: ACM, 2003. p. 337–344.
- NICHOLS, J. *Automatically Generating High-Quality User Interfaces for Appliances*. Tese (Doutorado) — Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, December 2006.
- NICHOLS, J.; CHAU, D. H.; MYERS, B. A. Demonstrating the viability of automatically generated user interfaces. In: *CHI'07: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. San Jose, California, USA: ACM, 2007. p. 1283–1292. ISBN 978-1-59593-593-9.
- NICHOLS, J. et al. Generating remote control interfaces for complex appliances. In: *UIST'02: Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology*. Paris, France: ACM, 2002. p. 161–170. ISBN 1-58113-488-6.
- NICHOLS, J.; MYERS, B. A.; ROTHROCK, B. Uniform: automatically generating consistent remote control user interfaces. In: *CHI'06: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*. Montréal, Canada: ACM, 2006a. p. 611–620. ISBN 1-59593-372-7.
- NICHOLS, J.; RICHTER, K.; GAJOS, K. The many faces of consistency in cross-platform design: A whitepaper. In: *CHI'06: Workshop on the many faces of consistency in cross-platform design*. Montréal, Canada: ACM, 2006b. p. 9–18.
- NIELSEN, J. *Coordinating User Interfaces for Consistency*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1989.

- NIELSEN, J. A meta-model for interacting with computers. *Interacting with Computers*, v. 2, p. 147–160, 1990.
- NIELSEN, J.; MOLICH, R. Heuristic evaluation of user interfaces. In: *CHI'90: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. Seattle, Washington, United States: ACM, 1990. p. 249–256. ISBN 0-201-50932-6.
- NORMAN, D. A. Some observations on mental models. In: GENTNER, D. A.; STEVENS, A. A. (Ed.). *Mental models*. Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- NORMAN, D. A. User centered system design: New perspectives on human-computer interaction. In: NORMAN, D. A.; DRAPER, S. W. (Ed.). *Cognitive Engineering*. Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1986. p. 31–61.
- NORMAN, D. A. *The psychology of everyday things*. New York: Basic Books, 1988.
- NORMAN, D. A. *Things That Make Us Smart: Defending Human Attributes in the Age of the Machine*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 1993. ISBN 0-2016-2695-0.
- OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Towards an approach for multi-device interface design. In: *WebMedia'05: Proceedings of the 11th Brazilian Symposium on Multimedia and the web*. Poços de Caldas, Brazil: ACM, 2005. p. 1–3.
- OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Mobile access to web systems using a multi-device interface design approach. In: *PSC'06: Proceeding of the International Conference of Pervasive Systems & Computing*. Las Vegas, USA: CSREA, 2006. p. 37–46.
- OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. *Conceptual Multi-Device Design: Improving Theoretical Foundations*. Campinas, SP, Brazil, February 2007a. 14 p.
- OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Conceptual multi-device design on the transition between e-learning and m-learning. In: *ICALT'07: Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. Niigata, Japan: IEEE, 2007b. p. 332–334.
- OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Consistency on multi-device design. In: *INTERACT'07: Proceedings of the 11th IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*. Rio de Janeiro, Brazil: Springer, 2007c. v. 2, p. 617–623.
- OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Consistency priorities for multi-device design. In: *INTERACT'07: Proceedings of the 11th IFIP TC13 International Conference*

- on Human-Computer Interaction*. Rio de Janeiro, Brazil: Springer, 2007d. v. 1, p. 426–429.
- OLIVEIRA, R. de; ROCHA, H. V. da. Multi-device design in contexts of interchange and task migration. In: — (Ed.). *Advances in Human-Computer Interaction*. Vienna, Austria, EU: I-Tech Education and Publishing, 2008. ISBN 978-3-902613-38-7. (to appear).
- PAGANELLI, L.; PATERNÒ, F. Automatic reconstruction of the underlying interaction design of web applications. In: *SEKE'02: Proceedings of the 14th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering*. Ischia, Italy: ACM, 2002. p. 439–445. ISBN 1-58113-556-4.
- PAQUETTE, D.; SCHNEIDER, K. A. Task model simulation using interaction templates. In: *DSV-IS'05: Proceedings of the 12th International Workshop on Design, Specification and Verification of Interactive Systems*. Newcastle upon Tyne, England: Springer, 2005. p. 78–89.
- PATERNÒ, F.; MANCINI, C.; MENICONI, S. Concurtasktrees: A diagrammatic notation for specifying task models. In: *INTERACT'97: Proceedings of the IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*. Sydney, Australia: Chapman & Hall, 1997. p. 362–369.
- PAYNE, S. J.; SQUIBB, H. R.; HOWES, A. The nature of device models: the yoked state space hypothesis and some experiments with text editors. *Human-Computer Interaction*, v. 5, n. 4, p. 415–444, 1990.
- PETRI, C. A. *Kommunikation mit Automaten*. Tese (Doutorado) — University of Bonn, 1962.
- PIAGET, J. *The Child's Conception of the World*. New York: Harcourt, 1929.
- PLANTINGA, E. Mental models and metaphor. In: *Proceedings of the 1987 workshop on Theoretical issues in natural language processing*. Las Cruces, New Mexico: Association for Computational Linguistics, 1987. p. 185–193.
- PLUDE, D. J.; BRODEUR, J. T. E. D. The development of selective attention: A life-span overview. *Acta Psychologica*, v. 86, p. 227–272, 1994.
- POLSON, P. G.; MUNCHER, E.; ENGELBECK, G. A test of a common elements theory of transfer. In: *CHI'86: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. Boston, MA, United States: ACM, 1986. p. 78–83. ISBN 0-89791-180-6.

- PONNEKANTI, S. et al. Icraft: A service framework for ubiquitous computing environments. In: *Ubicomp*. Atlanta, Georgia, USA: Springer, 2001. p. 56–75.
- PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. *Interaction Design: Beyond Human Computer Interaction*. 1st. ed. New York, USA: Wiley & Sons, 2002.
- PUERTA, A.; EISENSTEIN, J. Ximl: a common representation for interaction data. In: *IUI'02: Proceedings of the 7th international conference on Intelligent user interfaces*. San Francisco, California, USA: ACM, 2002. p. 214–215. ISBN 1-58113-459-2.
- PUERTA, A. R. The mecano project: Comprehensive and integrated support for model-based interface development. In: *CADUI'96: Proceedings of the 2nd international workshop on computer-aided design of user interfaces*. Namur, Belgium: Presses Universitaires de Namur, 1996. p. 19–36.
- PYLA, P. S.; TUNGARE, M.; PÉREZ-QUIÑONES, M. A. Multiple user interfaces: Why consistency is not everything, and seamless task migration is key. In: *CHI'06: Workshop on The Many Faces of Consistency in Cross-Platform Design*. Montréal, Canada: ACM, 2006.
- RASMUSSEN, J. Mental models and the control of action in complex environments. In: *Selected papers of the 6th Informatics and Psychology Workshop*. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland, 1987. p. 41–69.
- REASON, J. *Human Error*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990.
- REDDY, M. J. The conduit metaphor: A case of frame conflict in our language about language. *Metaphor and thought*, p. 284–324, 1979.
- REISNER, P. Apt: A description of user interface inconsistency. *International Journal of Man-Machine Studies*, v. 39, n. 2, p. 215–236, 1993.
- REITER, R. A semantically guided deductive system for automatic theorem-proving. In: *IJCAI'73: 3rd International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Stanford, CA, USA: William Kaufmann, 1973. p. 41–46.
- RICHTER, K. A transformational approach to multi-device interfaces. In: *CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems*. Portland, OR, USA: ACM, 2005. p. 1126–1127. ISBN 1-59593-002-7.
- RICHTER, K. et al. The many faces of consistency in cross-platform design. In: *CHI'06 extended abstracts on Human factors in computing systems*. Montréal, Canada: ACM, 2006. p. 1639–1642. ISBN 1-59593-298-4.

