Pós-Graduação em Ciência da Computação

"Design Interativo de Agentes Inteligentes de Interface para Software Educativo de Matemática"

Por

Ana Emilia de Melo Queiroz

Dissertação de Mestrado

Universidade Federal de Pernambuco
posgraduacao@cin.ufpe.br
www.cin.ufpe.br/~posgraduacao

RECIFE, agosto/2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE INFORMÁTICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ANA EMILIA DE MELO QUEIROZ

"DESIGN INTERATIVO DE AGENTES INTELIGENTES DE INTERFACE PARA SOFTWARE EDUCATIVO DE MATEMÁTICA"

ESTE TRABALHO FOI APRESENTADO À PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DO CENTRO DE INFORMÁTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEX SANDRO GOMES

RECIFE,AGOST/2006

Queiroz, Ana Emilia de Melo
Design interativo de agentes inteligentes de interface para software educativo de Matemática / Ana Emilia de Melo Queiroz. – Recife : O Autor, 2006.
xv, 249 folhas : il., fig., quadros.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CIn. Ciência da Computação, 2006.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Inteligência artificial – Agentes inteligentes. 2. Agentes tutores – Interface educativa – Matemática – Estruturas aditivas. 3. Interação humano-máquina – Aprendizagem de conceitos matemáticos – Usabilidade. 4. Design de interface educativa – Avaliação da aprendizagem. I. Título.

004.89	**CDU (2.ed.)**	**UFPE**
006.3	**CDD (22.ed.)**	**BC2006-550**

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, João de Queiroz Chaves e Maria Luiza de Melo Queiroz e ao meu marido Augusto Ribeiro.

Resumo

A quantidade de programas educacionais e as diferentes modalidades do uso do computador demonstram sua utilidade no processo de ensino e aprendizagem (Valente 1993). Embora seja notório que máquinas como o computador representam avanço tecnológico e que existe, nele, um grande potencial como máquina de ensinar. Isso não determina que o seu uso ofereça garantias de desenvolvimento e aprendizagem de conceitos. É necessário, portanto, planejar sua inserção nas práticas escolares e fazer uma avaliação criteriosa dos *softwares* que serão utilizados. Dessa forma, avaliar um *software* educativo significa estimar o seu potencial enquanto ferramenta para aprendizagem de conceitos e, sendo assim, se faz necessário a utilização de técnicas e referenciais teóricos que possibilitem a verificação da aprendizagem ainda durante o seu desenvolvimento.

Esta dissertação tem como objetivo o *design* de agentes de interface para uma aplicação educativa que visa ao ensino de estruturas aditivas; para tanto a interface educativa que ora propomos foi desenvolvida sob a perspectiva construtivista de aprendizagem, adotada através do uso de um estilo de interação utilizado para criar situações capazes de promover a reflexão e conduzir o usuário à revisão dos seus planos iniciais.

Esta interface foi concebida através de uma metodologia que contemplou a identificação do contexto de uso; a análise de competidores; prototipagem rápida; e análise qualitativa da usabilidade, comunicabilidade e aprendizagem através da observação dos critérios construtivistas de aprendizagem. Durante o seu desenvolvimento, considerou-se constantemente a perspectiva dos usuários representativos em todo o ciclo de desenvolvimento, através de uma metodologia realizada em interação com o usuário e que utiliza os *feedbacks* do mesmo para melhorar aspectos relativos à usabilidade e a aprendizagem.

A proposta pedagógica adotada nesta interface foi o reforço instrucional, que é fornecido durante a resolução de problemas. A tal reforço, a literatura sobre educação chama de *Scaffolding*. Por meio da metodologia, foi possível conceber formas de reforço condizentes tanto com o usuário, quanto com a tarefa em execução. Além das formas de reforço, apresentamos uma metodologia capaz de estimar o potencial de

uma interface educativa, ainda em seu processo de design e, dessa forma, alinhar as ações e percepções do usuário acerca da interface às suas necessidades, as quais serão avaliadas em um contexto de uso real.

Palavras-chave: Learnware, análise qualitativa, Projeto centrado no usuário, Avaliação da aprendizagem, Estilos de interação, Modelos de usuário, Agentes Inteligentes.

Abstract

The amount of educational programmes and the different modalities of computer usage demonstrate its usefulness in the Learning and Teaching process (Valente, 1993). Although it is widely known that machines, such as the computer, represent technological advance and that there is, within it, a great potential as a teaching machine, this does not determine that its usage provides guarantees of development and learning of concepts. Therefore, it is necessary to plan its insertion in school practices and to do a rigorous evaluation of the softwares to be used. This way, evaluating educational software means assessing its potential as a tool for concepts learning and, thus, it's necessary the utilization of techniques and theoretical references that make possible the learning verification still during its development.

This paper has as objective the design of interface agents for an educative application that aims at the teaching of additive structures; to do so, the educative interface proposed here was developed under a constructivist perspective of learning, adopted through the use of an interaction style employed to create situations able to promote the reflection and lead the user to the review of his/her initial plans.

This interface was conceived through a methodology that privileged the identification of the use context; the analysis of competitors; quick prototyping; and qualitative analysis of the usability, communicability and learning through observation of constructivist learning criteria. During its development, the perspective of the representative users in all the development cycle was constantly taken into account, through a user-centered methodology, which employs feedbacks from the user to improve aspects related to usability and learning. The use of such methodology will make possible to line up the actions and perceptions of the user concerning his necessities towards the interface, which will be evaluated in a real use context.

Keywords: Learnware, qualitative analysis, User-Centered Design, learning evaluation, Interaction Styles, User Models, Intelligent Agents.

Agradecimentos

Agradeço primeiro a Deus, a quem devo minha própria vida. Agradeço a meus pais, João de Queiroz Chaves e Maria Luiza de Melo Queiroz, que me deram oportunidade de ter educação, princípios e exemplos de vida. Também ao meu irmão, João Augusto, que foi meu *'câmera men'* durante o primeiro teste piloto.

Agradeço ao meu orientador Alex Sandro Gomes, que, com muita paciência, dedicação e amizade, forneceu-me informações essenciais, motivadoras e esclarecedoras, sem as quais teria sido impossível a conclusão deste trabalho. Agradeço à professora Patrícia Tedesco, de quem recebi as primeiras informações sobre os trabalhos relacionados, também à professora Adja Andrade, que enviou sua tese de doutorado e da qual extraí informações preciosas, que muito contribuíram para os resultados aqui apresentados. Agradeço ao professor Francisco de Assis Tenório Cavalcanti, meu orientador na monografia apresentada ao final da graduação, o qual me forneceu informações essenciais sobre a aplicação de algoritmos de aprendizagem de máquina.

Agradeço, em particular, ao meu colega de mestrado Mauricio Braga, que, junto comigo, planejou o teste de usabilidade, construiu o protótipo em papel, escreveu os questionários aplicados aos usuários durante o teste e executou todas as filmagens, gravações e posteriores transcrições de todos os dados coletados durante o teste. Além disso, Maurício me auxiliou a refinar o processo de ajuda, fornecendo-me valiosas sugestões. Da mesma forma, outros colegas do grupo CCTE, ciências cognitivas e tecnologia educacional, contribuíram, durante nossas reuniões, com suas críticas, perguntas e sugestões.

Agradeço ao meu marido, Augusto Ribeiro, que me deu um apoio incondicional desde o início, até a fase final da dissertação, lendo-a com muita paciência.

"*Para os matemáticos, um perene problema é explicar ao grande público que a importância da Matemática vai além de sua aplicabilidade. É como explicar a alguém que nunca ouviu música a beleza de uma melodia... Que se aprenda a Matemática que resolve problemas práticos da vida, mas que não se pense que esta é a sua qualidade essencial. Existe uma grande tradição cultural a ser preservada e enriquecida, em cada geração. Que se tenha cuidado, ao educar, para que nenhuma geração torne-se surda às melodias que são a substância de nossa grande cultura matemática...*" (Gravina,1998)

Sumário

1. INTRODUÇÃO 1
ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 5
MOTIVAÇÃO E PROBLEMÁTICA 5
Pergunta *6*
Hipótese *6*
OBJETIVO GERAL DE DESIGN 6
Objetivos específicos *7*
2. ESTILOS DE INTERAÇÃO PARA INTERFACE DE SOFTWARE EDUCATIVOS 10
TIPOS DE ESTILOS DE INTERAÇÃO 13
Interfaces orientadas a comando *15*
Seleção por Menu *17*
Preenchimento de formulários *18*
Window, Icon, Menu and Pointer (WIMP) *20*
PÓS WIMP *21*
Realidade Virtual *22*
Discurso (Voz) *24*
Hipertexto *26*
Linguagem Natural *27*
Manipulação direta *28*
Jogos Educativos 32
Scaffolding *34*
Discussão sobre estratégias de Ajuda 37
Estratégias 38
Interfaces inteligentes *40*
Agentes de interface 41
Agentes Pedagógicos 43
3. REFERENCIAIS TEÓRICOS 45
TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS PARA REPRESENTAÇÃO DOS CONCEITOS OBSERVADOS NA AÇÃO DO USUÁRIO 45
ANÁLISE INSTRUMENTAL 46
ANÁLISE DA COMUNICABILIDADE 48
4. METODOLOGIA E RESULTADOS 50
IDENTIFICAÇÃO DO CONTEXTO DO USO 53
Usuários *54*
Processo de modelagem do problema *54*
Análise da tarefa 59
DIMENSÕES DA USABILIDADE ADOTADAS COMO CRITÉRIOS NA AVALIAÇÃO DA INTERFACE DO SISTEMA 61
ANALISE DOS COMPETIDORES 63
Ecolab *64*
Formas de ajuda 65
Modelo do usuário 67
AnimalWatch *69*
Formas de Ajuda 71
Modelo do usuário 76
Agente Diagnóstico *76*
Formas de Ajuda 77

Modelo do usuário 78
Síntese da análise comparativa *81*
Formas de ajuda 82
Dimensões para construção do modelo do usuário 84
PROTOTIPAGEM E PRIMEIRA VERSÃO DO PROTÓTIPO 85
Prototipagem rápida e segunda versão do protótipo *86*
Teste de usabilidade com protótipo em papel 88
Coleta dos Dados 92
ANÁLISE QUALITATIVA DE DADOS 95
Codificação temática *95*
(1) Teoremas-em-ato falsos e análise dos resultados conseguidos com a ajuda. *99*
Teorema-em-ato 1: 101
Teorema-em-ato 2: 101
Teorema-em-ato 3. 103
(2) Regras falsas de utilização da interface *105*
Regra errada 1: 105
Regra errada 2: 107
Regra errada 3: 107
Regra errada 4. 109
Regra errada 5. 112
Regra errada 6: 113
Discussão 114
(3) Análise da comunicabilidade *114*
Protocolos verbais 115
CENÁRIOS 124
Tarefa 1 ..... *124*
Cenário Atual 125
Cenário futuro positivo 131
Cenário futuro negativo 137
Tarefa 2 ..... *140*
Análise da tarefa com aprendizagem conseqüente ao uso *153*
Análise instrumental 154
Categorias presentes na análise instrumental 156
Resultados 167
Resultados sobre a adaptação dos usuários à interface *195*
5. PROPOSTA DO PROTÓTIPO 196
FORMAS DE AJUDA 196
Mensagens *196*
Automatização de passos da modelagem *198*
Mostrar modelo completo *199*
Ajuda utilizando metáforas de materiais concretos *199*
MODELO DE USUÁRIO PROPOSTO 205
Modelos estatísticos preditivos: Construção e Manutenção *208*
AGENTES INTELIGENTES 210
Tipos de Conhecimento e Raciocínio *215*
Agente Monitor *217*
Agente ZDP *222*
Agente Modelador *225*
6. CONCLUSÕES 228
CONTRIBUIÇÕES 229

TRABALHOS FUTUROS 230
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 232
8. ANEXO A - FORMULÁRIO DE CONSENTIMENTO DO PARTICIPANTE 239
9. ANEXO B – QUESTIONÁRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DO PERFIL DO PARTICIPANTE 242
10. ANEXO C – QUESTIONÁRIO DE PÓS-RESOLUÇÃO DE PROBLEMA. 247
11. ANEXO D - PÓS-ENTREVISTA (POSTERIOR À REALIZAÇÃO DO TESTE) 249

Índice de quadros

Quadro 1.1 Média de desempenho dos Alunos segundo Utilização de Computadores pelos alunos como Recurso Pedagógico por série e disciplina - Brasil - SAEB/99 4
Quadro 2.1. Categorias de Ajuda. 40
Quadro 4.1. Legenda de Vergnaud. 56
Quadro 4.2. Diagramas de composição, transformação e comparação. 56
Quadro 4.3. Informações sobre o suporte colaborativo em cada modelo. 69
Quadro 4.4. Tipos de Ajuda oferecida pelo Agente Diagnóstico. 77
Quadro 4.5. Modelo do usuário utilizado pelo Agente Diagnóstico. 79
Quadro 4.6. Dimensões para o modelo do usuário extraídas do Agente Diagnóstico. 81
Quadro 4.7. Comparação das ajudas fornecidas pelos competidores. 82
Quadro 4.8. Formas de 'Ajuda Parcial' extraídas da análise de competidores 82
Quadro 4.9. Ajuda Total extraída da análise dos competidores 83
Quadro 4.10. Modelo do usuário, extraídas a partir análise dos competidores. 84
Quadro 4.11. Invariantes verdadeiros mobilizados durante o uso do Gerard. 97
Quadro 4.12. Sinais utilizados nas transcrições. 99
Quadro 4.13. Incremento de interação após mobilização do teorema-em-ato 2. . 101
Quadro 4.14. Incremento de interação após mobilização do Teorema-em-ato 3. 101
Quadro 4.15. Inc. de interação, após mobilização do Teorema-em-ato 4. 104
Quadro 4.16. Inc. de interação. Ajuda após mobilização da Regra em ação 1. ... 105
Quadro 4.17. Incremento de interação. Ajuda após mobilização do Regra errada 1 106
Quadro 4.18. Inc. de interação. Ajuda após mobilização Regra errada 2. 107
Quadro 4.19. Incrementode interação. Ajuda após mobilização da Regra errada 3. 108
Quadro 4.20. Incremento de interação após a mobilização da Regra errada 3..... 109
Quadro 4.21. Inc. de interação, após mobilização da Regra errada 4. 110
Quadro 4.22. Incremento de interação, após mobilização da Regra errada 4 111
Quadro 4.23. Incremento de interação, após mobilização do Regra errada 5. 112
Quadro 4.24. Inc. de interação após mobilização da Regra errada 6. 113
Quadro 4.25. Necessidades de comunicação. 115
Quadro 4.26. Necessidade de mais ajuda. 115
Quadro 4.27. Necessidade De mais ajuda 116
Quadro 4.28. Necessidade de mais ajuda 117
Quadro 4.29. Necessidade De mais ajuda 118
Quadro 4.30. Necessidade de receber indicativo de sucesso em cada etapa. 119
Quadro 4.31. Necessidade de saber qual o próximo passo da modelagem. 119
Quadro 4.32. Necessidade de saber o que deve ser feito. 120
Quadro 4.33. Necessidade de saber o que deve ser feito. 120
Quadro 4.34. Necessidade de Informação sobre a legenda. 121
Quadro 4.35. Necessidade de informação sobre a legenda. 121
Quadro 4.36. Necessidade de Informação sobre a legenda 121
Quadro 4.37. Necessidade de Informação sobre a metáfora. 122
Quadro 4.38. Necessidade de Informação sobre a metáfora. 122
Quadro 4.39. Necessidade de Informação sobre a metáfora. 123

Quadro 4.40:Necessidades que emergiram a partir das ações. 130
Quadro 4.42: Necessidades que surgiram do cenário negativo 139
Quadro 4.43:Necessidades que emergiram do cenário futuro negativo. 148
Quadro 4.44: Necessidades que surgiram a partir do cenário futuro negativo..... 153
Quadro 4.45. Ação Instrumental. 156
Quadro 4.46. Tarefas executadas durante a resolução dos problemas. 158
Quadro 4.47. Características dos usuários. 159
Quadro 4.48. Problemas utilizados na Análise Instrumental. 160
Quadro 4.49. Artefatos identificados na interface 161
Quadro 4.50. Regras de utilização dos artefatos. 163
Quadro 4.51. Teoremas-em-ato identificados. 164
Quadro 4.52. Objetos identificados. 166
Quadro 4.53. Análise da tarefa. Usuário 05 e problema 03. 168
Quadro 4.54. Usuário 01 resolvendo problema 02. 176
Quadro 4.55. Usuário 01 resolvendo problema 04. 182
Quadro 4.56. Usuário 02 resolvendo problema 01. 188
Quadro 4.57. Usuário 02 resolvendo problema 03 191
Quadro 5.1. Dimensões para o modelo do usuário. 205
Quadro 5.2. Necessidades do tutor. 212

Índices de Figuras

Figura 1.1 Técnicas utilizadas para alcançar os dois primeiros objetivos específicos. 8
Figura 1.2. Técnicas utilizadas para alcançar os dois últimos objetivos específicos. 8
Figura 2.1. Usuário, Quintana (2000)..... 11
Figura 2.2. Aprendiz, Quintana (2000)..... 11
Figura 2.3. Interação entre o usuário e o sistema, (de Souza 2001). 14
Figura 2.4. Exemplo de interface que utiliza linguagem de comandos. 15
Figura 2.5. Interface em linguagem de comandos facilitada pelo uso de menu. 16
Figura 2.6. Interface educativa utilizando linguagem de comandos. 17
Figura 2.7. Tipos de menu. 18
Figura 2.8. Exemplo de resolução de problemas com preenchimento de formulário 19
Figura 2.9. Interface WIMP..... 20
Figura 2.10.Um *widget* 3D. Fonte: (Van Dam, 1997). 21
Figura 2.11. O *Wearable Computers* Xybernaut Corp's. Permite enviar coberturas de eventos ao vivo pela Internet. 22
Figura 2.12. Crianças representadas por avatares no jardim do NICE. 23
Figura 2.13.Exemplo de assistência de Voz usada no ConPalabras..... 25
Figura 2.14. Exemplo de como criar uma unidade didática. 26
Figura 2.15. Hipertexto para o ensino do cálculo. 27
Figura 2.16. Logical Journey of Zoombinis 33
Figura 2.17. Interação entre indivíduos. Figuras presentes no Clip-art do Windows. .. 35
Figura 2.18. Metáfora do andaime instrucional. (Tejeda, 2003) 36
Figura 3.1. Estrutura do instrumento com esquema proposto por Vergnaud 48
Figura 4.1. ISO 13407. 51
Figura 4.2. Metodologia adotada na pesquisa. 52
Figura 4.3. Análise dos possíveis erros e dos momentos de ajuda. 58
Figura 4.4:Ontologia do GTA. 59
Figura 4.5. Tarefas realizadas durante a modelagem do problema. 60
Figura 4.6. Objetos presentes na tarefa..... 60
Figura 4.7. Eventos que podem ocorrer durante a execução da tarefa. 61
Figura 4.8. Objetivos da Análise qualitativa. 63
Figura 4.9. Análise da tarefa do *AnimalWatch* com o Euperte..... 70
Figura 4.10. Escolha do tema no AnimalWatch. 71
Figura 4.11. Ajuda numérica formal para resolução de problemas sobre fração 73
Figura 4.12. Material Dourado. 74
Figura 4.13. Ajuda concreta oferecida pelo *AnimalWatch* após o terceiro erro. 76
Figura 4.14. Gerard, desenvolvido em JAVA. 86
Figura 4.15. Protótipo em Flash oferecendo ajuda para problema de composição. 87
Figura 4.16. Procedimentos realizados durante o teste de usabilidade. 90
Figura 4.17. Seqüência de ações realizadas para refinar a ajuda. 98
Figura 4.18: Figura correspondente a tela visualizada pelo usuário..... 126
Figura 4.19. Mensagem recebida após erro na escolha da legenda. 126
Figura 4.20. Mensagem para erro de posicionamento das partes da composição. 127
Figura 4.21. Mensagem para erro de resultado da composição..... 128
Figura 4.22. Ajuda concreta para a composição..... 129
Figura 4.23. Conclusão da ajuda concreta para a composição. 130
Figura 4.24. Interface com o requisito funcional 1.1 e 1.2. 132
Figura 4.25. Erro de legenda com requisito funcional 1.1. 132