- RINGELBAND, O. J.; MISIAK, C.; KLUWE, R. H. Mental models and strategies in the control of a complex system. In: *Selected papers of the 6th Informatics and Psychology Workshop*. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland, 1987. p. 151–164.
- RIPS, L. J. The representation of knowledge and belief. In: BRAND, M.; HARNISH, R. M. (Ed.). *Mental muddles*. Tuscon, AZ: University of Arizona Press, 1986. p. 258–286.
- ROBINSON, J. A. *Logic: Form and Function The Mechanization of Deductive Reasoning*. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1979.
- ROSSI, G.; SCHWABE, D.; LYARDET, F. Web application models are more than conceptual models. In: *ER'99: Proceedings of the Workshops on Evolution and Change in Data Management, Reverse Engineering in Information Systems, and the World Wide Web and Conceptual Modeling*. London, UK: Springer-Verlag, 1999. p. 239–253. ISBN 3-540-66653-2.
- ROTO, V. et al. Minimap: a web page visualization method for mobile phones. In: *CHI'06: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*. Montréal, Canada: ACM, 2006. p. 35–44. ISBN 1-59593-372-7.
- RUBINSTEIN, R.; HERSH, H. *The human factor*. Bedford, MA, USA: Digital Press, 1984.
- SANTO, G. D.; ZIMEO, E. Reversing guis to ximl descriptions for the adaptation to heterogeneous devices. In: *SAC'07: Proceedings of the 22nd ACM symposium on applied computing*. Seoul, Korea: ACM, 2007. p. 1456–1460. ISBN 1-59593-480-4.
- SASSE, M. A. *Eliciting and describing users' models of computer systems*. Tese (Doutorado) — University of Birmingham, Birmingham, England, April 1997.
- SCHINDLER, R.; SCHUSTER, A. On the relationship between a user's self-teaching and his knowledge. In: *Selected papers of the 6th Informatics and Psychology Workshop*. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland, 1987. p. 209–228.
- SCIENTIFIC AFFAIRS DIVISION, 1968, Brussels, Germany. *NATO Software Engineering Conference*. 231 p.
- SEAMAN, M. A.; LEVIN, J. R.; SERLIN, R. C. New developments in pairwise multiple comparisons: Some powerful and practicable procedures. *Psychological Bulletin*, n. 110, p. 577–586, 1991.

- SHARP, H.; ROGERS, Y.; PREECE, J. *Interaction Design: Beyond Human Computer Interaction*. 2nd. ed. New York, USA: Wiley & Sons, 2007. ISBN 0470018666.
- SHEN, W. *An efficient Algorithm for Incremental Learning of Decision Lists*. USA, 1996.
- SHNEIDERMAN, B. *Designing the user interface*. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1987.
- SIMON, H. *Models of man*. New York, USA: Wiley & Sons, 1957.
- SKINNER, B. F. *Verbal Learning*. New York: Appleton-Century-Crofts, 1957.
- SMITH, D. C. et al. Designing the star user interface. *Byte* 7, p. 242–282, 1982.
- SOHLBERG, M. M.; MATEER, C. A. *Introduction to cognitive rehabilitation: theory and practice*. New York: Guilford Press, 1989. ISBN 0-89862-738-9.
- SOTTET, J.-S. et al. Model-driven adaptation for plastic user interfaces. In: BARANAUSKAS, C. et al. (Ed.). *INTERACT'07: Proceedings of the 11th IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*. Rio de Janeiro, Brazil: Springer, 2007. v. 4662, p. 397–410. ISBN 978-3-540-74794-9.
- SOWA, J. F. *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 1984. ISBN 0-201-14472-7.
- SPENCE, R. *Information Visualization - Design for Interaction*. 2nd. ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2007.
- TAUBER, M. On mental models and the user interface. In: VEER, G. V. D. et al. (Ed.). *Working with Computers: Theory versus Outcome*. London: Academic Press, 1988.
- THORNDIKE, E. L. Animal intelligence: An experimental study of the associative processes in animals. *Psychological Review Monograph Supplement*, v. 2, n. 4, p. 1–109, 1898.
- TRAPP, M.; SCHMETTOW, M. Consistency in use through model based user interface development. In: *CHI'06: Workshop on The Many Faces of Consistency in Cross-Platform Design*. Montréal, Canada: ACM, 2006.
- VYGOTSKY, L. S. *Mind in Society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1978.

- WAERN, Y. On the dynamics of mental models. In: *Selected papers of the 6th Informatics and Psychology Workshop*. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland, 1987. p. 73–93.
- WASON, P. C.; JOHNSON-LAIRD, P. N. *Psychology of Reasoning: Structure and Content*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1972.
- WATSON, J. B. Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review*, v. 20, p. 158–177, 1913.
- WINCKLER, M. et al. Task-based assessment of web navigation design. In: *TAMODIA'02: Proceedings of the First International Workshop on Task Models and Diagrams for User Interface Design*. Bucharest, Romania: INFOREC Publishing House Bucharest, 2002. p. 161–169. ISBN 973-8360-01-3.
- WINOGRAD, T.; FLORES, F. *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*. Norwood, NJ, USA: Ablex, 1986.
- WITTROCK, M. C.; CARTER, J. F. Generative processing of hierarchically organized words. *American Journal of Psychology*, v. 88, n. 3, p. 489–501, 1975.
- WOZNY, L. A. The application of metaphor, analogy and conceptual models in computer systems. *Interacting with Computers*, v. 1, p. 273–283, 1989.
- YOUNG, R. M. Surrogates and mappings: two kinds of conceptual models for interactive devices. In: GENTNER, D.; STEVENS, A. L. (Ed.). *Mental models*. Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1983. ISBN 0-89859-242-9.

Apêndice A

Experimento: Questionários de Avaliação das Interfaces

Prezado Aluno

A Unicamp como outras universidades no mundo coloca a disposição dos alunos e professores ambientes computacionais de apoio ao ensino presencial. Esses ambientes auxiliam na comunicação entre os participantes de uma disciplina fora da sala de aula, possibilitam a disponibilização de material de leitura, slides, etc. A maioria dos ambiente permite que sejam disponibilizados os trabalhos dos alunos e suas notas. Como exemplo, na Unicamp e Unesp é adotado o TelEduc, na USP o COL, etc.

Supondo o uso de um desses ambientes, e no caso específico da Unicamp o TelEduc, responda as questões a seguir tendo como requisito que não estamos avaliando o TelEduc e sim o seu uso ou de outro ambiente qualquer de apoio com as características acima. O TelEduc, portanto, está sendo usado apenas como exemplo.

Obrigado pela sua participação!

Equipe de Desenvolvimento

Figura A.1: Introdução aos questionários.

QUESTIONÁRIO DEMOGRÁFICO

Nome: _____ Idade: _____

E-mail: _____ Sexo: ☐ Masculino ☐ Feminino

1. Você já usou o TelEduc em outra disciplina **além desta**?

- a) Sim. Já usei em aproximadamente _____ outras disciplinas.
- b) Não. Mas já usei em outras situações.
- c) Não. Esta é a primeira vez que uso.

2. Marque todos os dispositivos que você **já usou** para acessar o TelEduc.

- a) PocketPC, Palmtop ou PDA
- b) Celular ou Smartphone
- c) Laptop, TabletPC ou computador PC padrão
- d) Outros: _____

3. Marque todos os dispositivos que você **teria vontade de usar** para acessar o TelEduc:

- a) PocketPC, Palmtop ou PDA
- b) Celular ou Smartphone
- c) Laptop, TabletPC ou computador PC padrão
- d) Outros: _____

4. Qual é a sua experiência atual com o **TelEduc**?

Nunca uso	1	2	3	4	5	6	7	Uso constantemente
-----------	---	---	---	---	---	---	---	--------------------

5. Qual é a sua experiência atual com a **ferramenta Avaliação** do TelEduc?

Nunca uso	1	2	3	4	5	6	7	Uso constantemente
-----------	---	---	---	---	---	---	---	--------------------

6. Quais as duas tarefas que você **mais realizou** na **ferramenta Avaliação** do TelEduc?

- o 1ª tarefa mais realizada: _____
- o 2ª tarefa mais realizada: _____

Figura A.2: Questionário demográfico.

QUESTIONÁRIO DA TAREFA 1 (INTERFACE 1)

Tarefa 1: **Checar sua nota na avaliação de artigos**

Seu nome fictício: **JOÃO CARLOS DE OLIVEIRA**

Descrição da Situação:

“Seu professor diz que corrigiu os artigos dos alunos e que já disponibilizou as notas de cada um no TelEduc. Você se dirige ao laboratório de computadores e acessa o sistema, fornecendo login e senha. Em seguida, clica no menu *Avaliações* e depois no link *Notas dos Participantes*. Nesse momento, a energia do laboratório cai e você tenta completar a tarefa usando seu PocketPC. Após entrar com o seu login e senha, o sistema apresenta a tela correspondente à última acessada.”

1. O código da interface avaliada é: _____
2. A minha nota na avaliação de artigos foi: _____
3. As diferenças entre essa interface e a interface original do TelEduc:
 - a) Geraram algum tipo de dúvida para executar a tarefa
 - b) Não geraram qualquer tipo de dúvida para executar a tarefa

4. Executar essa tarefa nessa interface é:

Mais difícil do que no TelEduc original	1	2	3	4	5	6	7	Mais fácil do que no TelEduc original
Mais lento do que no TelEduc original	1	2	3	4	5	6	7	Mais rápido do que no TelEduc original
Mais sujeito a cometer erros do que no TelEduc original	1	2	3	4	5	6	7	Menos sujeito a cometer erros do que no TelEduc original

5. Esta interface lhe permite visualizar os comentários do professor sobre sua nota?
- a) Sim. A sugestão do professor foi: _____
 - b) Provavelmente sim, mas seria necessário clicar: _____
 - c) Não.

Figura A.3: Questionário de avaliação da primeira interface na execução da primeira tarefa. O mesmo questionário foi utilizado para as demais interfaces, alterando apenas o seu título.

QUESTIONÁRIO DA TAREFA 2 (INTERFACE 1)

Tarefa 2: **Verificar quantos colegas tiraram nota maior que a sua no projeto fase 2**

Seu nome fictício: **JOÃO CARLOS DE OLIVEIRA**

Descrição da Situação:

“Seu professor diz que corrigiu os projetos da fase 2 e que já disponibilizou as notas de cada um no TelEduc para visualização de todos. Você se dirige ao laboratório de computadores e acessa o sistema, fornecendo login e senha. Em seguida, clica no menu *Avaliações* e depois no link *Notas dos Participantes*. Nesse momento, a energia do laboratório cai e você tenta completar a tarefa usando seu PocketPC. Após entrar com o seu login e senha, o sistema apresenta a tela correspondente à última acessada.”

1. O código da interface avaliada é: _____
2. Esta interface lhe permite verificar quantos colegas tiraram nota maior que a sua?
 - a) Sim. Ao total, foram _____ colegas.
 - b) Provavelmente sim, mas seria necessário clicar: _____
 - c) Não.
3. As diferenças entre essa interface e a interface original do TelEduc:
 - a) Geraram algum tipo de dúvida para executar a tarefa
 - b) Não geraram qualquer tipo de dúvida para executar a tarefa
4. Executar essa tarefa nessa interface é:

<u>Mais difícil</u> do que no TelEduc original	1	2	3	4	5	6	7	<u>Mais fácil</u> do que no TelEduc original
<u>Mais lento</u> do que no TelEduc original	1	2	3	4	5	6	7	<u>Mais rápido</u> do que no TelEduc original
<u>Mais sujeito a cometer erros</u> do que no TelEduc original	1	2	3	4	5	6	7	<u>Menos sujeito a cometer erros</u> do que no TelEduc original

Figura A.4: Questionário de avaliação da primeira interface na execução da segunda tarefa. O mesmo questionário foi utilizado para as demais interfaces, alterando apenas o seu título.

QUESTIONÁRIO DA TAREFA 3 (INTERFACE 1)

Tarefa 3: **Rever quais são as avaliações atuais**

Seu nome fictício: **JOÃO CARLOS DE OLIVEIRA**

Descrição da Situação:

“Após checar as suas notas nas avaliações realizadas até agora, você percebe que será necessário se dedicar mais à disciplina. Sendo assim, você decide rever quais são as avaliações atuais para trabalhar nelas.”

1. O código da interface avaliada é: _____
2. Escreva o nome do link ou botão que você clicaria para visualizar as avaliações atuais:
3. Pergunte a seu avaliador se você acertou onde deveria clicar.
4. Se você acertou, responda o que você achou da realização dessa tarefa nessa interface:

Mais difícil do que no TelEduc original	1	2	3	4	5	6	7	Mais fácil do que no TelEduc original
Mais lento do que no TelEduc original	1	2	3	4	5	6	7	Mais rápido do que no TelEduc original
Mais sujeito a cometer erros do que no TelEduc original	1	2	3	4	5	6	7	Menos sujeito a cometer erros do que no TelEduc original

Figura A.5: Questionário de avaliação da primeira interface na execução da terceira tarefa. O mesmo questionário foi utilizado para as demais interfaces, alterando apenas o seu título.

QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DAS INTERFACES

1. Qual das 3 interfaces você considera **a melhor** para a solução desta tarefa:
2. Marque **todos os motivos** de sua escolha:
 - a) É **mais fácil** entender como executar a tarefa nela do que nas outras
 - b) É **mais rápido** executar a tarefa nela do que nas outras
 - c) É **mais difícil cometer um erro** executando a tarefa nela do que nas outras
 - d) Outro motivo:

3. Qual das 3 interfaces você considera **a pior** para a solução desta tarefa:
4. Marque **todos os motivos** de sua escolha:
 - a) Muita informação em pouco espaço, exigindo uso intenso da barra de rolagem
 - b) Muito diferente do TelEduc original
 - c) Textos resumidos que dificultam a compreensão
 - d) Outro motivo:

5. Comentários:

Figura A.6: Questionário de avaliação das três interfaces na execução de uma dada tarefa. Este questionário foi aplicado após a execução de cada uma das três tarefas.

1. Independente das tarefas realizadas, qual das 3 interfaces foi a que **você mais gostou**?
2. Por quê?
3. Independente das tarefas realizadas, qual das 3 interfaces foi a que **você menos gostou**?
4. Por quê?

Figura A.7: Questionário de avaliação da satisfação do usuário com as interfaces utilizadas, independente das tarefas executadas.

Apêndice B

Experimento: Interfaces Construídas para a Transformação Linear

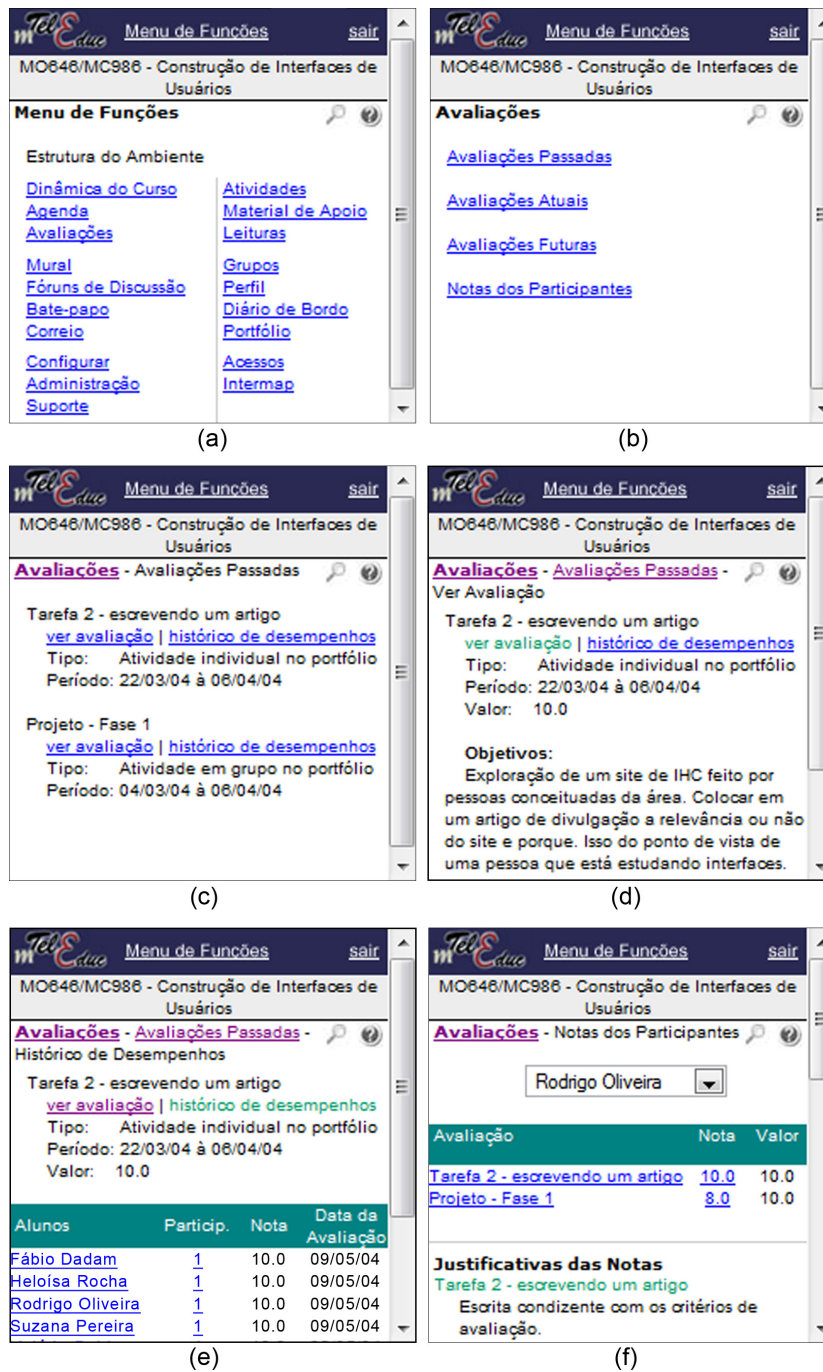


Figura B.1: Exemplo de telas do TelEduc para *pocket PC* construídas manualmente usando a abordagem de transformação Linear. Em (a), a tela de acesso às ferramentas do TelEduc permite a ativação do link “Avaliações”, cuja tela em (b) garante o acesso a um dos itens de seu menu interno. Em (c), tem-se a tela com as avaliações passadas, a partir da qual pode-se acessar os submenus de visualização dos detalhes de uma delas em (d) ou o histórico de desempenho dos participantes em (e). Por último, a tela referente ao item de menu “Notas dos Participantes” é apresentada em (f).

Apêndice C

Experimento: Coleta de Dados

Tabela C.1: Frequência de acesso às ferramentas do TelEduc por parte dos participantes da disciplina “Construção de Interfaces de Usuários” ministrada no segundo semestre de 2007 na UNICAMP. O período corresponde a 83 dias de disponibilização do ambiente de ensino para uso até a véspera da realização do experimento.