Figura 4.26. Tarefa 1 contendo os requisitos funcionais 1.1 e 1.2 133
Figura 4.27 Posicionamento correto da parte 134
Figura 4.28. Feedback para o erro em encontrar o todo da composição. 135
Figura 4.29. Ajuda concreta para a composição com RF 1.2,1. 1 2 e 1.4 136
Figura 4.30. Conclusão da ajuda concreta para composição RF 1.1, 1.2, 1.4. 137
Figura 4.31. Escolha da legenda para a composição num cenário negativo. 138
Figura 4.32. Feedback para automatização de passos da modelagem. 139
Figura 4.33. Interface para a tarefa 2. 141
Figura 4.34. Inicio da modelagem da transformação 142
Figura 4.35. Erro na associação do estado inicial 142
Figura 4.36. Ajuda para o erro na associação do número relativo. 143
Figura 4.37. Inserção do resultado da operação de Transformação 144
Figura 4.38. Erro na inserção do resultado na Transformação. 145
Figura 4.39. Ajuda para a tarefa de transformação negativa 146
Figura 4.40. Conclusão da criação de quadradinhos. 147
Figura 4.41. Conclusão da ajuda para a operação de transformação negativa. 148
Figura 4.42. Interface contendo os RF 1.6 e 1.7 150
Figura 4.43. Tarefa 2 com RF 1.6, 1.7 e 1.8 150
Figura 4.44. Tarefa 2 com todos os requisitos até 1.10. 151
Figura 4.45. Ontologia da Teoria Instrumental. 155
Figura 4.46. Usuário 05 resolvendo o problema 05. 173
Figura 4.47. Plano executado pelo usuário 01 na execução do problema 02 180
Figura 4.48. Plano executado pelo usuário 01 na resolução do problema 04 186
Figura 4.49. Plano parcialmente ordenado do Quadro 59 194
Figura 5.1. Exemplo do digrama de Euler Vein. 201
Figura 5.2. Ajuda concreta para transformação negativa. 202
Figura 5.3. Ajuda concreta para transformação positiva 203
Figura 5.4. Ajuda para comparação. 204
Figura 5.5. Adaptação do usuário à interface. 208
Figura 5.6. Exemplo de arvore de decisão 209
Figura 5.7. Objetivos na resolução de problemas. 214
Figura 5.8. Arquitetura de Agentes. 216
Figura 5.9. Ações do Agente Monitor. 218
Figura 5.10. Exemplo de estado do ambiente. 219
Figura 5.11. Quantidade de estados possíveis no ambiente do Agente Monitor. 220
Figura 5.12. Arquitetura de Agente Reativo Simples 222
Figura 5.13. Ações do Agente ZDP 223
Figura 5.14. Arquitetura de Agente baseada em modelo. 225
Figura 5.15. Ações do Agente Modelador. 226

1. Introdução

É notória a fascinação e o poder que o computador tem sobre os alunos e professores. A maioria, se não todas as escolas particulares, já possuem laboratórios equipados com computadores. Esse, também é um direcionamento seguido pelas escolas públicas que, através do Ministério da Educação, já começam a se equipar com laboratórios de informática e com a compra de *softwares* educativos para os mais variados fins, desde o ensino infantil até o superior (Vieira, 1999). Este poder e fascinação trazem consigo a idéia de que a simples existência de laboratórios com computadores é suficiente para aumentar a eficácia das práticas escolares em qualquer nível de ensino. Contrariamente, as evidências demonstram que a contribuição desses equipamentos no dia-a-dia da sala de aula ainda é muito tímida. Os laboratórios são pouco usados, ou subutilizados, e os computadores servem apenas como máquinas que possuem programas divertidos e agradáveis (Vieira, 1999).

Dessa forma, os professores devem estar atentos para garantir que o uso de computadores seja útil e com potencialidades pedagógicas verdadeiras. Para tanto, os Núcleos de Tecnologia Educacional do PROINFO-MEC formam profissionais multiplicadores em cujas tarefas está a avaliação crítica de *softwares* educativos. Embora o computador na educação seja utilizado para o ensino de diversos aplicativos, segundo Valente (1993) "*para a implantação do computador na educação são necessários basicamente quatro ingredientes: o computador, o software educativo, o professor capacitado para usar o computador como meio educacional e o aluno*".

A quantidade de programas educacionais e as diferentes modalidades do uso do computador demonstram sua utilidade no processo de ensino e aprendizagem (Valente, 1993). Embora seja notório que o computador representa avanço tecnológico e que existe, nele um grande potencial como máquina de ensinar, isso não determina que o seu uso ofereça garantias de desenvolvimento e aprendizagem de conceitos. É necessário, portanto, planejar sua inserção nas práticas escolares e fazer uma avaliação criteriosa dos softwares que serão utilizados. No caso de softwares educativos, avaliar significa analisar como um software pode ter um uso educacional, como ele pode ajudar o aprendiz a construir seu conhecimento (Vieira, 1999).

Dessa forma, avaliar um software educativo significa estimar o seu potencial enquanto ferramenta para aprendizagem de conceitos e, sendo assim, faz-se necessário adotar mecanismos de verificação da aprendizagem ainda durante o seu desenvolvimento, uma vez que a literatura da área comprovou que, em sua maioria, eles não atendem ao requisito não funcional de aprendizagem, pois não são desenvolvidos considerando a perspectiva do estudante (Gomes, 2002).

Em particular para o ensino da matemática, um software educativo deve possuir em seus projetos recursos em consonância com concepção de aprendizagem dentro de uma abordagem construtivista, a qual tem como princípio que o conhecimento é construído a partir de percepções e ações do indivíduo (Gravina, 1998). Portanto um software educativo proposto para ser construtivista deve proporcionar ao aprendiz a chance de aprender com seus próprios erros (Vieira, 1999).

Para Gravina (1998), o fazer matemática no processo de ensino de jovens está relacionada à construção e simulação de objetos concretos, representantes de conceitos abstratos metaforicamente na interface de sistemas interativos e submetidos às ações do estudante. Essas ações são concretizadas na interface através do uso de um estilo de interação e, dessa forma, o estilo de interação utilizado no desenvolvimento da interface influencia seu potencial para aprendizagem de conceitos (Holst, 1996; O'Hara e Payne, 1998; Sedighian *et al.*, 1997; Inkpen, 2001; Sedig; Klawe; Westrom, 2001).

Aprender Matemática é um desafio para a maioria dos estudantes, em particular no Brasil, onde o ensino fundamental possui muitas deficiências, segundo o INEP (2003), 59% dos alunos brasileiros chegam à 4ª série do ensino fundamental sem terem desenvolvido competências e habilidades elementares de leitura, e 52% desses mesmos alunos demonstram profundas deficiências em matemática. Nesse cenário, o software educativo pode ser inserido como uma atividade extra, dentro do processo de ensino e aprendizagem.

Anteriormente ao INEP (2003), o relatório do Programa Nacional de Avaliação da Educação Básica (SAEB,1999) já apresentara um dado interessante, no que diz respeito ao uso de computadores em sala de aula como recurso didático-pedagógico.

No Quadro 1.1 abaixo, que apresenta dados da média do desempenho dos alunos

conforme a utilização do computador como recurso pedagógico, fica evidente uma diferenciação crescente do nível de desempenho alcançado pelas turmas que utilizam os computadores, sobre as turmas que não utilizam esse recurso tecnológico. Apesar de baixos, os índices de desempenho alcançados pelos alunos da educação básica, nos três níveis de ensino investigados (ensino fundamental I, II e ensino médio), todas as turmas que utilizam o computador como recurso pedagógico apresentaram um índice desempenho superior às turmas que não utilizam recurso com fins educacionais.

Quadro 1.1 Média de desempenho dos Alunos segundo Utilização de Computadores pelos alunos como Recurso Pedagógico por série e disciplina - Brasil - SAEB/99[1]

Disciplina	Série	Desempenho segundo utilização de computadores pelos alunos	
		Sim, uso.	Não, a escola não tem ou tem, mais não usa.
Língua Portuguesa	4ª E.F.	186,59	167,13
	8ª E.F.	236,45	229,02
	3ª E.M.	272,40	262,07
Matemática	4ª E.F.	200,29	177,63
	8ª E.F.	254,48	241,26
	3ª E.M.	285,95	273,22
Fonte: MEC/INEP/DAEB			

Outra razão que permeia a delimitação dessa investigação, para a área da matemática, é proveniente da condição de constância, mantida em relação aos elevados índices de fracasso escolar alcançados por alunos da rede pública no Brasil.

Dados do SAEB (2001) denotam uma tendência de estabilidade em relação à avaliação realizada em 1999, em todas as séries e disciplinas, à exceção da 4ª série do Ensino Fundamental, que obteve, tanto em Matemática quanto em Língua Portuguesa, resultados ligeiramente inferiores em algumas regiões. È o caso da região Nordeste que

[1] Relatório mais atual sobre a avaliação quanto ao nível de desempenho quanto ao uso do computador. O SAEB 2001 não considerou o uso do computador com critério.

apresenta 69% de alunos abaixo do nível de desempenho 4. Pernambuco, entre outros estados da região Norte e Nordeste, encontra-se abaixo da média Nacional.

A partir do exposto, propõe-se o desenvolvimento de uma interface educativa para o ensino das estruturas aditivas desenvolvida sob a perspectiva construtivista de aprendizagem, adotada através do uso de um estilo de interação utilizado para criar situações capazes de promover a reflexão e conduzir o usuário à revisão dos seus planos iniciais.

Essa interface foi concebida interativamente, por meio de uma metodologia, que contemplou a identificação do contexto de uso; a análise de competidores; prototipagem rápida e a análise qualitativa da usabilidade, comunicabilidade e aprendizagem, através da observação dos critérios construtivistas de aprendizagem. Durante o seu desenvolvimento, considerou-se, constantemente, a perspectiva dos usuários representativos em todo o ciclo de desenvolvimento, utilizando-se uma metodologia centrada no usuário. O uso de tal metodologia irá possibilitar alinhar as ações e percepções do usuário acerca da interface, às suas necessidades, as quais serão avaliadas em um contexto de uso real.

Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada da forma apresentada a seguir. No capítulo um, apresentamos uma introdução contendo as idéias gerais que serão discutidas ao longo da dissertação, a motivação juntamente com a discussão da problemática, bem como, os resultados esperados após a conclusão da pesquisa. No capitulo dois, serão apresentados os Estilos de interação possíveis para interface de software educativo. No capítulo três, discutir-se-á os referenciais teóricos. No capítulo quatro, serão apresentados os resultados obtidos em cada fase da pesquisa. No capítulo cinco, serão apresentadas as propostas e no capítulo seis as conclusões, bem com a discussão dos resultados e identificação dos pontos que serão tratados em trabalhos futuros.

Motivação e Problemática

A motivação para a construção de uma interface educativa, que oferece ajuda durante a resolução de problemas do campo conceitual das estruturas aditivas, surgiu tanto, dos (1) resultados apresentados pela educação fundamental do Brasil, quanto das (2)

pesquisas realizadas sobre o impacto dos softwares educativos. No primeiro caso, os boletins sobre o desempenho dos alunos brasileiros enfatizam que 59% destes chegam à 4ª série do ensino fundamental sem terem desenvolvido competências e habilidades elementares de leitura e 52% desses mesmos alunos, demonstram profundas deficiências em matemática (SAEB, 2001). No segundo caso, a literatura sobre software educativo comprovou que, em sua maioria, eles não atendem ao requisito não funcional de aprendizagem, uma vez que não são desenvolvidos considerando a perspectiva do estudante (Gomes, 2002). Diante do exposto, formulamos nossa pergunta de pesquisa.

Pergunta

A utilização de uma interface educativa com geração inteligente de *feedback* promoveria melhorias na qualidade da interface (usabilidade) e na aprendizagem dos conceitos veiculados pela interface sobre o campo conceitual das estruturas aditivas?

Hipótese

Nesta pesquisa, formulamos a hipótese alternativa de que a atuação de uma sociedade de agentes que ofereça ajuda em uma interface gráfica de software educativo num ambiente e, que considera as diferentes capacidades cognitivas dos indivíduos, irá melhorar os aspectos relativos à usabilidade e à aprendizagem de conceitos específicos. Conforme discutidas em Gomes (2002), os motivos dos softwares educativos ainda não serem utilizados na prática docente estão relacionados com a baixa qualidade de suas interfaces, que não atendem às necessidades de diferentes usuários.

Essa hipótese será apenas avaliada qualitativamente e não será testada quantitativamente, ficando esse teste para um trabalho futuro. Utilizaremos apenas a descrição de comportamentos dos usuários momentos antes e depois de receberem a ajuda, para descreverem incrementos na usabilidade e na aprendizagem de conceitos.

Objetivo Geral de Design

O objetivo geral deste trabalho é o projeto de agentes de interface para uma aplicação educativa que visa ao ensino de estruturas aditivas.

Objetivos específicos

- Gerar requisitos para a construção de uma interface e de uma sociedade de agentes de interface com uma proposta de mecanismo de *Scaffolding* a partir de técnicas de prototipagem rápida de baixa fidelidade.

- Identificar as necessidades dos usuários da interface com relação aos tipos de retornos *feedback* que melhorem a usabilidade geral do sistema (tipos de erro de utilização e aprendizagem de conceitos matemáticos sobre estruturas aditivas).

- Propor modelos de usuário considerando - se a análise dos dados da pesquisa qualitativa para apoio à tomada de decisão.

- Definir as arquiteturas da sociedade de agentes.

A seguir, a Figura 1.2 representa as técnicas utilizadas partindo-se de cada objetivo específico aqui apresentado.

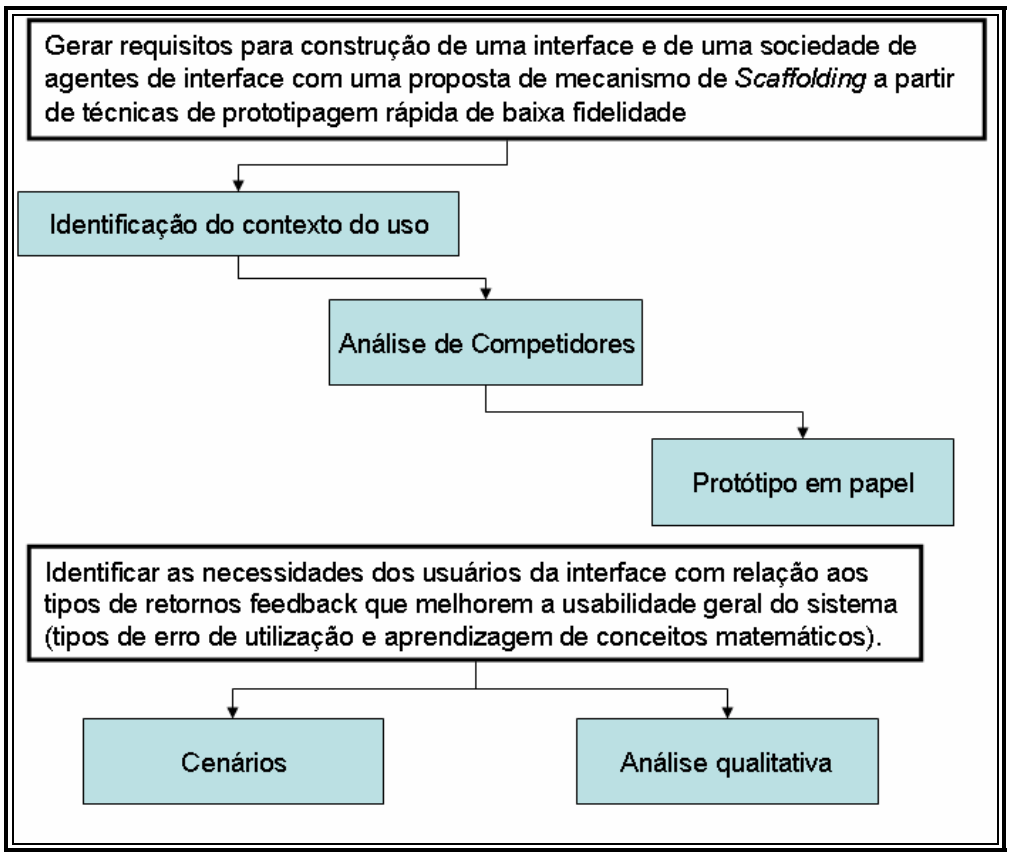


Figura 1.1 Técnicas utilizadas para alcançar os dois primeiros objetivos específicos.

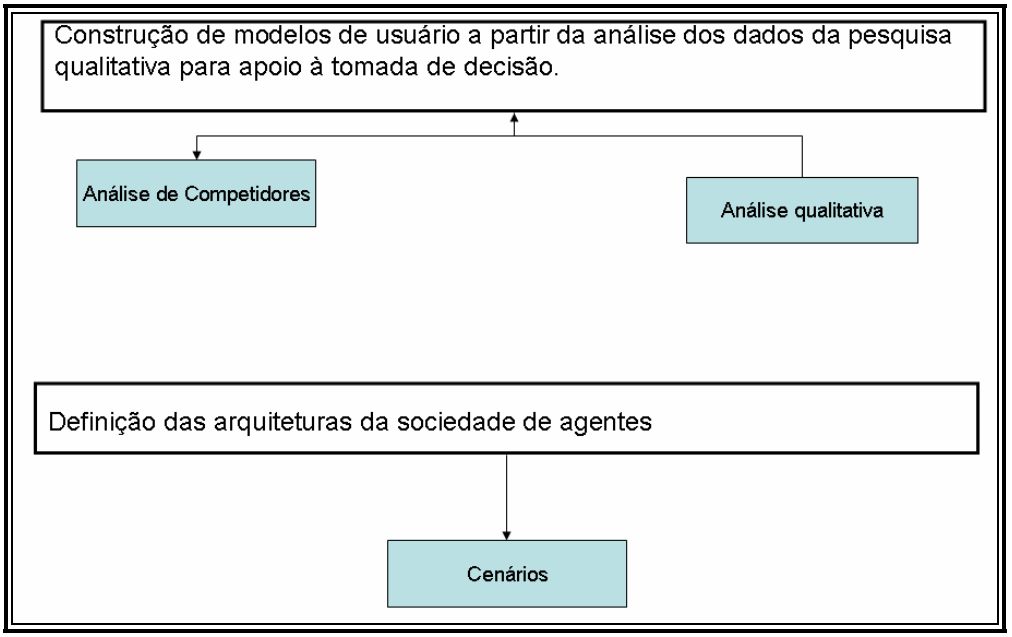


Figura 1.2. Técnicas utilizadas para alcançar os dois últimos objetivos específicos.

Na Figura 1.1 e na Figura 1.2, fizemos um mapeamento entre os objetivos específicos e as técnicas utilizadas durante a metodologia. Na primeira figura, temos os dois primeiros objetivos. Para alcançar o primeiro, executamos uma seqüência de técnicas, que são dependentes, Na figura; no segundo, não existe dependência entre as técnicas utilizadas. Na segunda figura, temos os dois últimos objetivos. Para alcançar o primeiro, foram aplicadas duas técnicas independentes e para o segundo foi aplicada apenas uma técnica.

2. Estilos de Interação para Interface de Software Educativos

Neste capítulo, apresentaremos algumas formas de implementação de estilos de interação em softwares educativos e discutiremos o esforço cognitivo conseqüente do uso de um software educativo, em função dos diferentes tipos de estilos de interação. Avaliaremos os estilos aqui discutidos, quanto ao seu papel no processo de ensino e aprendizagem de conceitos no uso de interfaces educativas. Numa definição geral, entende-se por software educacional ou Learnware todos os programas projetados para servir como mediadores entre o aprendiz e o conhecimento, facilitando o aprendizado dos conceitos veiculados na interface. Portanto, não se trata apenas de aprender a FAZER algo, mas de aprender para APRENDER algum conceito.

Segundo Quintana (2000), o processo de design de software distingue-se em função dos usuários finais para os quais foram projetados. Segundo o mesmo autor, usuários são pessoas que conhecem o domínio da tarefa em execução e usam o computador apenas para ajudá-los a completar sua tarefa de maneira fácil e eficiente, enquanto os aprendizes são pessoas que estão sendo treinadas para adquirir habilidades em domínios novos e desconhecidos (*Ibid*). As Figura 2.1 e Figura 2.2 exibem uma representação do usuário e do aprendiz segundo Quintana (2000).

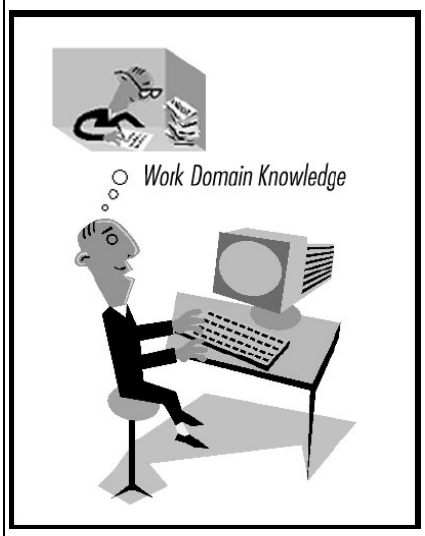


Figura 2.1. Usuário, Quintana (2000)

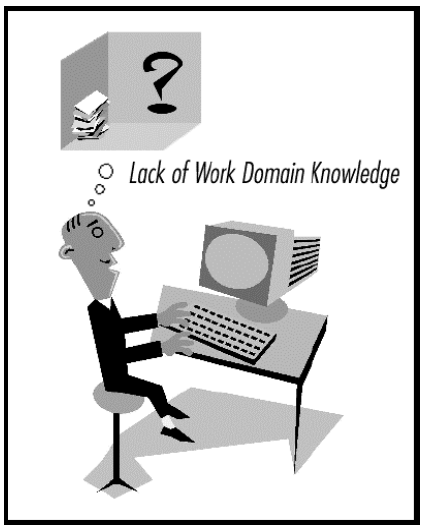


Figura 2.2. Aprendiz, Quintana (2000)

No que diz respeito ao uso de tecnologias no ensino, Vieira (1999) afirma que "*a idéia de que o computador facilita o processo de ensino-aprendizagem está ligada à generalização do fato de que o computador entrou na vida do homem para facilitar*". A mesma autora complementa dizendo que, além de facilitar o processo de aprendizagem, o uso do computador tem como objetivo ajudar na construção do processo de conceituação e no desenvolvimento de habilidades importantes para que o aprendiz participe da sociedade do conhecimento. Uma escola compatível com a sociedade do conhecimento deve criar um ambiente de aprendizagem que propicie a experiência do "*empowerment*" (oportunidade dada às pessoas para compreenderem o que fazem e perceberem que são capazes de produzir algo que era considerado impossível) (Valente 1998 *apud* Vieira 1999). Dessa forma, segundo Vieira (1999), "*as experiências comprovam que em um ambiente rico, desafiador e estimulador, qualquer individuo será capaz de aprender algo sobre alguma coisa*".

Em particular para o ensino da matemática, pretende-se identificar 'o que de diferente' oferecem os ambientes informatizados que há à disposição atualmente e o que estas diferenças trazem de significativo para o processo de ensino e aprendizagem (Gravina, 1998). A mesma autora, em seu trabalho intitulado A Aprendizagem Matemática em

Ambientes Computacionais, conclui que:

"*Não são de interesse as ferramentas que guardam características de métodos de ensino que privilegiam simplesmente a transmissão de conhecimento e em que a 'medida' de aquisição deste conhecimento é dada pela habilidade do aluno em memorizá-lo e reproduzi-lo, sem que se evidencie um verdadeiro entendimento. Mas sim aquelas que trazem em seus projetos recursos em consonância com concepção de aprendizagem dentro de uma abordagem construtivista, a qual tem como princípio que o conhecimento é construído a partir de percepções e ações do indivíduo, constantemente mediadas por estruturas mentais já construídas ou que vão se construindo ao longo do processo*". (*Ibid*)

Sendo assim, a mesma autora conclui que a aprendizagem de conceitos em interfaces educativas acontece a partir da exposição do aprendiz em situações que promovam o 'fazer matemática': experimentar, interpretar, visualizar, induzir, conjeturar, abstrair, generalizar e enfim demonstrar (*Ibid*). A Matemática é, portanto, uma ferramenta para o entendimento de problemas nas mais variadas áreas do conhecimento. Fórmulas, teoremas e, mais comumente, teorias matemáticas são usados na resolução de problemas práticos e na explicação de fenômenos nas mais variadas áreas do conhecimento (*Ibid*).

Os ambientes informatizados apresentam-se como ferramentas de grande potencial frente aos obstáculos inerentes ao processo de aprendizagem de conceitos matemáticos, pois eles possibilitam a construção e simulação de objetos concretos, representados metaforicamente na interface e submetidos às ações dos estudantes, durante seu processo de 'fazer matemática' (Gravina, 1998). A velocidade de criações e simulações oferecida pela tecnologia educativa favorece uma grande variedade de experimentos em pouco tempo, o que não acontece na manipulação de objetos concretos (*Ibid*). Além disso, segundo Norman (1986), a interface entre usuários e sistemas computacionais diferencia-se das interfaces de máquinas convencionais por exigir dos usuários um maior esforço cognitivo em atividades de interpretação e expressão das informações que o sistema processa.

Para verificar que de fato o estilo de interação influencia o esforço cognitivo, avaliemos os resultados obtidos por O'Hara e Payne, (1998). Em seus experimentos, esses autores

fizeram observações de resolução de problemas para obter resultados quantitativos do esforço cognitivo exigido durante a resolução de tais problemas. Segundo Larkin, (1989; Payne, 1991 *apud* O'Hara e Payne, 1998), a resolução de problemas é feita freqüentemente através de exposições externas. As exposições variam desde as representações simples de papel e lápis até as exposições dinâmicas mais complexas encontradas nos dispositivos interativos atuais. Sendo assim, O'Hara e Payne, (1998) propuseram um experimento para verificar a hipótese de que a adoção de um operador incremental de custo, no estilo de interação, tem conseqüências sobre o planejamento mental realizado durante a resolução de problemas. Como resultado, os autores demonstraram que o planejamento, executado durante a resolução de problemas, é influenciado por um operador de custo associado ao estilo de interação e que a quantidade de tempo e de esforço cognitivo gastos, durante o planejamento e nas circunstâncias do seu experimento, foram dependentes do ambiente utilizado para resolver os problemas propostos. Concluindo, os autores dizem que "*O projeto de ambientes instrutivos deve de algum modo incentivar o uso de recursos mentais*". (O'Hara e Payne, 1998; p. 57).

Tipos de estilos de interação

Antes de iniciarmos a discussão sobre os estilos de interação e seu papel na promoção do aprendizado no uso de interfaces educacionais, queremos chamar a atenção para dois pontos:

- O primeiro é que a aprendizagem de conceitos matemáticos que buscamos com esse trabalho acontece através da exposição do estudante a situações promotoras de sentido, as quais o conduzam à construção de hipóteses, sendo capazes de fazê-lo revisar seus planos iniciais, e avaliar suas crenças acerca do domínio estudado (Self, 1990), e sobre a tarefa em execução.

- O segundo ponto a ser considerado é que essa revisão de planos iniciais ou "replanejamento" necessária em ambientes educativos O'Hara e Payne (1998) será favorecida pelo estilo de interação escolhido, que será refinado a partir dos resultados obtidos durante a metodologia. Sendo assim, apresentaremos alguns estilos discutindo sua aplicação em ambientes educativos.

Segundo de Souza (2001), as interfaces atuam como meio de comunicação entre os sistemas e os seres humanos, dessa forma, a interface pode ser tanto um meio para a interação usuário-sistema quanto uma ferramenta que oferece os instrumentos para esse processo comunicativo. Em Preece *et al.*,(1994); Shneiderman, (1998 *apud* de Souza, 2001) já haviam definido estilo de interação como um termo genérico que inclui todas as formas como os usuários se comunicam ou interagem com sistemas computacionais. Sendo assim, "*a interação é um processo que engloba as ações do usuário sobre a interface de um sistema e suas interpretações sobre as respostas reveladas por esta interface*" (de Souza, 2001; p.4).

Além do conceito de estilo de interação, de Souza, (2001) destaca o conceito de paradigma de interação, que segundo a autora também determina como um usuário interage com o sistema. Um paradigma de interação indica a ordem em que os elementos envolvidos em uma operação são selecionados ou acionados pelo usuário. Este paradigma pode ser ação+objeto ou objeto+ação. No primeiro caso, o usuário tipicamente seleciona a operação a ser realizada e, em seguida, o objeto sobre o qual deve atuar. No segundo caso, o usuário seleciona inicialmente o objeto e, em seguida, a operação que deseja realizar sobre ele (*Ibid*).

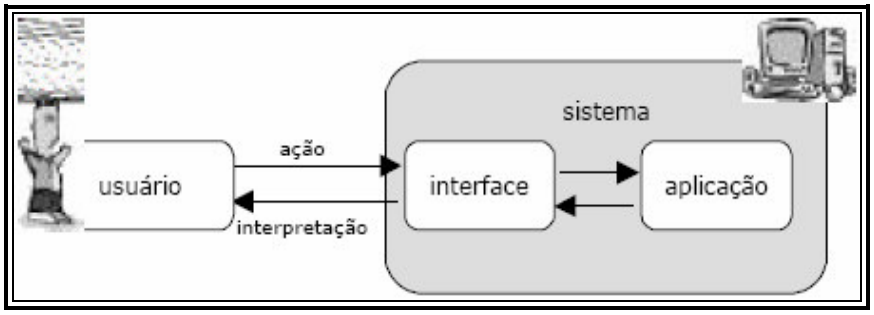


Figura 2.3. Interação entre o usuário e o sistema, (de Souza 2001).

Estilo de interação é o termo usado para classificar os tipos de interfaces existentes, as quais utilizam formas diferentes para interação com o usuário. Tendo em vista que as ações do estudante, na interface educativa, acontecem através do uso de algum estilo de interação com a mesma, procederemos à discussão acerca do papel de cada estilo de interação, considerando o seu uso em ambientes educacionais. A seguir, apresentaremos alguns estilos de interação e mostraremos exemplos do seu uso para softwares educativos.

Interfaces orientadas a comando

As interfaces baseadas em linguagens de comandos de texto proporcionam ao usuário a possibilidade de enviar instruções diretamente ao sistema através de comandos específicos (Preece *et al.*, 1994 *apud* de Souza 2001). Esses comandos podem ser representados por caracteres ou conjunto de caracteres, que, quando utilizados, comunicam uma instrução direta para o sistema, fazendo-o executar alguma tarefa. Embora os comandos na forma de caracteres sejam disparados com um menor número de teclas digitadas, tais comandos são mais difíceis de lembrar se comparados a nomes ou abreviações bem escolhidas(de Souza, 2001).

Segundo Shneirdermam (1998), a aprendizagem humana, a resolução de problemas e a memorização são muito facilitadas por uma estrutura com significado claro. Se a linguagem de comandos está bem projetada, os usuários podem reconhecer sua estrutura e facilmente adquirir habilidade para usar sua sintaxe. Por exemplo, se o usuário puder editar objetos tais como: caracteres, textos, sentenças, parágrafos e capítulos utilizando um padrão, esse padrão será fácil de aplicar, aprender e reconhecer (*Ibid*). A seguir a Figura 2.4 contém um exemplo de um ambiente com linguagem de comandos.

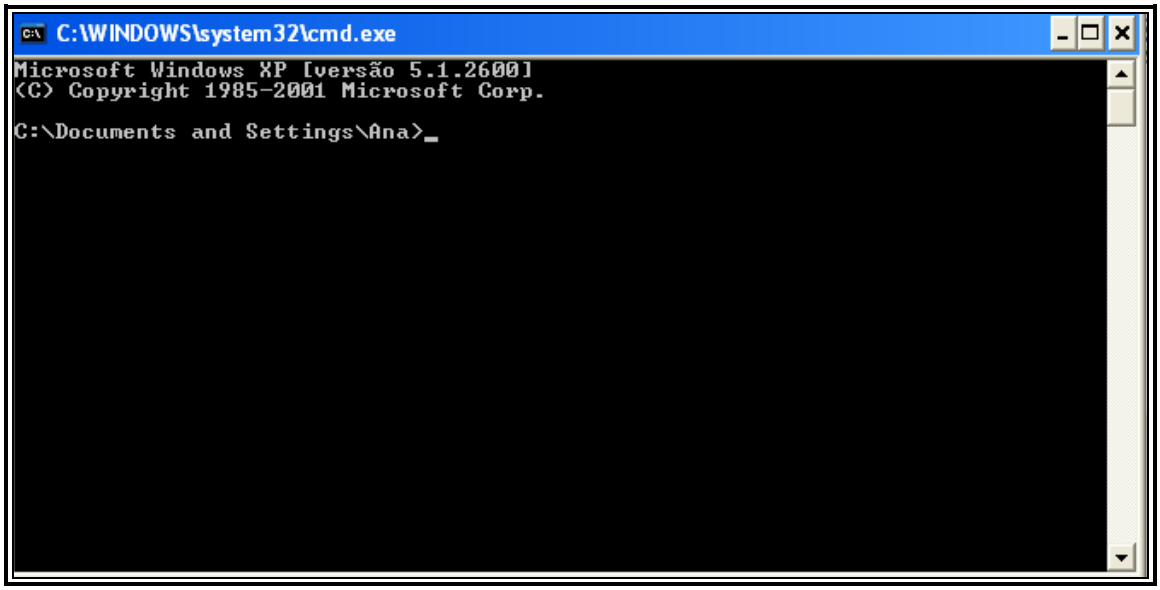


Figura 2.4. Exemplo de interface que utiliza linguagem de comandos.

Algumas interfaces com linguagem de comandos utilizam menus, que facilitam o seu uso, pois os menus possibilitam oferecer uma lista dos comandos, minimizando o esforço para memorizá-los. A seguir, a Figura 2.5 contém um exemplo de menus

utilizados para categorizar os comandos.

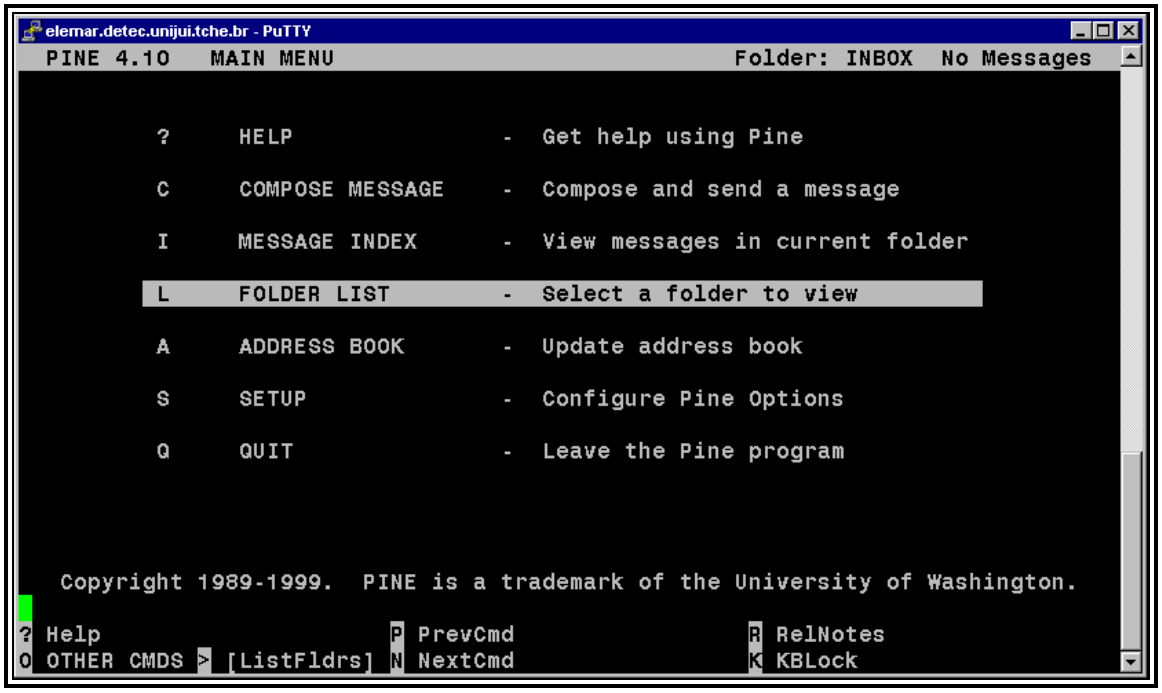


Figura 2.5. Interface em linguagem de comandos facilitada pelo uso de menu.

A seguir temos um exemplo do uso de interfaces com linguagem de comandos para ambientes educativos.

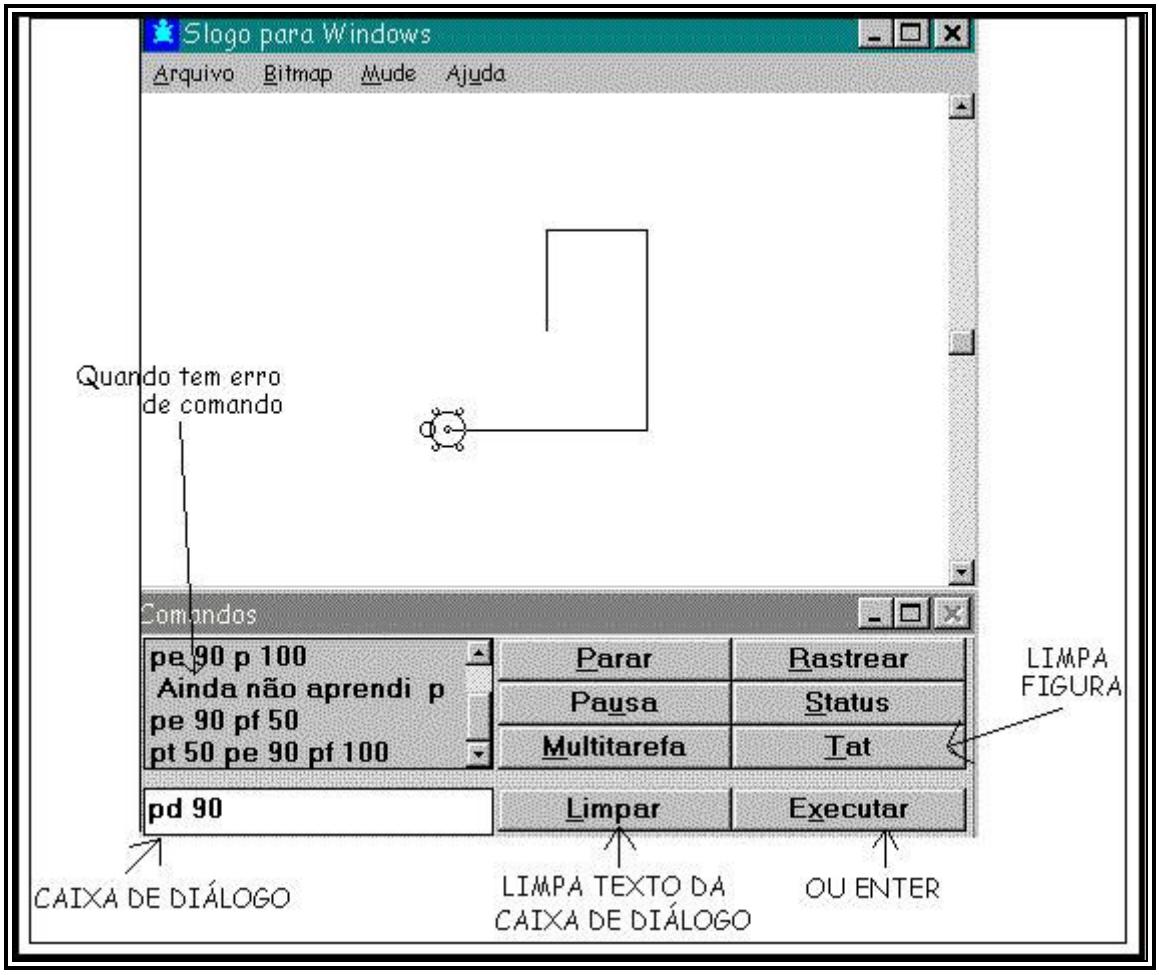


Figura 2.6. Interface educativa utilizando linguagem de comandos.

Os micromundos, exemplificados na Figura 2.6, foram criados para desenvolver habilidades cognitivas no aluno e para proporcionar o pensamento reflexivo (Giraffa, 1999) através de uma linguagem de programação com sintaxe simplificada, que possibilita a construção de soluções para os problemas propostos; os alunos trabalham basicamente com a solução de problemas.

Seleção por Menu

Quando os designers não conseguem criar uma estratégia apropriada de manipulação direta, o uso de menus e preenchimento de formulários podem ser uma alternativa (Shneiderman, 1998). Enquanto os primeiros sistemas utilizavam menus numerados de tela inteira, os sistemas atuais utilizam menus modernos, geralmente são *pulldowns*, *check boxes,* ou *radio buttons* em caixas de diálogos. Um *menu* é um conjunto de opções apresentadas na tela, no qual a seleção de uma ou mais opções resulta em uma

mudança no estado da interface (Paap, Roske-Hofstrand, 1988 *apud* de Souza, 2001).