Participantes *	Estrut. do Ambiente	Dinâmica do Curso	Agenda	Avaliações	Atividades	Material de Apoio	Leituras	Perguntas Frequentes	Exercícios	Enquete	Parada Obrigatória	Mural	Fóruns de Discussão	Bate-papo	Correios	Grupos	Perfil	Diário de Bordo	Portfólio	Acessos	Intermap
1	1	1	6	2	7	1	1	0	0	3	0	1	5	0	5	2	1	0	7	0	0
2	1	1	11	5	3	6	3	0	0	5	0	5	9	1	11	4	12	1	10	2	1
3	2	8	40	19	30	37	35	0	0	21	0	16	52	11	53	5	27	8	52	4	2
4	3	12	77	38	31	33	14	0	0	16	0	17	53	10	47	43	38	10	87	5	5
5	2	1	38	21	13	24	13	0	0	10	0	10	63	2	43	5	26	2	39	1	0
6	2	5	8	3	10	7	5	0	0	9	0	2	10	3	8	11	7	5	19	0	0
7	0	4	11	6	10	5	3	0	0	12	0	3	11	1	13	6	3	0	10	2	0
8	0	1	2	1	4	3	3	0	0	1	0	2	4	0	1	1	2	1	7	0	0
9	0	3	15	17	11	19	5	0	0	4	0	4	11	1	16	9	12	0	15	0	1
10	1	1	5	4	7	6	2	0	0	8	0	3	13	0	11	4	6	1	7	0	0
11	0	4	15	6	19	8	7	0	0	9	0	8	15	2	8	6	5	3	12	2	1
12	0	5	16	17	20	17	14	0	0	8	0	8	21	1	22	9	10	0	22	1	0
13	3	15	110	74	62	45	26	0	0	30	0	37	67	12	92	31	32	8	67	3	4
14	1	5	14	10	14	19	5	0	0	13	0	5	10	2	9	3	7	2	15	2	3
15	2	5	13	9	17	12	7	0	0	9	0	9	11	2	20	6	11	2	20	3	2
16	1	2	6	7	8	7	7	0	0	5	0	4	12	2	11	0	6	2	7	0	0
17	0	3	13	11	15	16	5	0	0	6	0	8	21	1	31	6	15	0	26	0	0
18	8	18	75	33	42	28	10	0	0	11	0	8	28	4	45	21	21	6	48	6	2
19	0	3	25	20	31	29	21	0	0	15	0	13	30	11	34	15	10	6	12	1	0
20	1	6	14	20	24	23	13	0	0	13	0	14	32	9	30	9	21	6	25	2	1
21	1	10	26	16	21	23	13	0	0	12	0	13	26	5	34	12	11	5	28	6	1
22	1	8	51	32	20	14	8	0	0	13	0	10	34	4	26	10	15	5	29	3	2
23	0	1	3	0	2	0	0	0	0	2	0	0	4	0	2	3	2	0	4	0	0
24	0	1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3	0	0	2	0	0
25	3	4	10	7	6	10	4	0	0	4	0	3	5	1	9	2	3	0	7	0	0
26	0	5	11	7	12	16	3	0	0	6	0	2	11	4	18	6	10	2	21	2	2
27	0	3	17	20	18	14	9	0	0	8	0	9	24	4	22	9	8	3	25	0	0
28	2	5	51	22	21	25	13	0	0	7	0	17	42	2	33	29	35	3	40	2	3
29	0	2	5	2	4	4	1	0	0	3	0	0	0	1	7	0	3	0	6	0	0
30	2	5	7	11	22	19	7	0	0	6	0	13	17	2	19	11	14	4	20	1	0
31	0	1	5	4	10	4	7	0	0	4	0	4	4	0	10	10	8	0	5	1	0
32	13	10	57	28	26	35	17	0	0	19	0	17	41	7	45	13	33	9	62	22	12
33	0	2	12	5	8	12	9	0	0	5	0	7	10	1	26	8	15	0	11	0	0
34	0	3	3	7	9	12	8	0	0	7	0	4	6	1	9	6	9	0	8	0	1
35	0	3	13	10	11	11	4	0	0	6	0	4	14	2	19	12	13	3	20	1	1
36	0	4	10	8	10	8	4	0	0	6	0	10	12	2	20	5	10	2	15	0	1
37	0	0	14	3	4	8	1	0	0	6	0	1	8	0	13	2	9	0	24	0	0
38	0	1	4	5	6	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	2	1	4	1	1
39	2	4	12	12	11	14	7	0	0	12	0	5	26	3	24	10	10	3	22	3	2
40	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3	0	1	1	0	2	0	1	0	2	0	0
41	0	0	15	2	3	19	8	0	5	7	0	9	9	2	30	2	20	2	20	1	0
42	1	9	233	59	37	50	19	0	2	12	0	16	17	1	145	5	28	2	87	3	2
43	0	1	55	9	8	67	45	0	6	15	0	18	34	5	92	7	25	2	58	0	0
44	0	3	128	56	29	42	27	0	0	23	0	21	61	3	130	21	36	4	73	9	4
45	0	0	0	0	2	2	1	0	0	1	0	2	0	0	2	0	2	0	1	0	0
46	0	0	5	3	1	8	3	0	29	18	0	5	5	1	28	3	10	1	12	0	0
47	0	0	1	1	0	1	2	0	0	2	0	5	1	0	7	0	2	0	1	0	0
48	6	4	8	0	5	5	6	0	0	2	0	4	3	2	0	0	2	0	0	1	2
%**	1	2	13	7	7	8	4	0	0	4	0	4	9	1	13	4	6	1	12	1	1

* O número atribuído aos participantes não tem relação direta com o número atribuído aos indivíduos do experimento.

** Porcentagem aproximada de acesso por ferramenta.

Tabela C.2: Resultado do questionário demográfico do experimento.

#	Grupo* Sequência	Ind.	Idade	Sexo		Disciplinas que usou o TelEduc	Dispositivos usados com o TelEduc**			Dispositivos que se deseja usar com o TelEduc**			Experiência com*** TelEduc		Tarefa mais realizada	
				M	F		1	2	3	1	2	3	TelEduc	Avaliações (TelEduc)	Checar Notas	Checar Avaliações
1	M, L, O	1	21	•		10			•			•	6	1		
		2	29	•		5			•	•	•	•	7	5		•
		3	25	•		5			•	•	•	•	7	3		•
2	L, O, M	4	24	•		8			•	•			6	2	•	
		5	21	•		15			•	•	•		3	1		•
		6	24	•		8			•	•	•	•	6	3	•	
3	O, M, L	7	22	•		10			•			•	7	2	•	
		8	21	•		5			•		•		7	3	•	
		9	21	•		7			•			•	7	7	•	
4	M, O, L	10	23	•		5			•	•			7	6	•	
		11	22	•		4			•		•		2	1		
		12	25	•		5			•			•	3	3	•	
5	L, M, O	13	20	•		8			•	•			5	1	•	
		14	20	•		4			•	•		•	5	6	•	
		15	21	•		6			•	•		•	4	3	•	
6	O, L, M	16	21	•		10			•			•	6	6	•	
		17	20	•		7			•			•	3	1		
		18	19	•		5			•		•		6	6	•	
$\sum$				18	0		0	0	18	9	7	11			12	3
$\bar{x}$			22			7							5,4	3,3		
%				100	0		0	0	100	50	39	61			80	20

* Os 18 indivíduos foram divididos em seis grupos com sequências diferentes para o uso das três interfaces avaliadas: Migração Direta (M), Transformação Linear (L) e Transformação *Overview* (O). Este procedimento foi adotado para evitar influências no resultado do experimento devido aos resíduos de um tratamento sobre o outro.

** Legenda dos dispositivos: (1) *pocket PC*, *palmtop* ou PDA; (2) celular ou *smartphone*; (3) laptop, *tablet PC* ou computador PC padrão.

*** A experiência prévia com o TelEduc e com a ferramenta Avaliações do TelEduc foi avaliada de forma subjetiva por cada indivíduo usando a escala de Likert com 7 pontos. Quanto mais próximo de 7, mais a experiência se aproxima do uso constante; quanto mais próximo de 1, mais a experiência é nula.

Tabela C.3: Resultado da avaliação de usabilidade do experimento - Tarefa 1: checar a nota de um aluno do TelEduc. As três interfaces móveis avaliadas foram construídas usando as seguintes abordagens: Migração Direta (M), Transformação Linear (L) e Transformação *Overview* (O).