Nesse estilo de interação, os usuários não precisam lembrar o item que desejam; basta apenas reconhecê-lo (Shneiderman, 1998). Os menus refletem a organização da tarefa, através da classificação de tais tarefas (*Ibid*). No entanto o uso de tais estruturas não é garantia de que a interface será atraente e fácil de usar, pois é necessário fazer algumas considerações, como por exemplo, organizar a tarefa relacionada com a interface e definir a seqüência das tarefas e subtarefas. Além disso, para que esse estilo de interação seja eficiente, os itens de *menu* devem ser auto-explicativos (de Souza, 2001). A seguir, apresenta-se a Figura 2.7 contendo exemplos de alguns tipos de menus.

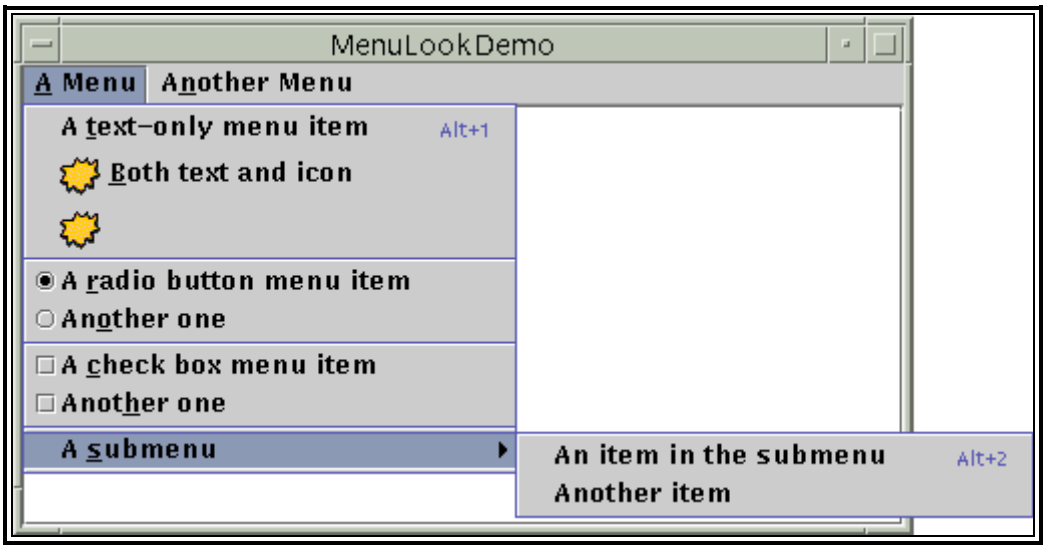


Figura 2.7. Tipos de menu.

Examinemos alguns tipos de *menu*: **pop-up** – geralmente associado ao clique do botão da direita do mouse. É uma boa maneira de disponibilizar opções específicas a um objeto, além de poupar espaço de tela; **radio buttons** – menu de seleção simples (apenas uma opção por vez). Por exemplo, SIM ou NÃO; MASCULINO ou FEMININO; AZUL, VERMELHO, VERDE ou AMARELO entre outras; **check boxes** – menu de seleção múltipla (uma ou mais opções por vez). Por exemplo: Quais eletrodomésticos você possui em casa quais suas áreas de interesse? E outros.

Preenchimento de formulários

Interfaces no estilo preenchimento de formulário são utilizadas principalmente para entrada de dados em sistemas de informação. Uma tela de preenchimento de

formulário lembra um formulário em papel, apresentando campos que devem ser preenchidos pelo usuário. O layout de um formulário com freqüência é semelhante a um formulário impresso que o usuário utilizava antes da implantação do sistema, o que facilita a rápida familiarização da interface. Um exemplo de uso muito comum desse tipo de estilo são os formulários HTML, nos quais o usuário insere dados cadastrais, que envolvem entrada de cadeias de caracteres, como por exemplo, nome, endereço; escolha de preferências usando *check-boxes*, e menus de seleção simples, como *radio-buttons*. A seguir, um exemplo do uso desse estilo de interação em ambientes educacionais.

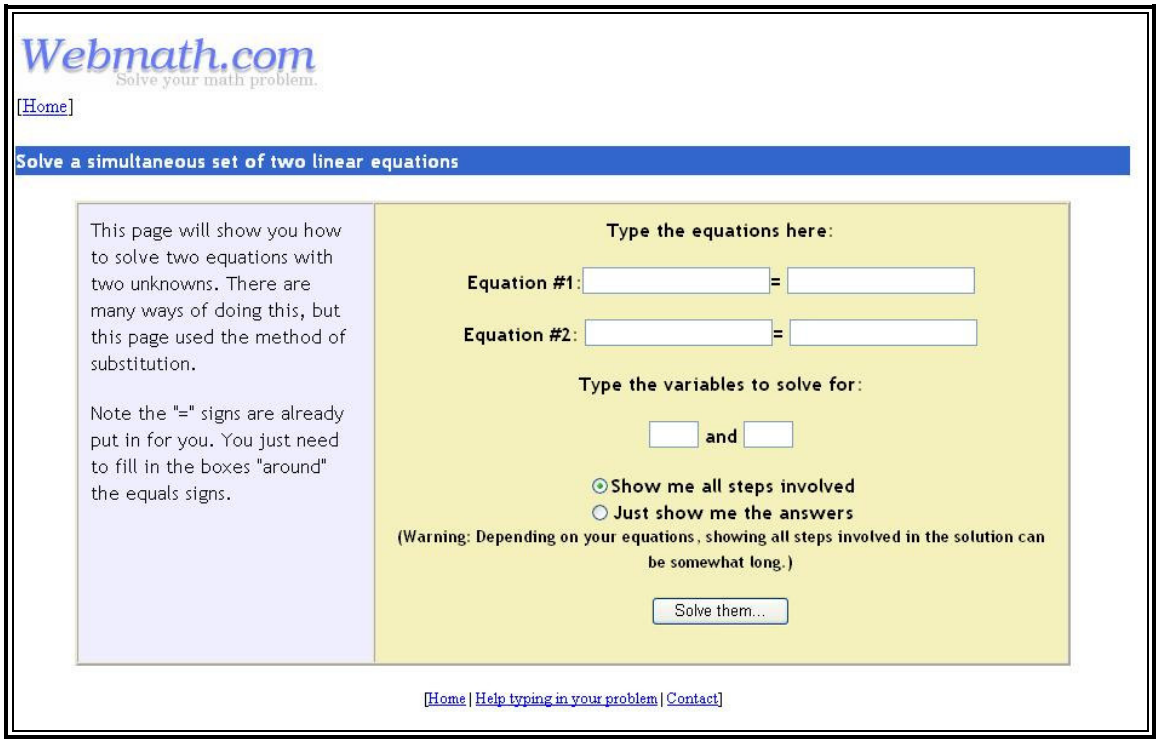


Figura 2.8. Exemplo de resolução de problemas com preenchimento de formulário

Na Figura 2.8, o usuário resolve o problema inserindo as expressões matemáticas correspondentes às duas equações, nesse momento é esperado que o estudante pense sobre o formato das equações que serão inseridas. Esse estilo de interação é atrativo porque todas as informações estão visíveis, proporcionando ao usuário um sentimento de controle do diálogo (Shneiderman, 1998). São necessárias poucas instruções, desde que o formato seja familiar ao formato impresso. Por outro lado, o usuário deve ser familiarizado com o teclado, com o uso das teclas ou mouse para movimentar o cursor. Nesse estilo de interação, a correção dos erros é feita pela tecla de *backspace*, pelos significados dos rótulos, pelas restrições impostas pelo conteúdo permitido nos campos,

e pelo uso da tecla ‘ENTER’ (*Ibid*).

Window, Icon, Menu and Pointer (WIMP)

O estilo de interação WIMP, um acrônimo em inglês para Janelas, Ícones, Menus e Apontadores, permite a interação por meio de componentes de interação virtuais denominados *widgets*. Esse termo é comumente associado a interfaces gráficas com o usuário (GUI´s). Tal estilo é um legado da Xerox PARC e que é utilizado ainda hoje, foi popularizado pela Macintosh em 1984 e mais tarde copiado pelo Windows no PC e pelo Motif em estações de trabalho do Unix (Van Dam, 1997). Tais interfaces utilizam representações visuais de janelas e *widgets* de interação, como por exemplo, botões e ícones. A seguir, a Figura 2.9 apresenta uma interface WIMP.

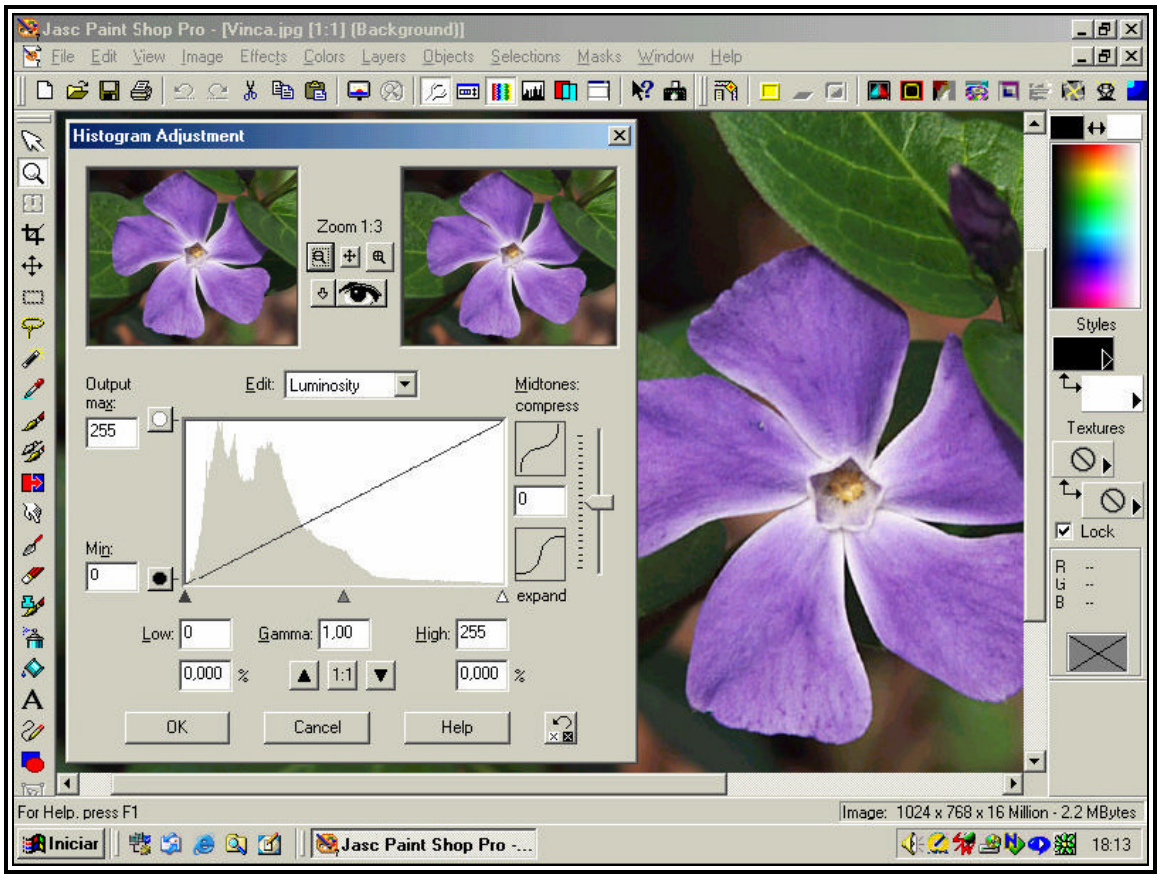


Figura 2.9. Interface WIMP.

Os usuários executam ações sobre essas representações através de dispositivos de entrada, como o mouse ou o teclado. O WIMP não é um estilo único de interação, pois emprega diversos estilos básicos citados anteriormente e, em especial, menus,

manipulação direta, preenchimento de formulários e linguagem de comando.

PÓS WIMP

O surgimento das interfaces WIMP foi um grande avanço no sentido de diminuir a distância cognitiva entre a intenção e a execução desta intenção (i.e., o usuário deve focalizar a tarefa e não a tecnologia para realizar a tarefa) (Van Dam, 1997). Apesar do sucesso das interfaces WIMP, elas apresentam uma série de problemas (*Ibid*): Aplicações muito complexas são difíceis de utilizar porque, embora os *widgets* sejam individualmente fáceis de usar, o agregado de recursos cria um alto grau de complexidade. Os usuários ainda gastam muito tempo manipulando a interface e não a aplicação (muitos '*point and click*'). Os *widgets* são bidimensionais, sendo inapropriados para aplicações tridimensionais. O uso do mouse e teclado não é apropriado para usuários com certos tipos de deficiência (*Ibid*).

Para superar esses problemas, começaram a surgir as interfaces pós-WIMP (quarta geração de UIs). As UIs pós-WIMP podem englobar o reconhecimento de gestos e de voz, prover *widgets* tridimensionais, realimentação táctil, auditiva e até olfativa. Um exemplo de interação pós-WIMP ocorre nos chamados *wearable computers*, pequenos computadores móveis, que funcionam como óculos, jaquetas, ou relógios de pulso, acompanhando o movimento dos olhos, da cabeça e do corpo do usuário. Outro exemplo de interface pós-WIMP são aquelas que utilizam a realidade virtual.

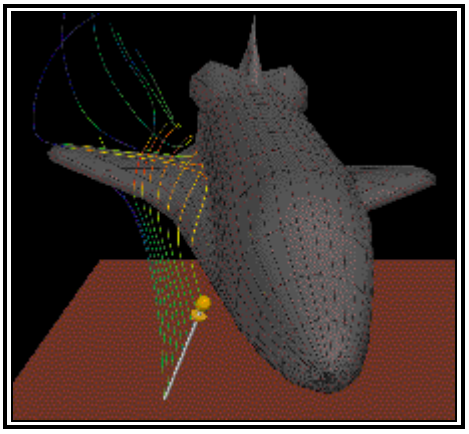


Figura 2.10.Um *widget* 3D. Fonte: (Van Dam, 1997).

Figura 2.11. O *Wearable Computers* Xybernaut Corp's. Permite enviar coberturas de eventos ao vivo pela Internet.

Realidade Virtual

A Realidade Virtual é a forma mais avançada de interface, que, no âmbito computacional, permite visualizar, manipular e explorar as informações em tempo real possibilitando aproveitar o conhecimento intuitivo do usuário sobre a navegação no espaço tridimensional. Suas características desejáveis são: imersão, sensação de estar dentro do ambiente; interação, possibilidade do usuário interferir com o que acontece no ambiente e vice-versa; envolvimento, capacidade do ambiente motivar o usuário a participar (Realidade Virtual, 2004).

No que diz respeito à imersão temos os níveis: (a) Texto, que possui requerimentos mínimos, é muito utilizado, e pouco real; (b) de escritório, também chamado de "modelo aquário" ou "janela no mundo"; (c) imersão completa do usuário, atingível através de capacete; (d) realidade artificial, o usuário não tem contato físico com o sistema (sombra em sistemas 2D); (e) realidade virtual projetada, uma "janela no mundo" grande o suficiente, permitindo vários usuários; (f) cabines, a imersão é total, como nos simuladores de vôo (Realidade Virtual , 2004).

Os sistemas de realidade virtual podem ser do tipo telepresença, nos quais as ações do usuário se refletem num ambiente distinto daquele no qual ele está fisicamente; realidade melhorada: são acrescidas informações gráficas ao mundo; realidade aumentada: são acrescidas informações gráficas e de outros tipos ao mundo. Para modelar esses ambientes, têm-se os níveis de modelagem geométrica: o sol é uma esfera, os edifícios, paralelepípedos e as árvores, cones; cinemática: o sol gira em volta da Terra; física: estudo do impacto, por exemplo; comportamentais, o que faz um animal virtual quando me aproximo (virtualmente) dele? Abordagens segundo a informação geográfica, conceitual, arquitetônica (Realidade Virtual, 2004).

Um exemplo do uso desse estilo de interação em ambientes educativos é o projeto NICE – "*Narrative, Immersive, Constructionist/Collaborative Environments for Learning in Virtual Reality*". O NICE é um ambiente de aprendizagem imersiva para crianças, multiusuário e desenvolvido com tecnologias de realidade virtuais (Roussos *et al*., 1997). O projeto NICE oferece um ambiente onde as crianças constroem e cultivam ecossistemas virtuais simples, colaborando com outras crianças remotamente localizadas, criando histórias de suas interações no mundo real e virtual. A seguir, a Figura 2.12 do NICE.

Figura 2.12. Crianças representadas por avatares no jardim do NICE.

Na Figura 2.12, duas crianças, representadas por seus avatares, colaboram para plantar o

jardim. Suas narrativas, sobre o mundo real e sobre o mundo virtual são posteriormente divulgadas através de hipertexto.

Discurso (Voz)

O discurso é a maneira mais natural, mais direta e eficaz de interação (Sánchez, 2003). Esse estilo de interação é rápido e natural, pois não requer o desenvolvimento de relações visuais sofisticadas (*Ibid*). Segundo o mesmo autor os portais de voz iniciaram-se nos anos (2000, 2001 e 2002), particularmente no mercado americano, trazendo consigo uma nova forma de interação.

Tal estilo de interação também tem suas potencialidades exploradas em aplicações para deficientes visuais. Segundo Christian, (2000) *apud* Carneiro (2003), a voz era muito eficiente antes do surgimento de interfaces gráficas, devido à relativa facilidade de se traduzir uma interface textual (e tipicamente seqüencial) em voz. Essa tradução, entretanto, não é trivial em um contexto contendo elementos gráficos. Além disso, a conversão em voz depende, intrinsecamente, da língua, dialeto e, até mesmo, do sotaque utilizado, não sendo, portanto, facilmente acessível a deficientes visuais de nacionalidades diferentes. (*Ibid*).

Em seu projeto intitulado, *A Web Voice Solution: ConPalabras,* (Sánchez, 2003) apresenta um solução para fazer páginas *Web* falarem através da síntese de mensagens armazenadas dentro das próprias páginas ou a partir de mensagens de texto armazenadas remotamente. A seguir, a Figura 2.13, do *ConPalabras* seguido de um exemplo do seu uso em ambientes educativos.