Ind.	Acertou			Tempo (s)			Comparação com o TelEduc original*									Comparação entre as Interfaces:												
							Facilidade			Eficiência			Segurança			Melhor			Motivos**			Pior			Motivos***			
	M	L	O	M	L	O	M	L	O	M	L	O	M	L	O	M	L	O	1	2	3	M	L	O	1	2	3	
1	•	•	•	68	64	44	4	5	4	2	5	5	3	5	4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2	•	•	•	53	18	26	3	6	3	2	7	4	2	1	2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3	•	•	•	30	9	20	4	6	3	1	7	4	2	7	4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
4	•	•	•	60	37	60	4	6	2	4	6	2	4	6	2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
5	•	•	•	46	30	45	1	7	2	2	7	3	2	7	1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
6	•	•	•	140	45	50	7	4	6	7	4	6	7	6	6	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
7	•	•	•	47	37	44	1	4	2	1	2	1	1	2	2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
8	•	•	•	18	17	30	2	6	4	2	5	3	4	5	4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
9	•	•	•	28	17	48	3	7	4	2	7	4	2	7	5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
10	•	•	•	28	30	39	2	5	4	2	4	3	4	5	2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
11	•	•	•	79	41	50	3	6	5	3	7	5	3	6	3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
12	•	•	•	24	30	21	3	6	4	2	5	5	4	5	3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
13	•	•	•	55	42	27	4	4	5	1	3	5	2	3	2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
14	•	•	•	78	106	28	2	6	6	4	5	6	5	4	6	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
15	•	•	•	58	38	36	2	7	4	2	7	3	1	7	5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
16	•	•	•	101	72	27	2	6	4	2	5	4	2	4	4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
17	•	•	•	41	34	80	2	4	4	2	3	3	3	5	4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
18	•	•	•	37	23	74	4	4	4	4	4	4	4	4	4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
∑	18	18	18													0	16	2	13	14	13	14	1	3	15	0	5	
$\bar{x}$				55	38	42	2,9	5,5	3,9	2,5	5,2	3,9	3,1	4,9	3,5													
%	100	100	100													0	89	11	72	78	72	78	6	17	83	0	28	

* A avaliação das metas de usabilidade das interfaces móveis em relação à interface original do TelEduc faz uso da escala de Likert com 7 pontos. Quanto mais próximo de 7, mais a interface é considerada superior à do TelEduc original com relação à sua facilidade, eficiência ou segurança de uso. Por outro lado, quanto mais próximo de 1, mais a interface do TelEduc original se mostra superior às interfaces móveis com relação aos dados atributos.

** Legenda dos motivos indicados pelos indivíduos como os principais para a escolha da *melhor* interface para execução da tarefa: (1) facilidade de compreensão/uso; (2) rapidez de execução; (3) menor probabilidade de cometer um erro.

*** Legenda dos motivos indicados pelos indivíduos como os principais para a escolha da *pior* interface para execução da tarefa: (1) muita informação para pouco espaço exigindo uso intenso da barra de rolagem; (2) muito diferente do TelEduc original; (3) uso de textos resumidos que dificultam a compreensão.

Tabela C.4: Resultado da avaliação de usabilidade do experimento - Tarefa 2: checar quantos participantes do TelEduc tiraram nota maior que a do aluno. As três interfaces móveis avaliadas foram construídas usando as seguintes abordagens: Migração Direta (M), Transformação Linear (L) e Transformação *Overview* (O).

Ind.	Acertou			Tempo (s)*			Comparação com o TelEduc original**									Comparação entre as Interfaces:											
							Facilidade			Eficiência			Segurança			Melhor			Motivos***			Pior			Motivos****		
	M	L	O	M	L	O	M	L	O	M	L	O	M	L	O	M	L	O	1	2	3	M	L	O	1	2	3
1	•	•	•	84	39	38	2	2	5	2	2	5	1	2	4			•		•	•			•			
2	•	•	•	75	30	23	4	1	5	2	1	4	2	1	4			•						•			
3	•		•	45	11	35	1	1	5	1	1	5	1	1	4			•		•	•			•			
4			•	55	38	40	3	6	3	3	6	3	2	6	2		•			•	•	•				•	
5	•	•	•	124	8	36	1	1	4	1	1	4	1	1	5			•		•	•			•			•
6	•		•	52	110	40	1	3	5	1	4	5	1	3	4			•		•	•	•				•	•
7	•		•	83	37	52	1	3	2	1	3	2	1	3	2		•		•	•	•	•				•	
8	•	•		40	25	19	7	1	4	7	1	4	5	3	4			•	•	•			•				•
9	•		•	57	46	35	1	1	4	1	1	4	1	1	3			•		•	•	•				•	
10	•		•	40	24	19	2	6	3	1	5	3	4	4	3			•		•			•				•
11	•	•	•	57	62	35	2	2	5	2	1	5	1	3	5			•		•	•			•			•
12	•		•	36	12	18	4	2	5	3	2	5	3	4	3			•		•			•				•
13	•		•	51	29	32	4	7	5	4	4	4	4	7	2	•			•	•			•				
14	•		•	94	252	24	3	4	5	2	4	6	4	6	5			•		•		•				•	
15	•	•	•	59	28	34	3	1	5	3	1	4	3	3	5			•		•	•			•			
16	•		•	42	54	76	2	1	4	2	1	4	1	1	4			•	•	•	•			•			•
17	•		•	41	40	50	2	3	4	2	3	3	2	3	5			•		•		•				•	
18	•		•	49	40	60	4	3	4	4	4	4	4	1	4	•			•				•				
$\sum$	17	6	17													2	2	14	5	17	10	6	12	0	6	5	2
$\bar{x}$				60	49	37	2,6	2,7	4,3	2,3	2,5	4,1	2,3	2,9	3,8												
%	94	33	94													11	11	78	28	94	56	33	67	0	33	28	11

* Os tempos da Transformação Linear (L) correspondem apenas ao período gasto por cada indivíduo na identificação do próximo passo para a conclusão da tarefa, ou seja, clicar na caixa de seleção com o nome do participante. Estes dados brutos não foram acrescidos do tempo extra necessário ao término da tarefa para viabilizar a comparação dos tratamentos (ver Apêndice D).

** A avaliação das metas de usabilidade das interfaces móveis em relação à interface original do TelEduc faz uso da escala de Likert com 7 pontos. Quanto mais próximo de 7, mais a interface é considerada superior à do TelEduc original com relação à sua facilidade, eficiência ou segurança de uso. Por outro lado, quanto mais próximo de 1, mais a interface do TelEduc original se mostra superior às interfaces móveis com relação aos dados atributos.

*** Legenda dos motivos indicados pelos indivíduos como os principais para a escolha da *melhor* interface para execução da tarefa: (1) facilidade de compreensão/uso; (2) rapidez de execução; (3) menor probabilidade de cometer um erro.

**** Legenda dos motivos indicados pelos indivíduos como os principais para a escolha da *pior* interface para execução da tarefa: (1) muita informação para pouco espaço exigindo uso intenso da barra de rolagem; (2) muito diferente do TelEduc original; (3) uso de textos resumidos que dificultam a compreensão.