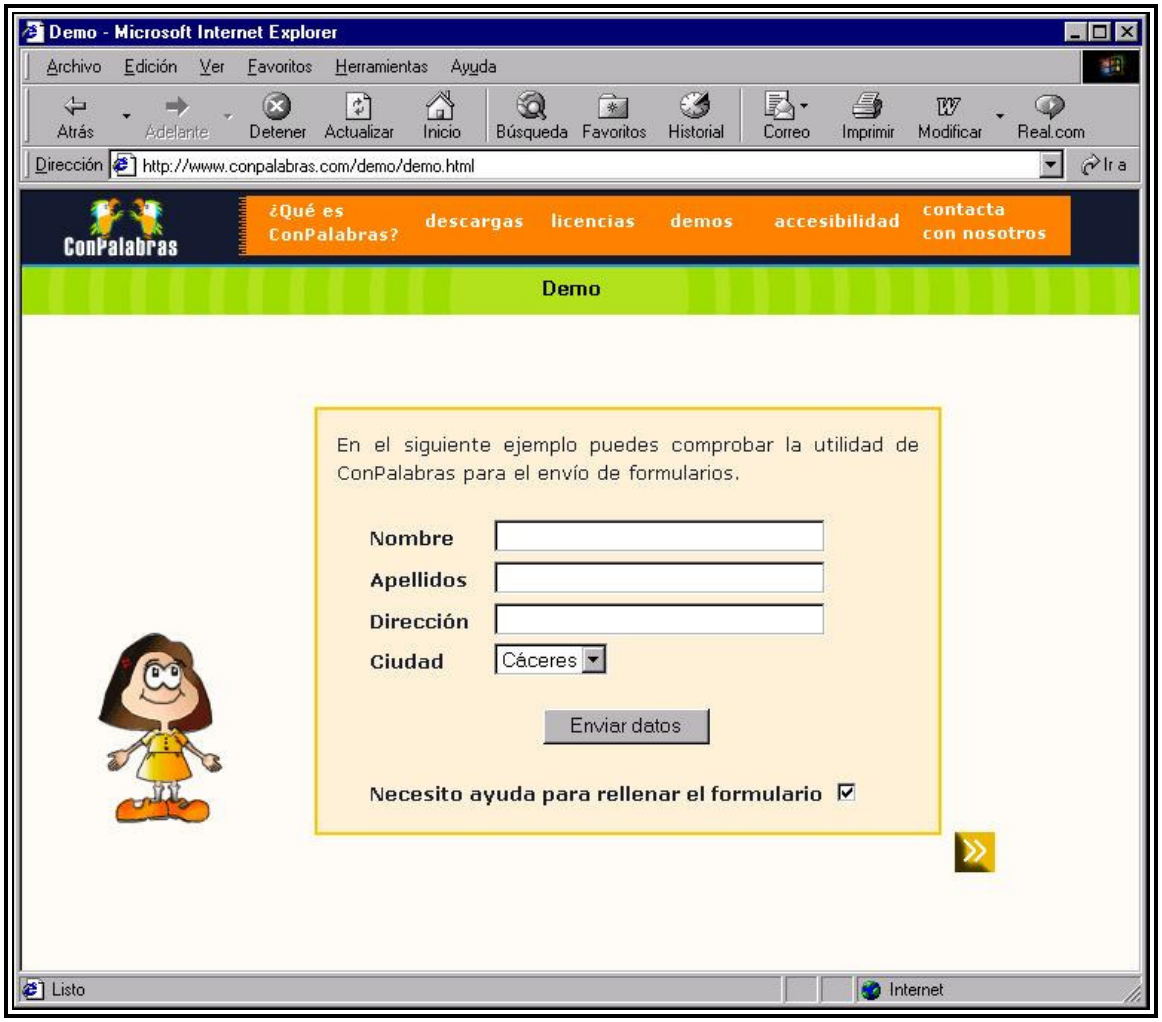


Figura 2.13.Exemplo de assistência de Voz usada no ConPalabras

Na Figura 2.13 pode ser vista uma amostra de preenchimento do formulário, onde cada vez que o usuário alcança um campo, um *feedback* de voz é dado, avisando que informação deve ser inserida de acordo com o campo. Uma vez submetidos os dados, o *ConPalabras* lê um sumário dos dados inseridos e, em seguida, incentiva o usuário confirmá-los. Segundo Sánchez (2003), esse é um exemplo que destaca as possibilidades da integração desse estilo de interação com o mundo eletrônico, como por exemplo, em transações bancárias, ajudando a fazer transferências, depósitos, etc. (*Ibid*).

Além do seu uso em aplicativos diversos, o *ConPalabras* tem um potencial como ambiente educativo, Segundo o mesmo autor, essa solução pode ser usada em um ambiente de *e-Learning*. No ambiente proposto pelo mesmo autor, o objetivo é criar unidades didáticas, tais como, histórias e jogos por meio do uso da voz e, dessa forma, o

professor terá em suas mãos uma ferramenta fácil de usar, ajudando-o a criar unidades de aprendizagem com quatro assuntos: instrução para a paz; instrução ao consumidor; instrução de tráfego e instrução ambiental. Além disso, o *ConPalabras* oferece a possibilidade de escolher o cenário, os diálogos e assim por diante. A Figura 2.14, a seguir, exemplifica o uso do *ConPalabras* em ambientes educativos.

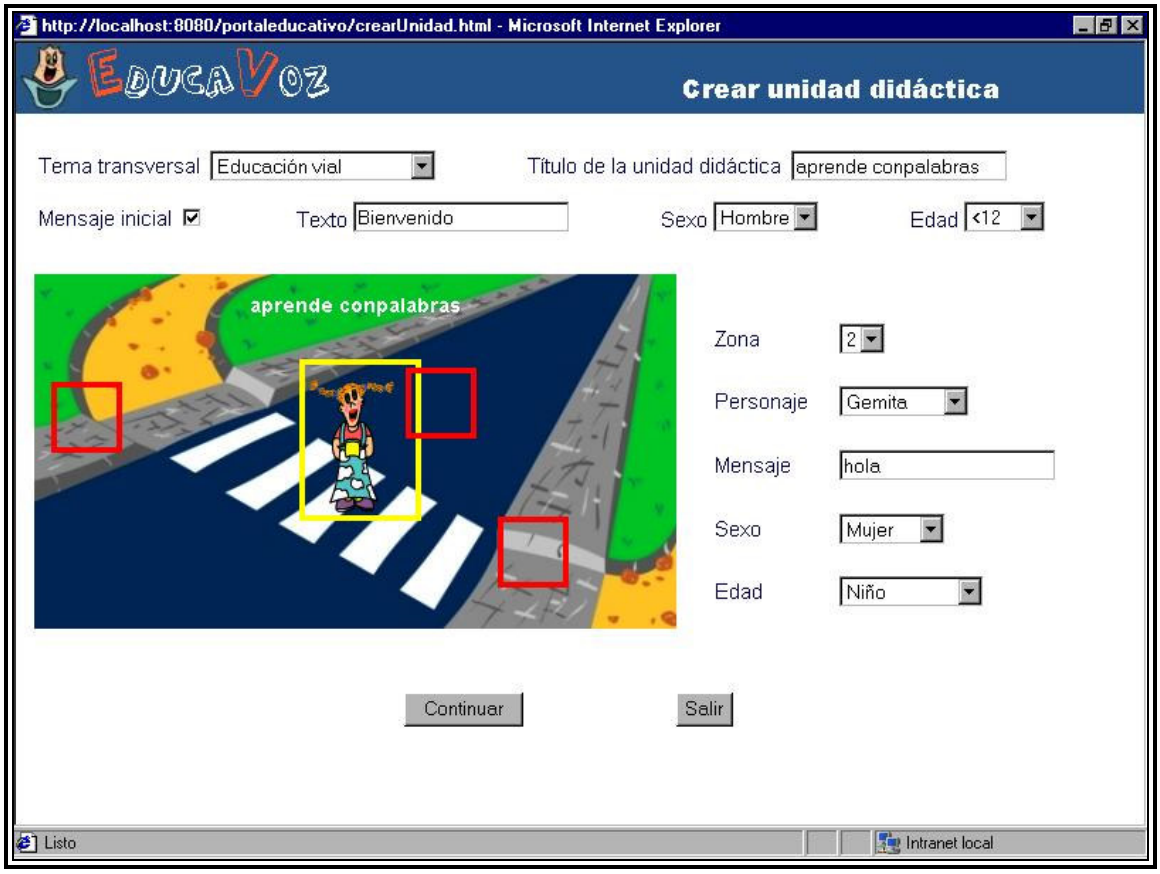


Figura 2.14. Exemplo de como criar uma unidade didática.

Hipertexto

A utilização da tecnologia hipermídia na educação é incentivada pela sua característica de permitir ao aprendiz a exploração livre de páginas com informações representadas por diversas mídias e estruturadas através de ligações (Passanato e Nunes, 1999). Uma aplicação hipermídia (um hiperdocumento) fornece o material didático e proporciona uma forma de navegação através dele, com o controle da interação totalmente a cargo do aprendiz, permitindo que este tenha progresso de acordo com os seus interesses e objetivos. A característica pedagógica mais importante dessas aplicações é a flexibilidade de exploração do material didático fornecido (Whalley, 1993 *apud*

Passanato e Nunes 1999). Ainda sob o aspecto da aprendizagem, segundo Dias (2000; p.10), *o hipertexto promove o desenvolvimento da representação multidimensional dos conteúdos orientada pela perspectiva construtivista da aprendizagem, da cognição situada e da flexibilidade cognitiva*. A seguir, a Figura 2.15 exemplifica o uso de hipertexto para o ensino do cálculo.

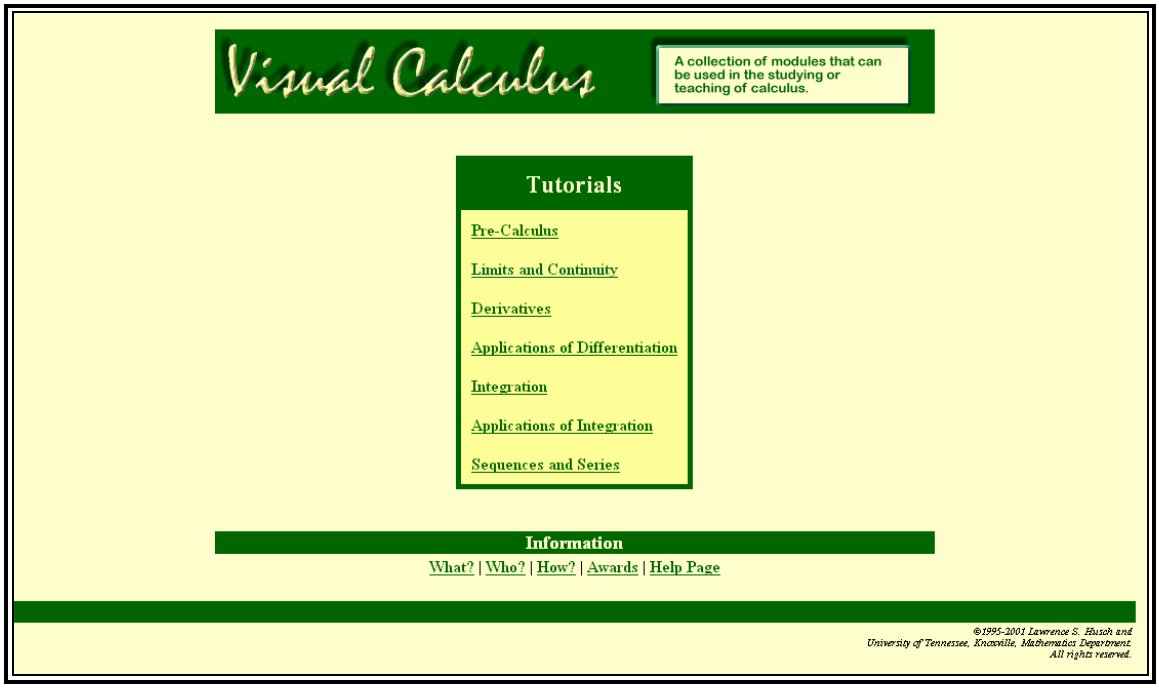


Figura 2.15. Hipertexto para o ensino do cálculo.

De acordo com a Figura 2.15, inicialmente, é mostrado um menu com as opções de tutorial. Uma vez escolhida uma opção, o usuário é levado a uma outra página, contendo exercícios sobre a opção escolhida.

Linguagem Natural

Algumas aplicações permitem ao usuário se expressar em linguagem natural, ou seja, utilizando a língua com que ele se comunica com outros seres humanos, seja português, inglês, francês, ou outra qualquer. Tal aspecto torna esse tipo de interação bastante atrativa para os usuários. Por outro lado, a interação com linguagem natural precisa tratar questões relativas a construções ambíguas e até sintaticamente incorretas. *Natural Language Interaction* – (NLI) – pode ser definida como a operação de computadores por pessoas, usando uma familiar linguagem natural como, por exemplo inglês para dar instruções ou receber respostas (Shneiderman, 1998). A seguir, um exemplo de um

diálogo entre um usuário e um sistema que gerencia informações pessoais (Vanderheiden, *et al*., 2005).

User: Could you list all conferences with deadline in February?

System: Agents et Langue: deadline 7, feb, 2004; International Conference on AI Application and Innovations: deadline 16, feb, 2004; European Conference on Artificial Intelligence – 2004: deadline 18, feb, 2004;

User: I need the email of Jean-Paul Barthès.

System: Jean-Paul Barthès, Professor at UTC-France, branch: 1234, email: barthes@utc.fr

User: I would like to send an email to Jean-Paul Barthes. |

System: What is the subject?, …

Os usuários não têm que aprender nenhuma sintaxe de comandos, ou selecioná-los a partir de menus. O problema com esse estilo é o fato de que existem diferentes tipos de usuários para uma grande variedade de tarefas. As pessoas são diferentes de computadores e a interação humano-humano não é necessariamente o modelo mais apropriado para a interação humano-computador (Shneiderman, 1998).

Manipulação direta

Segundo Gravina (1998), o caráter estático das representações, utilizadas nos livros didáticos, dificulta a construção de conceitos. Contrariamente, instâncias físicas contribuem substancialmente para tais construções. Nesse cenário, as novas tecnologias têm papel fundamental, pois "*elas oferecem instâncias físicas em que a representação passa a ter caráter dinâmico, e isto tem reflexos nos processos cognitivos, particularmente no que diz respeito as concretizações mentais. Um mesmo objeto matemático passa a ter representação mutável, diferentemente da representação estática das instâncias físicas tipo "lápis e papel" ou "giz e quadro-negro". O dinamismo é obtido através de manipulação direta sobre as representações que se apresentam na tela do computador*"(*Ibid;* p.10).

Embora a manipulação direta ofereça o dinamismo necessário à aprendizagem de conceitos, convém avaliar com mais cautela esse estilo de interação, tanto no que diz respeito aos benefícios oferecidos por ele, quanto no que diz respeito ao esforço cognitivo exigido do usuário durante a manipulação desse estilo. Sendo assim, analisemos a manipulação direta, seus benefícios e limitações.

Conforme Hutchins (1985), o termo Manipulação Direta foi criado por (Shneiderman 1974, 1982, 1983), sendo utilizado para referenciar sistemas que representam na interface os objetos utilizados no momento. Ao invés de uma sintaxe complexa como a feita nos sistemas baseados em linguagem de comandos – *command based systems* - as ações na tela são realizadas através de botões, ou de manipulação do mouse, utilizando operações reversíveis, incrementais e rápidas cujo impacto no objeto utilizado seja imediatamente visível. A fim de evidenciar as características positivas da manipulação direta, (Hutchins, 1985) demonstrou que as relações entre números quaisquer presentes em uma matriz ficam mais perceptíveis se esses números forem representados graficamente na tela.

(1) Segundo Shneiderman (1982), *apud* Hutchins (1985) os benefícios da manipulação direta residem nas seguintes características: os usuários novatos podem aprender funcionalidades básicas rapidamente, geralmente mediante uma demonstração; os usuários experientes se tornam mais eficientes para uma grande quantidade de tarefas; as mensagens de erro são utilizadas raramente; os usuários podem ver imediatamente se suas ações os conduziram para seus objetivos; os usuários reduzem o nível de ansiedade porque o sistema é compreensível e porque as ações são facilmente reversíveis.

(2) Além de expor os benefícios e controvérsias, (Hutchins, 1985) preocupou-se em discutir o sentimento de "diretude" da interface e concluiu que esse sentimento, proveniente da manipulação direta, resulta do fato de ela solicitar poucos recursos cognitivos, e, dessa forma, exige o mínimo de aprendizagem necessária. Sendo assim, o mesmo autor complementa dizendo que a necessidade do uso de recursos cognitivos conduz ao sentimento de "indiretude". Apesar disso, o autor diz que a exigência de poucos recursos cognitivos não implica em facilidade de uso da interface, pois a dificuldade de uso pode ser inerente ao domínio da tarefa em execução, e, nesse caso, a manipulação direta não se preocupa em ajudar o usuário a entender o domínio.

A partir dessas constatações, surgem as seguintes questões:

(1) Apenas o dinamismo, citado por (Gravina, 1998) e oferecido pela manipulação direta, é suficiente para promover a construção de conceitos em interfaces educativas?

(2) De fato, o sentimento de "*diretude*", inerente ao estilo de interação manipulação direta, torna este estilo de interação inapropriado para a construção de interfaces educativas?

Avaliemos, a seguir, alguns resultados encontrados na literatura, sobre o custo associado ao uso da manipulação direta.

De acordo com Holst (1996), embora na Manipulação Direta (MD) seja exigido pouco esforço cognitivo, a literatura indica que há características da manipulação direta que vão além da facilidade de utilização. O mesmo autor realizou um estudo com jogos de aventura para planejamento de rotas, utilizando dois estilos de manipulação: um "*radio-buttons*" e outro "*drag and drop*". Ele demonstrou que, mesmo na manipulação direta de objetos, o estilo de interação promoverá algum tipo de aprendizagem, se for requerido do usuário algum custo, ou seja, movimentos de mão ou de olhos ou ainda memorização. Em seu estudo, o autor concluiu que o esforço para manipular um dado estilo de interação tem significância pedagógica, pois forçou o estudante a formular diferentes perguntas e, conseqüentemente a criar hipóteses diferentes.

Sedighian et al., (1997) concordam com (Holst, 1996) e dizem que, embora a MD exija pouco esforço cognitivo, ela não é inteiramente prejudicial à aprendizagem. É necessário, portanto, avaliar suas (1) vantagens e (2) desvantagens. (1) No que diz respeito às vantagens, o mesmo autor afirma que a principal vantagem da MD – Manipulação direta - é a noção de acoplamento direto (Hutchins, *et al.*, 1986), pois coloca os usuários em contato direto com os objetos, eliminando a necessidade de intermediários, o que segundo Sedighian *et al.*, (1997) satisfaz aos usuários, uma vez que eles reduziram a ansiedade, pois o sistema é compreensível e as ações realizadas sobre ele podem ser assim facilmente reversíveis (Shneiderman, 1982, p. 251 *apud* Hutchins, 1985). (2) No que diz respeito às desvantagens da MD, (Sedighian et al., 1997) diz que ela estimula uma compreensão ingênua das relações em um domínio particular.

Continuando a discussão, Sedighian *et al.*, (1997) diz que, em um ambiente educacional, o objetivo principal é aprender um domínio particular do conhecimento, ou seja, colocar o usuário em um acoplamento direto com os conceitos do domínio, Logo é necessário possibilitar ao usuário interagir e pensar mais nos conceitos, que estão sendo aprendidos, do que em seus objetos representativos. Dessa forma, o mesmo autor diz que o foco deve ser deslocado da manipulação direta de objetos para a manipulação direta de conceitos. Partindo desse estudo, os autores afirmam que uma das principais deficiências educacionais da MD é causada pela manipulação direta de objetos. Uma mudança do estilo de MDO - Manipulação Direta de Objetos - para o estilo de MDC – Manipulação Direta de Conceitos - ajuda aos usuários a interagirem com os conceitos educacionais visando ao conhecimento do domínio.

Continuando a discussão sobre o esforço cognitivo oferecido pelo estilo de interação manipulação direta, (Inkpen, 2001) analisou duas técnicas de interação da manipulação direta: "*point and click*" e "*drag and drop*". A interface testada foi a "*Incredible Machine*", uma interface comercial para a resolução de problemas no jogo de computador "*puzzle*". Os testes foram realizados com 189 garotas com idade entre 9 e 13 anos. Os resultados desse experimento mostraram que; com o "*point and click,*" as garotas apresentaram maior desempenho na execução das tarefas propostas e mais motivação; o "*point and click*" ofereceu resultados mais rápidos na execução das tarefas propostas; as garotas cometeram mais erros com o "*drag and drop*"; as garotas demonstraram preferir o "*point and click*" ao "*drag and drop*" e a recuperação do erro foi mais difícil com o "*drag and drop*".

Apesar de a maior preferência ser pelo "*point and click*", algumas garotas revelaram preferir o "*drag and drop*". A explicação dada por elas foi o fato de estarem familiarizadas com um software que utilizam o "*drag and drop"*. Além disso, elas revelaram que a sensação tátil oferecida pelo "*drag and drop"* também contribui para a preferência. Para Inkpen (2001), essa sensação é explicada por (Buxton, 1986), segundo o qual *"a conectividade sinestésica pode ajudar a reforçar a conectividade conceptual entre as subtarefas que compões uma tarefa maior*". Concluindo (Inkpen, 2001) alerta que tais resultados são dependentes da tarefa em execução e da operacionalização das mesmas.

Ainda sob o aspecto do esforço cognitivo exigido do usuário durante o uso da manipulação direta, (Sedig; Klawe; Westrom, 2001) comparou três estilos de interação derivados da manipulação direta:

Manipulação direta de Objetos - MDO: reduz a distância semântica entre os objetos da interface e o modelo mental do usuário, ou seja, saber como ele pensa e oferecer-lhe algo parecido. Isso exige pouco esforço cognitivo, e possibilita uma adaptação mais rápida a interface.

Manipulação direta de Conceitos – MDC: Nessa interação, o usuário é convidado a adaptar-se gradualmente à semântica dos conceitos, ou seja, fazer o indivíduo mudar aos poucos seu modelo mental e, conseqüentemente, aprender. Em outras palavras o estudante é conduzido a pensar sobre os conceitos que estão metaforicamente representados pelos artefatos da interface. (Sedighian et al., 1997; Reiser, 2002; Gomes, 2005).