Tabela C.5: Resultado da avaliação de usabilidade do experimento - Tarefa 3: checar as avaliações atuais disponíveis no TelEduc. As três interfaces móveis avaliadas foram construídas usando as seguintes abordagens: Migração Direta (M), Transformação Linear (L) e Transformação *Overview* (O).

Ind.	Acertou			Tempo (s)			Comparação com o TelEduc original*									Comparação entre as Interfaces:												
							Facilidade			Eficiência			Segurança			Melhor			Motivos**			Pior			Motivos***			
	M	L	O	M	L	O	M	L	O	M	L	O	M	L	O	M	L	O	1	2	3	M	L	O	1	2	3	
1	•	•	•	15	40	14	4	3	4	4	3	5	4	2	3			•		•			•					•
2	•	•	•	40	15	12	4	5	6	2	4	4	3	3	4			•		•		•				•		
3	•		•	12	14	17	4	3	4	3	3	4	4	2	3	•			•			•				•		
4	•	•	•	8	70	10	4	4	3	4	2	4	4	2	4	•				•	•	•	•			•	•	•
5	•	•	•	14	39	10	4	2	4	4	6	4	4	2	2			•	•		•	•				•		
6	•	•	•	7	20	35	6	5	4	6	5	3	5	5	3	•			•	•	•			•			•	
7	•	•	•	33	36	17	1	4	2	1	4	2	1	4	2		•		•	•	•	•			•			
8	•			15	22	22	4		4	4		4	4		4			•	•		•	•				•	•	
9	•	•	•	13	24	4	4	3	4	2	3	4	4	2	4			•		•	•	•			•			
10	•	•	•	62	20	10	4	2	5	3	1	4	4	2	2	•			•		•	•					•	
11	•	•	•	26	50	12	3	3	6	3	2	5	4	4	3			•	•			•				•		
12	•	•	•	16	16	10	3	3	3	3	3	5	4	4	4			•		•		•				•		
13		•	•	20	32	12	4	4	4	4	4	4	4	3	4		•		•			•					•	
14	•	•	•	34	30	18	4	5	6	4	5	6	4	5	6			•		•		•				•		
15	•	•	•	10	8	5	4	6	4	4	5	4	4	4	4		•		•			•				•		
16	•		•	29	37	27	3	2	4	3	2	4	4	2	4			•				•				•	•	
17	•	•	•	23	25	28	4	3	4	2	3	4	2	3	4			•		•		•						
18	•	•	•	5	5	10	4	4	4	4	4	4	4	4	4		•		•			•				•		
Σ	17	15	17													4	4	10	10	9	7	8	9	1	6	7	7	
$\bar{x}$				21	28	15	3,8	3,6	4,2	3,3	3,5	4,1	3,7	3,1	3,6													
%	94	83	94													22	22	56	56	50	39	44	50	6	33	39	39	

* A avaliação das metas de usabilidade das interfaces móveis em relação à interface original do TelEduc faz uso da escala de Likert com 7 pontos. Quanto mais próximo de 7, mais a interface é considerada superior à do TelEduc original com relação à sua facilidade, eficiência ou segurança de uso. Por outro lado, quanto mais próximo de 1, mais a interface do TelEduc original se mostra superior às interfaces móveis com relação aos dados atributos.

** Legenda dos motivos indicados pelos indivíduos como os principais para a escolha da *melhor* interface para execução da tarefa: (1) facilidade de compreensão/uso; (2) rapidez de execução; (3) menor probabilidade de cometer um erro.

*** Legenda dos motivos indicados pelos indivíduos como os principais para a escolha da *pior* interface para execução da tarefa: (1) muita informação para pouco espaço exigindo uso intenso da barra de rolagem; (2) muito diferente do TelEduc original; (3) uso de textos resumidos que dificultam a compreensão.

Tabela C.6: Resultado da avaliação de satisfação do experimento.

Ind.	Melhor			Motivos	Pior			Motivos
	M	L	O		M	L	O	
1		•		Apesar de ter sido considerada a pior em duas das tarefas propostas, ela tem um design limpo e muito agradável para tarefas que considero mais frequentes (como ver todas as notas e os comentários respectivos). Pessoalmente considero essa interface mais funcional que a atual do TelEduc	•			Zoom muito alto e dificuldade de orientação em um nível muito grave
2		•		As informações estão melhor distribuídas na tela, o visual é mais agradável aos olhos e a quantidade de scroll parece menor	•			Muito scroll! Foi mais complicado de navegar
3			•	Achei que ela equilibra melhor a necessidade de interação (uso do scroll bar) do que as demais e não precisei aprender aquela tela (analisar os objetos de interação) pois essa tela era semelhante a do ambiente que utilizava	•			O principal motivo de ter escolhido a L foi não ter conseguido realizar a tarefa de ver quantos alunos tiraram notas maiores que a minha. Quando usei a L pela primeira vez achei melhor do que a M, pois era mais fácil e menos oneroso de encontrar as informações que eu procurava. Mas depois que vi que para realizar a atividade de ver quantos alunos tiraram notas maiores que a minha eu demoraria muito muito tempo, sem falar da possibilidade de eu errar durante a interação, achei a L a pior de todas.
4		•		Por caber mais informação em uma tela sem necessidade de usar barra. Informação que considero que me interesse mais			•	Se mais pessoas tivessem meu nome, me confundiria na busca por informações. Economia aparentemente inútil de informação
5		•		Ela se mostrou mais adequada ao pequeno visor do pocket com a única dificuldade de ser diferente do padrão “normal” adotado pelo atual TelEduc no computador normal	•			Não existe nenhuma tentativa de adequar o layout à pequena tela do pocket trazendo assim + desgaste e provocando maior esforço por parte do usuário
6		•		A interface L apresenta a informação de modo mais objetivo e inteligível, sendo que a visualização do quadro de notas é mais clara do que as demais, minimizando a necessidade de utilização da barra de rolagem	•			A interface M apresenta a informação de modo pouco legível, sendo necessário o uso da barra de rolagem para visualizar toda a informação. Desta forma, as chances do usuário cometer erros ou não encontrar a informação desejada são grandes em comparação com as demais interfaces apresentadas
7		•		Maior visibilidade, menor uso do scroll	•			Muito uso da barra de rolagem
8		•		Interface mais amigável e de melhor adaptação ao dispositivo	•			Necessidade demasiada do uso das barras de rolagem
9		•		Mais adequada para telas pequenas	•			Muito uso da barra de rolagem
10	•			É a interface que estou acostumado e consigo retirar todas informações necessárias			•	Tudo muito resumido, mais susceptível a erros devido ao resumo dos mesmos
11		•		É parecido com o original, mas utiliza melhor o espaço reduzido da tela	•			Funciona bem só para casos específicos; exige muita navegação de resto
12		•		Estrutura mais voltada ao aluno individualmente	•			Ruim usar o TelEduc no PDA pois não se adapta a tela
13		•		Porque mostra informações individuais, menos sujeita a erro			•	Nomes resumidos, muita informação na tela
14		•		Por causa da grande quantidade de informações que ela é capaz de exibir na tela	•			Exige um uso intenso da barra de rolagem, devido à pequena quantidade de informações visíveis na tela
15		•		Pareceu mais apropriada para um PDA e torna em geral as atividades mais fáceis do que no TelEduc (ao invés de se resumir a um quebra-galho)	•			Porque o uso das barras de rolagem aumentam muito a dificuldade da visualização de informações em 2D. Uma dimensão é tolerável, mas 2 não
16		•		Entre as que se parecem com o TelEduc original (pois estou mais acostumado) essa é mais compacta, as coisas não ficam tão espalhadas na tela, sendo + rápido encontrar as informações, pois não preciso percorrer tanto em todas as dimensões da tela	•			Apesar de ser + próxima do TelEduc original, é preciso se mover muito para os lados e para cima/baixo para achar informações, o que propicia maior possibilidade de erros
17		•		Por causa da página de comentários	•			Porque a página é muito grande
18	•			É a mais completa			•	Textos resumidos
%	11	67	22		67	11	22	