Manipulação direta de conceitos reflexiva - MRDC: é a MDC – *Direct Concept Manipulation* -estendida com *Scaffolding* – suporte interacional - nessa forma de manipulação, Sedig; Klawe; Westrom, (2001) constataram que os estudantes foram submetidos a esforço cognitivo maior do que as que utilizavam o MDO e MDC.

Os experimentos acima comprovaram que as interfaces manipulação direta não favorecem a aprendizagem de conceitos específicos, uma vez que não promovem a reflexão sobre os conceitos metaforicamente representados. Contrariamente, nas interfaces com *Scaffolding*, ou ajuda, durante a resolução do problema, ou ainda, reforço interacional, os usuários foram comprovadamente submetidos a uma interface que os forçou a refletirem sobre os conceitos. A seguir, exemplificamos o uso do estilo de interação manipulação direta para jogos educativos.

Jogos Educativos

Os jogos, de um modo geral, dispensam apresentações. É notório o envolvimento e a motivação para o jogo, principalmente entre os jovens. Durante o jogo o usuário é submetido a situações desafiadoras, motivadoras e lúdicas. Através dos jogos educacionais, pretende-se criar situações promotoras de sentido, capazes de conduzir o usuário a reflexão. Os jogos educacionais são processos competitivos (vitória e derrota),

podem ser propostas situações sobre uma abordagem piagetiana, as quais associam-se a restrições de tempo e objetivo nas atividades do usuário. A partir dos resultados obtidos nos estágios anteriores, o usuário poderá passar para os próximos estágios, nos quais serão inseridas situações que exigem um pouco mais de habilidade. Não é mais uma mera questão de ganhar ou perder, e sim de evoluir nas tarefas propostas e conseqüentemente no jogo.

A seguir, na Figura 2.16, temos a imagem de um jogo educacional cujo objetivo é a resolução de problemas matemáticos dentro das situações e estágios do jogo. Em Logical Journey of Zoombinis, A ilha dos Zoombinis foi tomada por monstros, e os Zoombinis partem em busca de um novo lar em uma terra distante. No caminho, eles encontram obstáculos, cada um dos quais contém um problema matemático para ser resolvido.

Figura 2.16. Logical Journey of Zoombinis

Scaffolding

> *"O fator humano não está garantido por nossa herança genética, por nossa certidão de nascimento, senão que a origem do homem - a passagem do antropóide ao homem, tanto quanto a passagem da criança ao adulto produz-se graças à atividade conjunta é perpetuada e garantida através do processo social da educação, tomada esta em sentido amplo e não somente segundo os módulos escolares da história mais recente", Coll (1996).*

O termo *Scaffolding* proposto por Bruner na década de 70 (Wood, Bruner, Ross, 1976, *apud* Puntambekar, Hübscher, 2002) foi inicialmente usado para referir-se a um processo de 'sustentação interacional' entre pessoas, com freqüência no diálogo de adulto com crianças. O *Scaffolding* é uma retirada gradual do controle do adulto e da sustentação, permitindo uma internalização paulatina deste controle pelo indivíduo menos desenvolvido no domínio. Em outras palavras *Scaffolding* é uma "*metáfora para conceituar o processo em que o professor atua como mediador na construção do conhecimento pela criança, partindo de sua etapa de desenvolvimento e do seu conhecimento atual. Não há uma instrução formal e direta do conteúdo a ser trabalhado, mas uma construção paulatina realizada pelo aluno e guiada pelo professor que pode intervir com perguntas, considerações, novas informações e sugestões de novas relações, ajudando o aluno no desenvolvimento do seu potencial como um todo*" (Pires, 2003). A estratégia instrucional do *Scaffolding* tem suas bases, na teoria sócio-construtivista de Vygotsky, que trata da interação entre seres humanos.

Para Vygotsky (1998), a formação das funções superiores dar-se-á através de atividade prática e instrumental, porém não individualmente, mas em interação ou em cooperação social. A transmissão dessas funções dos indivíduos, que já as possuem, para os novos indivíduos em desenvolvimento é produzida mediante a atividade ou interatividade entre os indivíduos.

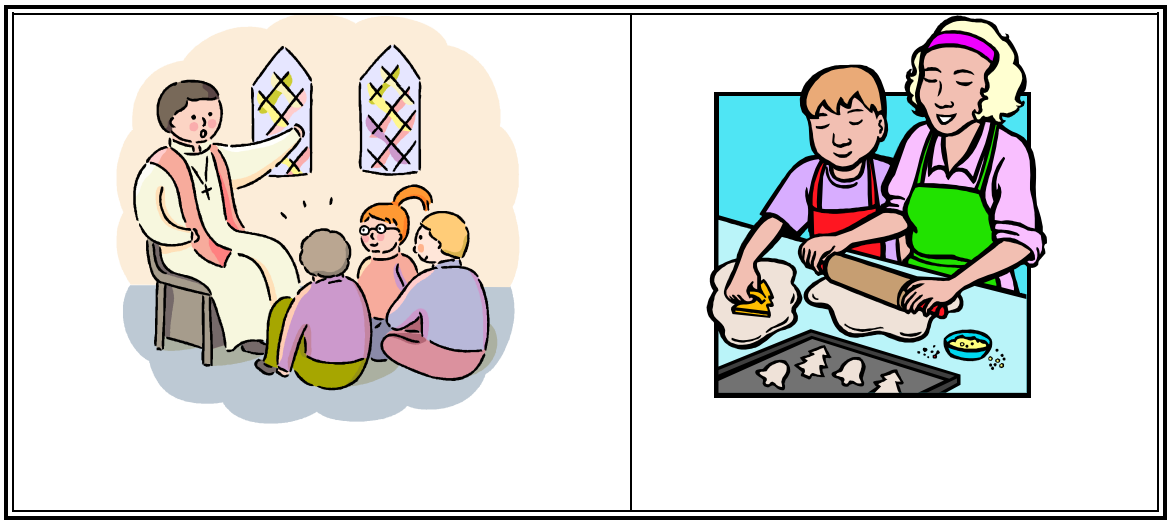


Figura 2.17. Interação entre indivíduos. Figuras presentes no Clip-art do Windows.

Na Figura 2.17, temos dois exemplos de interação entre indivíduos. No primeiro caso um grupo de crianças ouve ensinamentos sobre religião; no segundo caso, uma mãe passa seus conhecimentos ao filho. Em ambas as situações, experiências de pares mais capazes são transferidas para indivíduos em desenvolvimento. Segundo Vygotsky (1998), a formação de funções superiores, ou seja, a formação do desenvolvimento pelos indivíduos, acontece em suas ZDP - Zona de Desenvolvimento Proximal – e segundo ele "*é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, o qual é determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes*".

Wells (1999) enfatiza que a característica avaliadora presente na ZPD possibilita fazer um diagnóstico dos indivíduos, ou seja, a ZPD como fonte de informação para categorizar os estudantes segundo os seus níveis de desenvolvimento, possibilita colocá-los em projetos educacionais condizentes com sua categoria. Segundo Campione e Marrom, (1987); Fererstein, (1979) *apud* Wells, (1999) as experiências que aplicam o conceito de ZPD o fazem considerando o seu aspecto avaliador.

Dessa forma, um suporte instrucional pode ser oferecido tendo em vista a característica avaliadora da ZDP. Esse suporte ou ajuda dentro da ZDP que pode emergir na interação entre os indivíduos, (Wood, Bruner, Ross, 1976, *apud* Puntambekar, Hübscher, 2002) chamou de *Scaffolding,* que, traduzindo para o português, significa andaime. O andaime é uma metáfora criada a partir do andaime utilizado por trabalhadores na construção

civil, assim como o andaime da construção o 'andaime instrucional' é utilizado com o propósito de oferecer sustentação nas situações em que o indivíduo precisa de ajuda para alcançar um determinado objetivo. A seguir, a Figura 2.18, que representa o suporte oferecido dentro da ZDP que pode emergir na interação humana.

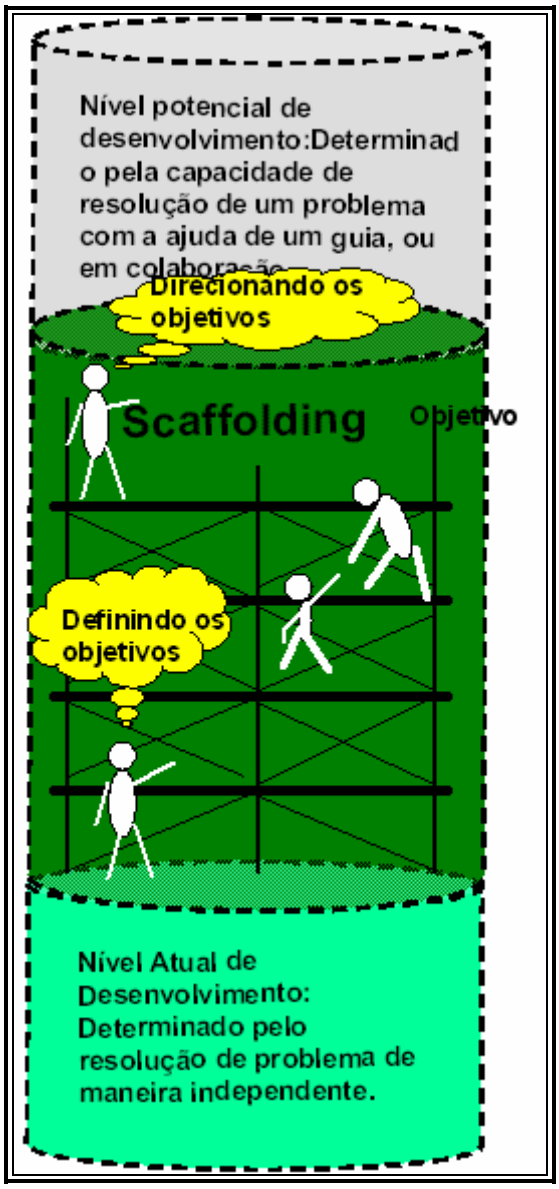


Figura 2.18. Metáfora do andaime instrucional. (Tejeda, 2003)

A Figura 2.18 contém uma representação da ajuda oferecida por um par mais capaz para um indivíduo, que está saindo do nível de desenvolvimento real em direção ao nível de desenvolvimento potencial. A seguir, mostraremos as diversas formas de ajuda que têm evoluído nos últimos vinte anos e discutiremos cada uma juntamente com a sua possível utilização na interface, que ora propomos.

Discussão sobre estratégias de Ajuda

> *"Nós aprendemos melhor quando fazemos... Mas aprendemos melhor ainda quando combinamos nosso fazer com o falar e o pensar sobre o que nós fizemos"*. Papert, (2001; p. 4).

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado, nosso trabalho está inserido no campo dos agentes pedagógicos, e nos softwares de *Scaffolding*, que, segundo a literatura em educação, é a ajuda recebida pelo indivíduo durante a resolução de um problema (Wood, Bruner, Ross, 1976, *apud* Puntambekar, Hübscher, 2002). Nestas duas últimas décadas houve uma evolução nas formas de oferecimento dessa ajuda. Inicialmente, eram utilizados: lápis e papel; recursos tecnológicos; discussões promovidas pelo professor, e mensagens de alertas para ajudar o estudante a refletir (Bell, Davis, 1996; Jackson, Krajcik, Soloway, 1998 *apud* Puntambekar, Hübscher, 2002).

A idéia do *Scaffolding* é a instrução efetiva fornecida dentro da ZDP que pode emergir na interação entre os indivíduos. Suas bases encontram-se na teoria sócioconstrutivista de Vygotsky, o qual descreveu o desenvolvimento humano como sendo fruto das oportunidades e interações sociais ao qual cada indivíduo está submetido. Embora Vygotsky tenha ressaltado que essa interação acontece na intersubjetividade humana, (Puntambekar, Hübscher, 2002; Reiser, 2002) dizem que o *Scaffolding* não está mais restrito apenas a interações entre seres humanos. Os artefatos, os recursos tecnológicos, computacionais e os ambientes, eles mesmos são usados também como formas de oferecer *Scaffolding*.

Inicialmente, os autores documentaram os seis tipos de sustentação que um adulto pode fornecer (Wood, Bruner, Ross, 1976, *apud* Puntambekar, Hübscher, 2002): manutenção do interesse do aprendiz; redução do grau de liberdade através da simplificação da tarefa; simplificação da tarefa; manutenção do sentido, destacando e demonstrando as características críticas da tarefa; controle da frustração e fornecimento de trajetos ideais da solução. Embora esses tipos de sustentação já tenham sido descritos e documentados na literatura, (Quintana et al., 2002) diz que é necessário, antes de adotá-los, fazer algumas considerações:

(1) Analisar quais as práticas complexas das tarefas, como por exemplo, o tipo da tarefa,

as ferramentas, a informação necessária.

(2) Determinar a causa da dificuldade da tarefa para os aprendizes, identificando as variáveis e os obstáculos que enfrentaram no momento da resolução da mesma.

(3) Determinar os tipos de *Scaffolding* que podem ajudar os aprendizes a trabalhar em torno daqueles obstáculos de uma maneira educacional produtiva.

A seguir, avaliamos uma série de estratégias para oferecer ajuda durante a resolução de problemas (Puntambekar, Hübscher, 2002; Reiser, 2002; Quintana, et al. 2002).

Estratégias

Compartilhamento dos objetivos específicos: Um ponto central do *Scaffolding* bem sucedido é a noção de uma compreensão compartilhada do objetivo da atividade. Embora alguns elementos da atividade estejam além da compreensão do aprendiz, a intersubjetividade (Rogoff, 1990; Wertsch, 1985 *apud* Puntambekar, Hübscher, 2002), ou compreensão compartilhada da tarefa ajuda a fornecer a motivação para a conclusão da tarefa. Dessa forma, percebemos que o compartilhamento de objetivos específicos possibilita a manutenção do interesse do aprendiz.

Foco na resolução da tarefa completa: Embora a tarefa possa ser dividida em sub-tarefas, a literatura sobre *Scaffolding* conclui que é melhor focar no problema todo do que em suas subcategorias. Esse aspecto do *Scaffolding* significa que os aprendizes manterão sua atenção em adquirir habilidades para a tarefa completa, que constitui o objetivo para o qual estão sendo treinados.

A disponibilidade imediata da ajuda: A idéia desse elemento é fornecer aos aprendizes uma ajuda imediata. Se não lhes for fornecido esse auxílio imediato, eles podem tornar-se frustrados com a tarefa e assim não conseguir seu objetivo.

Ajuda quando houver necessidade: Similar à última idéia, esse elemento do *Scaffolding* ideal incentiva o instrutor a ajudar imediatamente ao aprendiz, quando a ajuda for necessária. Caso a mesma seja fornecida em outro momento, haverá uma interrupção do pensamento do aprendiz.

Fornecimento uma ajuda efetiva: A ajuda efetiva envolve disponibilidade imediata de

ajuda, porém apenas quando isso for necessário.

Conhecimento do modelo do tutor: Um modelo do tutor dá aos aprendizes informações acerca das habilidades que precisam adquirir. Tendo uma representação ideal da habilidade que estão tentando adquirir, os aprendizes terão uma idéia do objetivo, para os quais estão sendo treinados.

Divisão de uma tarefa maior em suas sub-tarefas: Outra forma citada por (Reiser, 2002) é a divisão de tarefas em subtarefas, objetivando facilitar o entendimento através da simplificação de uma tarefa maior.

Estruturação e Problematização: Segundo Reiser (2002) o *Scaffolding* torna-se necessário frente a uma tarefa que possui uma maior complexidade ou a uma tarefa que natureza aberta ou não estruturada. Dessa forma, o autor propõe que a estruturação das tarefas é uma das formas de se oferecer ajuda, podendo ser feito através de espaços de trabalho estruturados, gráficos organizadores, decomposição das funcionalidades de acordo com processos conceptuais, ou fornecendo alertas.

No que diz respeito à problematização, o mesmo autor diz que a tarefa dos estudantes deve ser mais problemática, impedindo que os mesmos negligenciem passos da tarefa. Em (Self, 1990), o autor já enfatizara que as tarefas realizadas com papel e lápis, por exemplo, possibilitam que os estudantes negligenciem passos da tarefa. (Reiser, 2002) continua dizendo que, se os estudantes forem forçados a usar um menu para categorizar os dados coletados, eles necessitam considerar o significado dos dados, o que reduz o grau de liberdade do estudante. Um menu com categorias obriga o estudante a refletir sobre essas categorias, O mesmo autor diz que essa afirmação encontra respaldo nas pesquisas sobre interfaces de manipulação direta de conceitos. Em outras palavras, o estudante é conduzido a pensar sobre os conceitos que estão metaforicamente representados pelos artefatos da interface. (Reiser, 2002; Gomes, 2005).

Além das estratégias acima discutidas, (Quintana et al., 2002) fizeram um estudo com vários softwares de *Scaffolding* e tabularam todas as estratégias encontradas organizando-as em categorias. Abaixo, no Quadro 2.1, mostramos as categorias criadas por tais autores e, ao lado de cada categoria há uma descrição e uma interpretação para o contexto desta pesquisa.

Quadro 2.1. Categorias de Ajuda.

Estratégia	Interpretação
Estruturação das tarefas e das funcionalidades	Visualização de tarefas complexas através da ordenação das sub-tarefas. Durante a modelagem do problema, o indivíduo é conduzido através de sub-tarefas que não necessariamente são seqüenciais. O processo de modelagem conduz o usuário a pensar nas relações envolvidas no problema.
	Definição do espaço das atividades usando "modalidades funcionais", ou seja, utilização de categorias funcionais. No nosso caso, o primeiro passo para a resolução do problema é categorizá-lo segundo as categorias propostas por (Vergnaud, 1986). Neste momento, o usuário lê o problema e precisa pensar e identificar a qual categoria ele pertence.
Fornecer o acesso ao conhecimento do tutor	Forneça informações meta-cognitivas, ou seja, informações sobre o campo conceitual estudado. Um exemplo disso é utilizar ícones manipuláveis e inspecionáveis que contêm uma breve explicação sobre o conceito metaforicamente representado, ou ainda como sugeriu (Gravina,1998) fazer a captura dos procedimentos realizados na interface. Os procedimentos realizados pelos alunos são gravados, e mediante solicitação, o histórico de sua interação é exibido. Segundo a mesma autora, esta estratégia possibilita a reflexão sobre suas ações e a identificação de possíveis razões para seus conflitos cognitivos. Além disso, segundo Nielsen, (1993), esse recurso também permite descobrir problemas de usabilidade e entender suas causas.
Automatização de tarefas.	Automatize parcelas das tarefas para reduzir demandas cognitivas desconhecidas do indivíduo. Caso o indivíduo não consiga realizar algum passo da tarefa, esse passo será automatizado e, a partir de então, o usuário prossegue na interação.
Usar diferentes representações do mesmo conceito.	Dê aos aprendizes a habilidade de manipular com diferentes visões do mesmo conceito através da utilização de múltiplas representações. Segundo Gravina (1998) os programas que utilizam diferentes sistemas de representação apresentam-se como potentes recursos pedagógicos, pois o aluno pode concentrar-se em interpretar o efeito de suas ações frente às diferentes representações. A autora continua dizendo que "*a multiplicidade de desenhos enriquece a concretização mental, não existindo mais as situações prototípicas responsáveis pelo entendimento inadequado*".
	Dê aos aprendizes 'visões trocáveis' que permitam, através da manipulação direta, a mudança entre as representações.
Usar as representações e uma linguagem que representam os conceitos metaforicamente	Menu com ícones que representam metaforicamente os conceitos a serem aprendidos. No nosso caso, estamos utilizando a legenda de (Vergnaud, 1986).
Usar uma terminologia que constrói conceitos complexos a partir de conceitos intuitivos.	Através do uso de material concreto, é possível criar conceitos abstratos a partir de conceitos simples. (Kamii et al., 2001).

Interfaces inteligentes

Para Ross (2000), as interfaces inteligentes podem ser categorizadas em três classes: interfaces adaptativas, com interfaces de manipulação direta; interfaces intermediárias e agentes de interface. No primeiro tipo, um mecanismo de adaptação é adicionado a uma interface de manipulação direta já existente. No segundo caso, as interfaces intermediárias mudam a natureza das interações para filtrar informações ou para gerar

valores de dados sugeridos. No terceiro caso, os agentes de interface podem servir para uma variedade de propósitos, mas a maior importância desses agentes é o de oferecer um suporte pro ativo (*Ibid*) aos usuários. Por esse motivo, as interfaces inteligentes aqui propostas são operacionalizadas por agentes de interface.

Agentes de interface

De acordo Russell e Norvig (2004), um agente é uma entidade que percebe o ambiente por meio dos sensores e atua no ambiente através dos atuadores. Muitos autores sugerem outras definições para agente inteligente, mas todos concordam com o fato de que a autonomia é o conceito central de um agente, ou seja, um agente agirá de forma independente no ambiente com a finalidade de cumprir tarefas para alcançar seus objetivos.

Para um agente ser considerando de interface ele deve estar inserido em um ambiente que possua uma interface de usuário. Um agente de interface pode perceber as ações do usuário na interface, podendo agir sobre a mesma usando seus recursos de manipulação direta. Um agente pode adicionar gráfico e animações à interface; comunicar-se com outras saídas de comunicação, ou mesmo usar os seus sensores e atuadores para se comunicar com o mundo real. (Lieberman e Selker 2003).

Desde a década de 80, que o campo da Interação Humano Computador (IHC) tem concentrado grande parte de suas pesquisas no desenvolvimento de interfaces chamadas interfaces de manipulação direta. Para Shneiderman (1997), o princípio da manipulação direta está na visualização de todos os objetos utilizados no momento, e associado a ações reversíveis e incrementais. Uma visão mais detalhada sobre manipulação direta é oferecida na seção 0.

Embora, os benefícios da manipulação direta, sejam há muito propalados, alguns autores vislumbram o limite para o uso dessa forma de interação em ambientes educacionais (Hutchins, 1985, Holst, 1996, Sedighian et al. 1997, Sedig, 2001, Gomes, 2001) e concordam que, sozinho, o estilo de interação manipulação direta não é suficiente para suportar a modelagem situações promotoras de aprendizagem, pois eles simplificam a interação, exigindo pouco esforço cognitivo por parte dos usuários. Além dos motivos educacionais, discutidos na seção 0, Maes (1994) já discutira a

personalização e a necessidade de delegação frente ao aumento do número de tarefas, que são realizadas. Segundo essa autora, o aumento do número de tarefas constitui um dos motivadores da utilização de agentes de softwares, conduzindo para a necessidade de delegar.

No que diz respeito à associação da manipulação direta com agentes de interface, em Shneiderman e Maes, (1997) há uma discordância entre os autores, pois enquanto o último autor justifica o uso de agentes frente ao aumento do número de tarefas, o primeiro autor diz que a utilização de agentes de software reduz a previsibilidade das interfaces e retira a responsabilidade do usuário, causando uma confusão entre as atividades do usuário e as atividades do agente de software. Além disso, Shneiderman, (1998) continua, dizendo que não acha que a Interação Humano – Humano, cuja forma é metaforizada pelos agentes de interface, seja a melhor alternativa para ser seguida por um projetista de interface.

Apesar da discussão entre os autores, para Maes em Shneiderman e Maes (1997) a manipulação direta e a delegação se complementam, pois um agente de software é mais um usuário dos mecanismos de manipulação direta. No mecanismo de delegação, o cerne deixa de ser a edição de um objeto gráfico da interface, por exemplo, para ser o objetivo do usuário, a tarefa que ele deseja fazer. Mandar uma mensagem eletrônica, escrever um artigo, fazer alguma transação financeira, etc. Dessa forma, o agente colabora com o usuário para alcançar tais objetivos mediante, por exemplo, a realização de tarefas repetitivas.

Dentre os tipos de agentes, em função de suas tarefas, destacam-se:

- Agentes de interface colaborativos cujo principal objetivo é proporcionar a colaboração entre seres humanos.

- Agentes de interfaces adaptativas, que observam o usuário e decidem qual componente ou mecanismo da interface é mais adequado para ele.

- Agentes assistentes, que ajudam o usuário na execução de alguma atividade, ou seja, assumem atividades que antes eram executadas pelo usuário.

- Agentes conselheiros que apenas fazem sugestões ao usuário. Nessa categoria,

destacam-se agentes tutores. Em tais sistemas, o usuário pode agir na interface sem se preocupar com o agente, mas em situações oportunas, esse pode mostrar sugestões, ou utilizar o mecanismo de manipulação direta para atuar sobre os objetos da interface, levando em consideração as percepções recebidas da interface.

Neste trabalho, estamos interessados nos agentes tutores para operacionalizar uma aproximação do mecanismo de *Scaffolding* ou suporte interacional, que, segundo a literatura em educação, é a ajuda recebida durante a resolução de problemas. Maiores detalhes sobre *Scaffolding* foram discutidos na seção 0. Os requisitos funcionais da sociedade de agentes serão obtidos a partir das etapas presentes na metodologia adotada neste trabalho. Nesse ponto ficará mais clara a divisão das tarefas entre os usuários e os agentes de interface. Em se tratando de uma finalidade instrucional, os agentes que ora desenvolvemos são chamados de agentes pedagógicos, cujo objetivo visa à aprendizagem de conceitos por parte do usuário.

Agentes Pedagógicos

Os agentes pedagógicos propostos são agentes inteligentes colaborativos (Wooldridge, 2002), que realizam o acompanhamento da evolução do usuário durante a execução das tarefas. Tais agentes são projetados com finalidades educacionais, sendo utilizados para mediar a aprendizagem humana e executam várias tarefas, como, por exemplo, incentivar a colaboração entre os alunos, criar estratégias de intervenção e motivação para a realização das tarefas, atuam como tutores, incentivadores, críticos e facilitadores. Conforme Giraffa e Viccari (1998), os agentes pedagógicos têm o conjunto de objetivos e estratégias de ensino e utilizam os recursos do ambiente de aprendizagem para alcançar esses objetivos. Os agentes tutores, em particular, são entidades cuja finalidade pedagógica é comunicar-se com o estudante e cumprir eficientemente sua função de tutor.

Os agentes aqui propostos utilizarão uma base de conhecimento contendo o modelo do usuário para subsidiar a tomada de decisão, acerca da necessidade de ajuda, e escolher a estratégia pedagógica apropriada. Cada usuário terá seus padrões comportamentais, conhecimentos e preferências armazenados e atualizados a cada nova interação. As informações constantes no modelo do usuário, as percepções, ações, ambientes,

objetivos e arquiteturas de cada agente, bem como a comunicação entre eles serão derivados dos resultados encontrados durante a metodologia.

Ao longo desse capítulo, os estilos de interação não são inócuos à aprendizagem, e a análise dos diversos tipos nos possibilita fazer a escolha mais adequada tendo em vista a interface que desejamos propor. Mediante esta análise prévia, percebeu-se que a manipulação direta estendida com *Scaffolding* foi o estilo que proporcionou o maior esforço cognitivo. Sendo assim, o mesmo foi escolhido como o mecanismo pedagógico para ser operacionalizado na interface que ora propomos.

3. Referenciais Teóricos

Em se tratando de uma interface educativa, é preciso utilizar referenciais capazes de orientar em como perceber e acompanhar a evolução do usuário na aprendizagem dos conceitos metaforicamente representados. Além disso, é necessário utilizar referenciais que possibilitem melhorar aspectos relativos à usabilidade e à comunicabilidade da interface. Dessa forma, identificamos três referenciais que, juntos, oferecem subsídios para a obtenção de resultados qualitativos sobre a usabilidade da interface e sobre a aprendizagem dos conceitos veiculados pela mesma. No que diz respeito à aprendizagem, usaremos a teoria dos campos conceituais de (Vergnuad, 1986) e a análise instrumental proposta por (Gomes, 2005). No que concerne à usabilidade, usaremos design centrado no usuário descrito por (Bevan, 1999) e a análise da comunicabilidade proposta por De Souza, (1999).

Teoria dos Campos Conceituais para representação dos conceitos observados na ação do usuário

Segundo Vergnaud (1986), as estruturas aditivas, assim como outros conceitos matemáticos, são formadas por classes de problemas, os quais possuem estruturas e operações de pensamento diferentes. Ele percebeu que, para um estudante ter aprendido os conceitos sobre estruturas aditivas, era necessário estudar conjuntos bastante vastos de situações e conceitos. Esse conjunto de situações e conceitos ele chamou de campo conceitual. Para o mesmo autor, a aprendizagem desse campo conceitual não acontece em curto prazo, mas, pelo contrário, ocorre por aproximações sucessivas ao longo de um período tempo. Suas pesquisas indicam que 75% de alunos com quinze anos de idade ainda falham em determinados problemas de soma (Vergnaud, 1986).

Além do campo conceitual, que agrupa as correlações presentes nas classes de problemas diferentes, (Vergnaud, 1986) discute o conceito de invariante, que, segundo ele é uma propriedade ou uma relação que é conservada ao longo de um conjunto de transformações. Citando exemplos de relações binárias como um tipo de invariante, o mesmo autor diz que as relações de um nível lógico maior do que as relações binárias são chamadas de teoremas, e considerando que esses teoremas são contextualizados, ou

seja, possuem uma validade local e é associado a um conjunto de valores e variáveis, o autor chamou-os de teoremas-em-ato. Um teorema-em-ato é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real (Vergnaud, 1986). Dessa forma, o autor sugere que existem muitos teoremas-em-ato, que podem ser identificados na resolução de problemas sobre adição e multiplicação.

Os teoremas-em-ato (t.e.a.) mobilizados pelo usuário, durante o uso de uma interface, podem ser falsos ou verdadeiros. Os t.e.a. falsos correspondem a proposições incorretas consideradas como verdadeiras pelos usuários durante os gestos. Os t.e.a. verdadeiros são proposições corretas.

No que diz respeito à aprendizagem dos conceitos, (Vergnaud, 1986) considera que os teoremas-em-ato permitem avaliar e analisar, de maneira rigorosa, os conhecimentos do estudante a partir de inferências que o pesquisador faz sobre a observação do comportamento dos usuários. A partir do exposto, a aprendizagem neste trabalho acontecerá por meio da exposição do usuário a várias situações problema, estimuladoras de questionamentos, sobre os teoremas-em-ato falsos do estudante, e capazes de conduzir o estudante a revisão dos seus planos iniciais.

Análise Instrumental

A análise instrumental proposta por (Gomes, 2005) foi concebida a partir da abordagem instrumental de Rabardel e da teoria de conceptualização de Vergnaud. Para criar tal forma de análise, o autor adotou o modelo de esquema mental proposto por (Vergnaud, 1997 *apud* Gomes 2005) que permite descrever a organização das ações e identificar, por meio de inferências, os elementos e a dinâmica internos de tais esquemas mentais. Esse autor propõe que a representação interna a um esquema é composta de informações acerca da realidade que rodeia o usuário e do uso de artefatos (regras de ação), de seus objetivos e conhecimentos identificáveis como científicos, mesmo que implícitos e não explicitáveis pelos usuários (invariantes). A regras são conhecimentos acerca de: (i) aspectos da estrutura de problemas a serem resolvidos, (ii) característica, funções e propriedades do artefato escolhido, (iii) aspectos subjacentes à escolha de um determinado artefato, ou ainda (iv), aspectos subjacentes a uma interação social. Os invariantes são conhecimentos, que correspondem a conceitos ou propriedades de

conceitos de uma teoria de referência.

De acordo com (Rabardel, 1995 *apud* Borges, 2004), a apropriação dos instrumentos pelo indivíduo não ocorre de forma espontânea, mas através de um processo de gênese instrumental, a qual compreende um duplo processo de apropriação dos instrumentos:

"Um processo de instrumentalização, relativo ao artefato: onde o indivíduo seleciona, re-agrupa, modifica e produz funções, atribui propriedades aos artefatos, transforma suas estruturas, seu funcionamento, etc. O indivíduo "enriquece" o artefato."(Borges, 2004).

"Um processo de instrumentação, relativo ao indivíduo: onde o indivíduo cria, produz, re-produz, modifica, atualiza seus esquemas de utilização dos artefatos e de ações instrumentadas, ele coordena, assimila e transforma seus esquemas de utilização associando-os a novos artefatos. O indivíduo "enriquece" seus esquemas mentais de uso. (Rabardel, 1995, p. 137)."(Borges, 2004).

Para (Gomes, 2005), o acompanhamento da instrumentação permite observar a adaptação dos usuários às interfaces. Para estabelecer de forma coerente uma relação entre a adaptação dos usuários às interfaces e à consecutiva aprendizagem, (Gomes, 2005) propôs um modelo que articula as dimensões material e cognitiva da atividade. Para tanto, analisou-se as ações dos usuários com as interfaces como sendo ações instrumentais, como definido por Rabardel (1995, *apud* Gomes 2005). Segundo Gomes (2005; p.3) "*um instrumento existe quando um esquema mental organiza a ação com um artefato (parte de uma interface, por exemplo). Artefatos, materiais ou virtuais, são meios para atingir um objetivo. Esquemas especializam-se ao uso de artefatos particulares"*.

Sendo assim, Gomes, (2005) constituiu um novo conceito de instrumento, substituindo o elemento esquema como definido por Piaget, pelo novo esquema definido por (Vergnaud, 1997 *apud* Gomes 2005). Dessa forma, partindo-se desse novo conceito de instrumento foi possível tratar o problema da aprendizagem que ocorre durante o uso de artefatos de forma direta(*Ibid*). A seguir, a figura que representa o novo conceito de instrumento proposto.

Figura 3.1. Estrutura do instrumento com esquema proposto por Vergnaud

Conforme o mesmo autor, para esse modelo, o uso de interfaces educativas é analisado em duas etapas. Em primeiro lugar, analisa-se a adaptação dos usuários à interface, processo denominado de gênese instrumental. Nesse caso, são analisados: a organização do esquema mental e os aspectos da estrutura do artefato. Num segundo momento, analisa-se a aprendizagem que ocorre durante o seu uso. Tal análise é feita mediante a verificação de regularidades na associação das regras de utilização com os invariantes mobilizados pelo usuário durante o uso da interface.

Análise da Comunicabilidade

Em seu método De Souza, (1999), os sistemas são vistos como meios pelos quais os designers se comunicam com os usuários. Para suportar especialmente os diálogos que sucedem a uma ruptura de comunicação, os designers devem ter recursos para oferecer perguntas, interjeições e indicações, que os usuários podem utilizar para expressar suas dúvidas. Sendo assim, a autora propõe um deslocamento do foco, anteriormente direcionado apenas à usabilidade, para o foco na conversação. Esse método complementa os resultados oferecidos pelos testes de usabilidade. O método para a avaliação da comunicabilidade possibilita encontrar conflitos na interação dos usuários com sistemas computadorizados. A fim de melhorar os aspectos relativos à comunicabilidade no projeto de interfaces, a mesma autora diz que tanto o deslocamento proposto da usabilidade para a comunicabilidade, quanto a conversação sobre os vários tópicos, pertencentes ao domínio da tarefa juntamente com a própria interação, devem ser cuidadosamente decididos por designers(*Ibid*). Assim, a análise da comunicabilidade deve iniciar procurando as expressões que traduzem as dúvidas, frustrações e confusões dos usuários. Tais expressões serão posteriormente incorporadas à interface de modo que assim que, o usuário tiver uma dúvida sobre o processo de

interação, ele possa recorrer ao artefato que representa a expressão que melhor traduz a sua necessidade.

4. Metodologia e Resultados

A criação de um software educativo de boa qualidade requer a observação de detalhes em cada etapa de desenvolvimento. Segundo Gomes e Wanderley (2003). "*Trata-se da criação de um sistema dinâmico com especificações e requisitos específicos quanto à interação com o usuário e seu impacto sobre a aprendizagem*".

Tendo em vista o exposto, apenas a análise da tarefa (Hackos e Redish, 2002) é insuficiente, pois neste contexto não apenas a tarefa é relevante, mas também os aspectos cognitivos dos usuários. Dessa forma, faz-se necessária a utilização de técnicas, que além de proporcionar usabilidade, sejam capazes de avaliar a aprendizagem relacionada ao uso da interface. Sendo assim, além das atividades presentes na ISO 13407 (Bevan, 1999), identificamos a necessidade da utilização de um referencial teórico que suporte o acompanhamento da aprendizagem conseqüente do uso.

Objetivando a verificação da hipótese que ora exploramos, adotamos um processo de desenvolvimento iterativo centrado no usuário cujo objetivo é fazer um acompanhamento constante da concepção do sistema, possibilitando a descoberta de problemas de usabilidade ainda durante o seu processo de construção. É essencial entender as necessidades dos usuários no momento em que estão vivendo uma situação de uso da interface. Nesse momento, podem surgir necessidades e padrões comportamentais que, de outra maneira, não seriam percebidos.

Para Maguire (2001), o processo de desenvolvimento de sistemas centrados no usuário é o caminho para desenvolver sistemas de melhor usabilidade que atendam às necessidades específicas de cada usuário. Isso porque o *Human Centered Desing* (HCD) incorpora, dentro do processo de desenvolvimento, a perspectiva do usuário. O HCD é utilizado como uma metodologia para o desenvolvimento de sistemas interativos em que se destacam: o envolvimento ativo do usuário, possibilitando entender sua perspectiva durante a execução de uma dada tarefa; a divisão das funções que serão feitas pelo usuário e pelo sistema; a interação constante do usuário no processo de desenvolvimento através do "*feedback*" do mesmo. Mediante esse processo, objetiva-se

diminuir os riscos de insatisfação com o resultado final. Na Figura 4.1, estão as atividades presentes na ISO 13407, metodologia utilizada para desenvolver sistemas interativos com qualidade em uso.

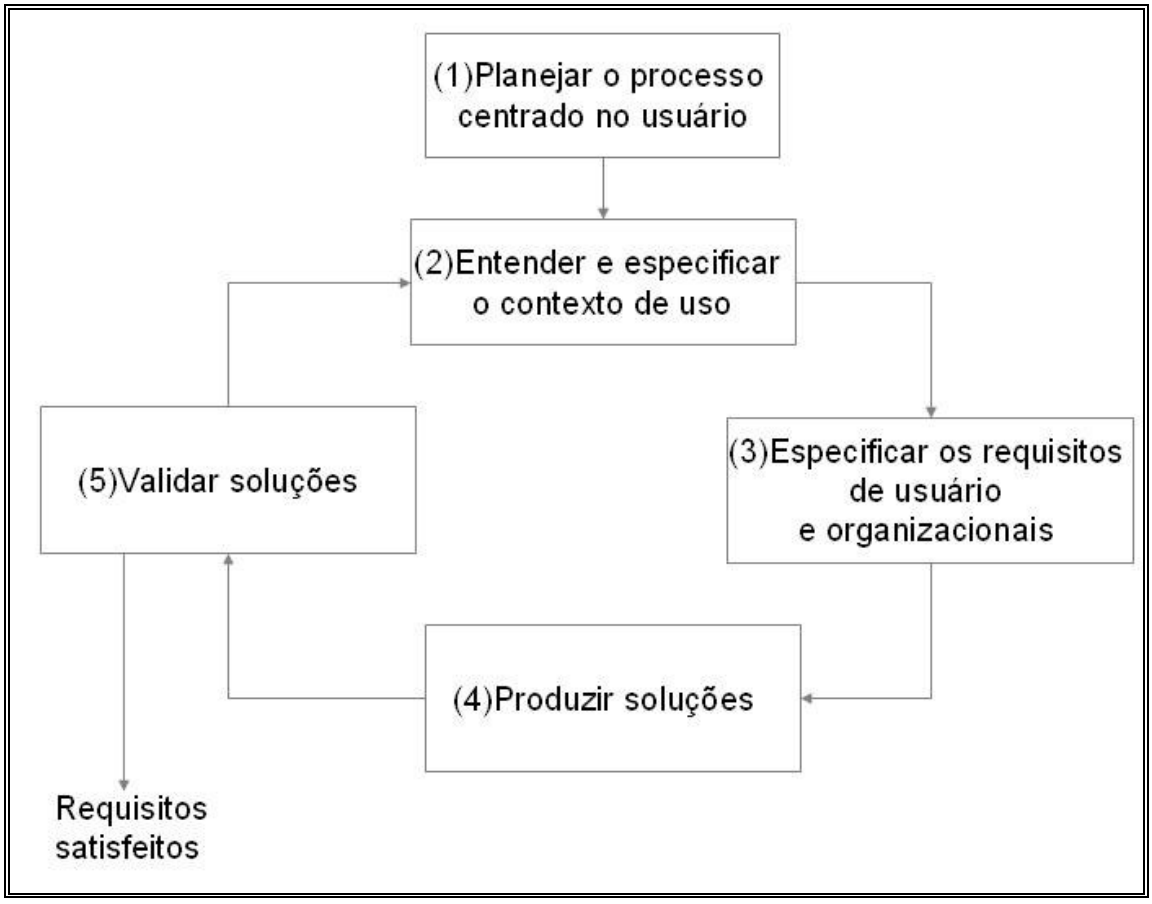


Figura 4.1. ISO 13407.