Apêndice D

Experimento: Teste Complementar

A comparação entre os tempos de duração de cada uma das três abordagens do experimento na realização da Tarefa 2 foi viabilizada pelo teste descrito neste apêndice. Sua necessidade se deve ao fato de que os tempos medidos com a abordagem Linear correspondem apenas à identificação da necessidade de alterar os nomes dos alunos na caixa de seleção. Logo, é preciso identificar o tempo extra para realização das seguintes sub-tarefas restantes:

1. Ativação de 18 alunos na caixa de seleção (desconsiderando o aluno de referência selecionado inicialmente);
2. Identificação visual da nota de cada um deles na avaliação de interesse;
3. Comparação mental de cada nota com a nota do aluno de referência; e
4. Computação do número de alunos com nota superior à do aluno de referência.

Ao contrário do procedimento tomado no experimento, este teste optou pelo uso de *pocket PCs* ao invés de simuladores por *tablet PCs* devido à grande necessidade de interação com mecanismos de controle (no caso, a caixa de seleção). A Figura D.1 mostra o modelo do *pocket PC* utilizado neste teste. As especificações deste modelo estão de acordo com aquelas apresentadas na análise de restrições dos dispositivos (ver seção 4.2.4).

Para comporem a amostra dos participantes deste teste, 12 alunos dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia e Ciência da Computação pela Universidade Estadual de Campinas foram convidados aleatoriamente, dos quais sete eram usuários de *pocket PC* e os cinco demais nunca haviam utilizado qualquer dispositivo móvel com interação por apontador. Como todos estes indivíduos pertenciam ao mesmo universo amostral do experimento principal, a amostragem deste teste garante homogeneidade e consistência entre os indivíduos de ambas as amostras. A Tabela D.1 apresenta os tempos



Figura D.1: *Pocket PC* utilizado no teste (modelo HP iPAQ h5500).

gastos por cada um deles em duas tentativas de execução das sub-tarefas listadas anteriormente (as tentativas foram implementadas com notas diferentes para evitar memorização da resposta correta).

De acordo com a Tabela D.1, o menor tempo gasto com a abordagem Linear para execução das sub-tarefas restantes à Tarefa 2 foi de 35 segundos (primeira tentativa do indivíduo 1). Este valor foi acrescentado ao tempo parcial de cada indivíduo na execução da Tarefa 2 do experimento para garantir o melhor caso da abordagem Linear. Desta forma, se a análise de dados revelar a superioridade da abordagem desta tese sobre a Linear quanto ao tempo de execução da Tarefa 2 (menor média de tempo gasto e diferença significativa entre as médias), então a confiabilidade desta conclusão será reforçada.

Um fato interessante na execução deste teste foi que todos os seus participantes não optaram por usar o joystick do *pocket PC*, o qual permitiria alterar os alunos na caixa de seleção com maior eficiência (botão circular na base inferior do dispositivo). Ao serem questionados quanto ao motivo dessa escolha, todos eles informaram nunca terem utilizado o joystick e alguns criticaram sua usabilidade. Quando requisitados a utilizarem esse recurso em uma terceira tentativa, os tempos de execução do teste reduziram, obtendo uma média de 29 segundos. No entanto, a eficácia deste método foi baixa dado que cinco indivíduos perderam o foco da caixa de seleção (pressionar o joystick para baixo/cima com leve inclinação para a direita/esquerda altera o foco para outro mecanismo de controle) e seis não conseguiram obter a resposta correta para a tarefa. Por esse motivo e pelo fato de nenhum indivíduo ter optado pelo joystick, apenas as duas primeiras tentativas foram consideradas válidas para complementar o experimento principal.

Tabela D.1: Tempo de duração (segundos) para execução das sub-tarefas restantes à conclusão da Tarefa 2 usando a abordagem Linear.

Indivíduos*	Sexo		Idade	Tempo de Duração**		Usuário de <i>pocket PC/PDA</i>
	M	F		1	2	
1	•		19	35	39	•
2	•		19	56	49	•
3		•	26	60	51	•
4	•		22	43	43	•
5	•		23	44	38	•
6		•	29	59	48	•
7	•		33	46	45	•
8	•		30	46	47	
9		•	25	67	56	
10	•		24	53	46	
11	•		25	71	76	
12		•	24	62	48	
Total	8	4				7
Média			25	54	49	
Mínimo				35	38	

* O número atribuído aos indivíduos deste teste não tem relação direta com o número atribuído aos indivíduos do experimento.

** As duas colunas correspondem ao tempo de duração de duas tentativas consecutivas, porém com notas diferentes dos alunos para evitar a memorização da resposta correta.

Apêndice E

Experimento: Análise de Dados

Tabela E.1: Análise de variância da duração de cada tarefa do experimento com as três abordagens (Migração Direta, Linear e *Overview* por prioridades de consistência).

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Tarefa 1		Tarefa 2		Tarefa 3	
		QM***	F	QM	F	QM	F
Indivíduo	17	677,61	2,57	1216,24	1,87	262,63	2,03
Período: Quadrado Latino	12	829,85	3,15	1472,31	2,26	39,37	0,30
Tratamento (ef. residual, ajust.)	2	1529,54	5,81	7119,12	10,92	707,29	5,47
Tratamento (ef. direto, ajust.)	2	1082,35	4,11*	8680,61	13,32**	750,77	5,80**
Resíduo	20	263,33		651,78		129,34	

* Significativo ao nível de 5%

** Significativo ao nível de 1%

*** Quadrado Médio

Tabela E.2: Tempo de duração médio ajustado (segundos) para cada tarefa do experimento usando os três tratamentos.

Tarefas	Tempo de Duração*			DMS**	σ_x
	Migração Direta	Linear	<i>Overview</i>		
1	50,93 a	33,92 b	45,32 ab	15,31	4,28
2	69,48 a	75,28 a	30,15 b	24,09	6,73
3	24,07 a	25,58 a	12,39 b	10,73	3,00

* Tratamentos com letras diferentes nas linhas divergem significativamente a $p < 0,05$

** Diferença Mínima Significativa