A Figura 4.1 apresenta os grupos de atividades presentes na proposição do padrão ISO 13407. Na atividade um (1), são realizadas tarefas relativas à análise do uso da metodologia, estudos de viabilidade, motivos para o uso e impacto que o uso trará no resultado final. Na atividade dois (2), realiza-se uma identificação dos usuários representativos, suas tarefas e o ambiente em que a tarefa será executada (Bevan, 1999). Na atividade (3), especifica-se os usuários e requisitos organizacionais, as métricas de qualidade e aceitação são identificadas. Na atividade quatro (4), constrói-se um protótipo e submete-o a um teste, visando refinar o protótipo para alcançar as métricas de qualidade anteriormente identificadas. Finalmente, na atividade cinco (5), procede-se com a avaliação dos resultados frente às métricas identificadas e às exigências de qualidade e aceitação.

Em nossa pesquisa, utilizamos algumas atividades da ISO 13407 e incorporamos outras mais. A seguir, a Figura 4.2 contendo as atividades em nossa metodologia, o fluxo das mesmas e, para cada atividade, os resultados desejados.

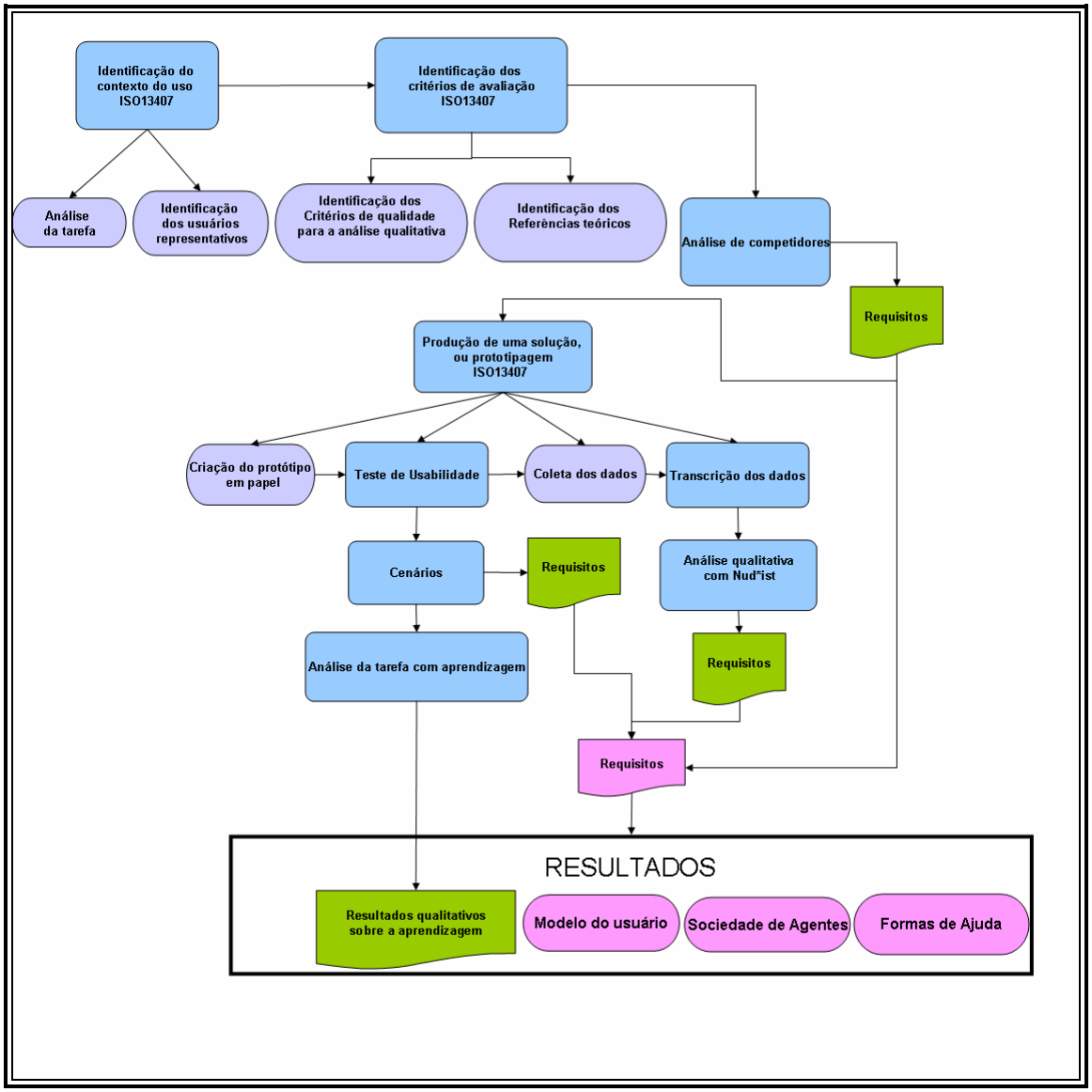


Figura 4.2. Metodologia adotada na pesquisa.

Conforme sua apresentação na Figura 4.1, a ISO 13407 define as atividades centradas no usuário, utilizadas para melhorar o desenvolvimento de software. Ela fornece orientações para conseguir a melhor "*qualidade em uso*" possível. Como se pode ver na Figura 4.2, incorporamos atividades da ISO 13407 em nossa metodologia, a saber: 1) identificação do contexto do uso; 2) identificação dos critérios de avaliação; e 3) produção de uma solução ou prototipagem. Na primeira parte, procede-se à escolha dos usuários representativos e análise da tarefa que será executada no uso da interface. No

segundo caso, identificam-se os critérios de qualidade tendo em vista o contexto do uso. No terceiro caso, propõe-se um protótipo em papel (Snyder, 2003), concebido a partir do contexto do uso e do estudo dos sistemas relacionados.

Ainda observando a Figura 4.2, podemos ver a incorporação: 1) da Análise de competidores ou sistemas relacionados; 2) de Cenários; e 3) da Análise da tarefa com acompanhamento da aprendizagem conseqüente do uso da interface. No primeiro caso, analisaremos as estratégias utilizadas pelos competidores, ressaltando seus pontos fortes e fracos, considerando como critério de comparação, as formas de ajuda e o modelo do usuário. No segundo caso, criaremos cenários (Bødker, 1991; Carroll, 2000; Kujala *et al.*, 2001) cujo objetivo será perceber as necessidades que emergiram durante o uso do protótipo. No terceiro caso, temos a análise da tarefa com aprendizagem (Gomes, 2005). Juntos, os resultados oferecidos por essas atividades responderão a nossa pergunta de pesquisa escrita na seção 0.

Identificação do contexto do uso

Consideramos apenas duas dimensões do contexto do uso discutido em (Bevan e Azuma, 1997): o usuário e a tarefa. Os usuários são professores da rede pública que estão adquirindo habilidades no campo conceitual das estruturas aditivas, mas já possuem conhecimento sobre o domínio (Nielsen, 1993). A tarefa executada é a resolução de situações problemas do mesmo campo conceitual. Inicialmente, pretendemos acompanhar o usuário na execução da tarefa e identificar as necessidades que emergiram durante o uso da interface. Esse acompanhamento visa subsidiar a escolha dos *feedbacks* mais apropriados, que serão fornecidos pela interface, enquanto o usuário executa a tarefa. Aqui, não será tratada a questão colaborativa, ou seja, existe apenas um usuário interagindo com o sistema. Essa interação consiste na resolução de problemas matemáticos sobre estruturas aditivas mediante um processo de modelagem do problema (Ogborn, 1998; Rappin *et al.*, 1997).

A interface que iremos propor será utilizada para mediar a aprendizagem sobre o campo conceitual das estruturas aditivas. Para isso, na página 45 discutimos os referenciais teóricos que explicam como analisar qualitativamente a aprendizagem sobre as estruturas aditivas, e representar tais conceitos.

Na Figura 4.2, além da identificação dos referenciais teóricos, fizemos a análise da tarefa. A qual nos possibilitou entender o processo de modelagem do problema, encontrando os procedimentos para sua realização e seus pontos de ruptura. A seguir, apresentamos o processo de modelagem do problema juntamente com a representação dos conceitos e da análise da tarefa.

Usuários

Para a realização deste estudo foram convidados cinco professores de matemática com experiência de ensino com estruturas aditivas. Tais indivíduos lecionam em instituições de ensino público e, ou, privado da região metropolitana do Recife. Entre os docentes que participaram deste experimento havia tanto professores com variados níveis de formação. Em nossa pesquisa, estamos interessados em avaliar o usuário na resolução de problemas sobre estruturas aditivas, usando a legenda de Vergnaud e, como o teste foi realizado com uma interface em papel, não houve pré-requisito quanto à habilidade com o uso de computadores. A dimensão para a escolha dos usuários foi o conhecimento do domínio Nielsen (1993). Logo os usuários envolvidos foram professores de matemática que já tenham experiência inicial com o domínio das estruturas aditivas.

Processo de modelagem do problema

Na interface que ora propomos o usuário resolve um problema de estruturas aditivas através da construção de uma representação da estrutura subjacente do problema proposto num enunciado. Ogborn (1997 *apud* Gravina, 1998: p. 12) diz que:

> *"Quando se constróem modelos, começa-se a pensar matematicamente. A análise de um modelo matemático, pode levar à compreensão de conceitos profundos, como por exemplo, a noção fundamental de taxa de variação... A criação de modelos é o início do pensamento puramente teórico sobre o funcionamento das coisas."*.

(Gravina 1998: p. 12) complementa:

> *"A característica dominante da modelagem é a explicitação, manipulação e compreensão das relações entre as variáveis que controlam o fenômeno, sendo o feedback visual oferecido pela máquina um recurso fundamental para o 'ajuste' de idéias"*.

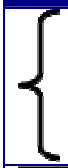
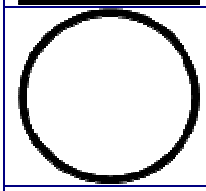
Além dessa autora, Self, (1990) exemplifica a resolução de problemas utilizada pelo

AlgebraLand (Foss, 1987 *apud* Self, 1990) como um processo de busca, no qual o usuário executa um plano parcialmente ordenado em direção à solução do problema. Na execução deste plano, o usuário pode ter dúvidas e ou, retroceder a uma tarefa anterior. Segundo O'Hara e Payne (1998), esse retrocesso é causado por um 'replanejamento', ou revisão dos planos, durante a resolução dos problemas. Nessas ocasiões pode haver uma interferência oportuna do sistema, lembrando ao usuário propriedades estruturais do espaço de busca relacionadas aos conceitos veiculados na interface.

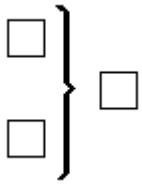
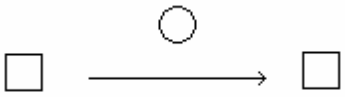
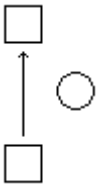
Considerando-se o exposto, nossa interface deve oferecer ao usuário a possibilidade de resolver os problemas mediante um processo de modelagem pela representação, o qual visa a construção de um diagrama que representa as relações que figuram no texto. Nesse processo, o modelo é construído, usando-se os recursos do ambiente. Através da modelagem, o usuário é conduzido a pensar nas relações envolvidas no problema. Segundo Gravina (1998), um dos grandes desafios para os educadores é encontrar os caminhos que levem seus alunos a apropriarem-se dos conhecimentos matemáticos.

No que diz respeito à apropriação dos conceitos veiculados pela interface, Hutchins,(1985); Normando, (1987 *apud* Reiser, 2002) já enfatizaram que a natureza das ferramentas utilizadas influencia na forma como se pensa sobre a tarefa executada, e essa influência é particularmente verdadeira quando as tarefas envolvem alcançar, manipular, armazenar, ou raciocinar sobre uma informação. Neste trabalho utilizamos a legenda de Vergnaud, (1986) para oferecer o processo de modelagem. Seguem o Quadro 4.1 e o Quadro 4.2, um contendo a legenda utilizada, e outro contendo os diagramas correspondentes às categorias definidas pelo mesmo autor.

Quadro 4.1. Legenda de Vergnaud.

Legenda	Descrição
	A chave representa a composição de duas medidas ou grandezas.
	O quadrado representa uma medida ou um número natural.
	O círculo representa o número relativo.
	A seta horizontal representa uma transformação.
	A seta vertical representa uma comparação.

Quadro 4.2. Diagramas de composição, transformação e comparação.

Situação	Diagrama
I. Composição de medidas João tem 12 petecas e Pedro tem 17. Quantas petecas eles têm juntos? São duas quantidades, que estão expressas, de existência concomitante, a partir das quais o indivíduo deve compor uma terceira quantidade.	
II. Transformação de medida Maria tinha 23 bombons. Ao final do dia, percebeu que só tinha 17. Quantos bombons Maria comeu durante aquele dia? A quantidade inicial e final são conhecidas, mas, no caso, o que se deseja saber é o valor da transformação que ocorre entre o primeiro e o segundo momento.	
III. Comparação de medidas Eu tenho 16 livros, você tem 43. Quantos livros você tem a mais do que eu? Mais uma vez as quantidades são conhecidas e concomitantes, buscando-se comparar a diferença existente entre as duas (relação).	

No Quadro 4.2, na primeira coluna têm-se a situação problema e na segunda coluna o diagrama, que deve ser construído para alcançar a solução do problema. De cima para baixo, o primeiro diagrama é composto por quatro quadrados, que representam números naturais e uma chave. Para concluir o processo de modelagem o estudante deve inserir os números que representam os cardinais presentes no texto dentro desses quadrados; um deles conterá o elemento desconhecido, que é a resposta do problema. No diagrama do meio, têm-se dois quadrados, uma seta e um circulo. Os quadrados novamente representam os números naturais, o circulo representa o número relativo (uma transformação) e, a seta representa a direção da operação. O quadrado da esquerda representa o estado inicial da transformação, o da direita, o estado final e, o círculo representa o número relativo. Um problema desse tipo pode se apresentar de várias formas, e qualquer um desses três itens pode ser perguntado no problema, cabendo ao estudante identificar qual deles representa o elemento desconhecido. No terceiro de cima para baixo, há dois quadrados, um círculo e uma seta, que também identifica o sentido da operação; o quadrado de baixo representa o referente, ou seja, o número, a partir do qual está sendo feita uma comparação, o quadrado de cima representa o referido o número, que é comparado ao referente e, o círculo representa a relação entre os dois.

Ainda sob o aspecto das influências que uma interface exerce sobre o usuário (Gomes, 2005) diz que, nas interfaces de *learnware,* os conceitos são representados metaforicamente e as ações realizadas sobre os elementos construtivos da interface fazem refletir sobre os conceitos ou suas propriedades. A legenda de Vergnaud (1986), acima descrita, é utilizada para representar metaforicamente os conceitos sobre estruturas aditivas, os quais são utilizados durante a resolução dos problemas.

Durante a resolução das situações-problema, os aprendizes realizam várias ações durante o processo de modelagem do problema, e essas ações correspondem a tarefas, que podem ser divididas em subtarefas. A partir dessa divisão, avaliam-se quais os pontos da tarefa apresentam dificuldade para os estudantes e, com os resultados dessa avaliação será proposta uma ajuda baseada numa situação de uso em cada passo do processo de modelagem. A seguir, a Figura 4.3 que indica em quais pontos da modelagem a ajuda pode ser oferecida.

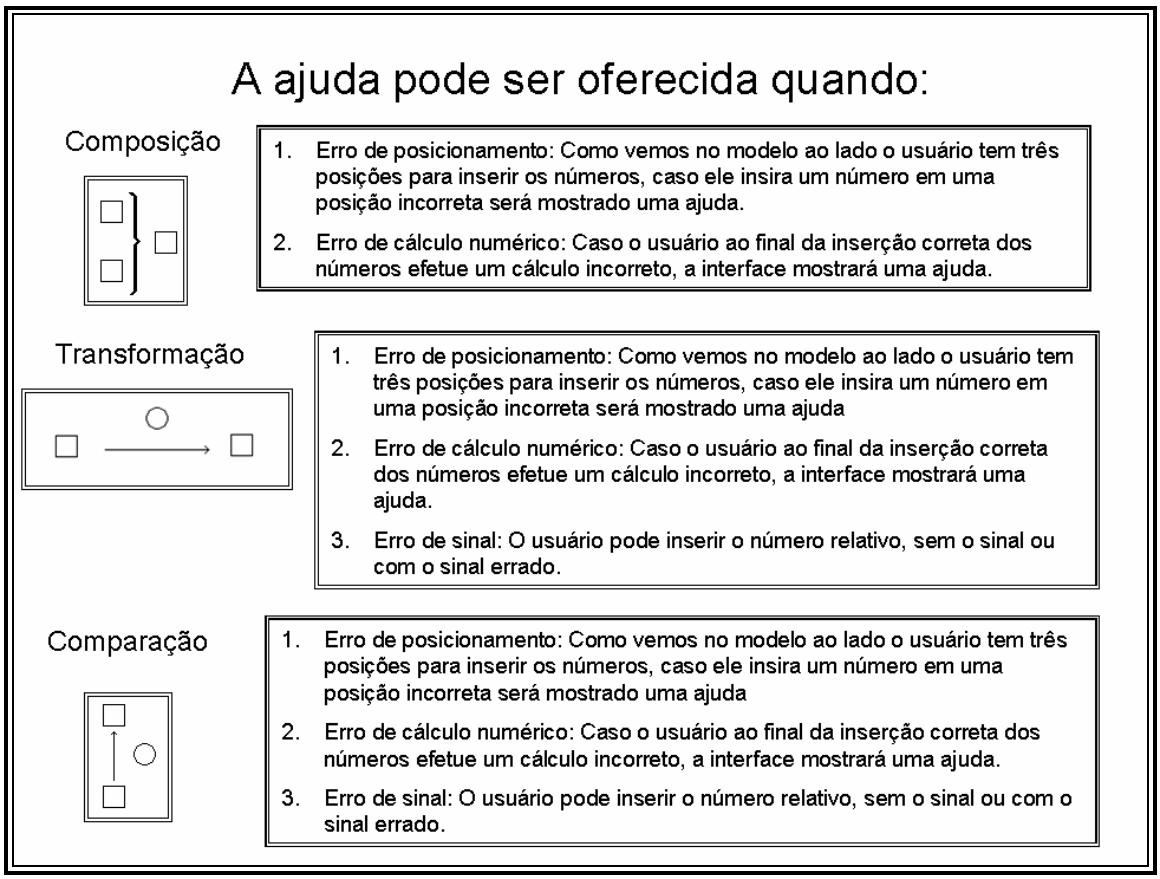


Figura 4.3. Análise dos possíveis erros e dos momentos de ajuda.

Na Figura 4.3, para cada modelo, existem pontos que podem ocorrer ruptura no processo de modelagem. Nesses pontos, o usuário pode se enganar, por vários motivos, por exemplo: falta de atenção durante o processo de modelagem, falta de conhecimento das regras que controlam as ações realizadas durante a execução da tarefa, ou, ainda, por não ter lido o problema atentamente. Em qualquer das situações citadas, nesses pontos de ruptura pode haver uma interferência da interface, lembrando ao usuário as regras, ou conhecimentos, ou aspectos estruturais do modelo, que não tenham sido percebidos por ele. A seguir, para entender melhor a tarefa executada pelos usuários na interface, suas características e seus pontos de ruptura procedemos a uma análise da tarefa.

Análise da tarefa

Em seguida, descrevemos para cada categoria exemplificada no

Quadro 4.2, as subtarefas para a resolução dos problemas. Após a montagem do diagrama ou modelo, o usuário executa o cálculo numérico. A seguir, mostramos as tarefas realizadas no processo de modelagem do problema. Para uma melhor organização, visualização e entendimento das tarefas, utilizamos o software Euterpe. O Euterpe é uma ferramenta para análise de tarefa (Hackos e Redish, 2002) desenvolvida pela *Vrije Universiteit Amsterdam*. É baseada em uma ontologia para descrever o mundo através de suas tarefas de uma maneira estruturada. A teoria por trás do Euterpe é baseada no modelo GTA – *Groupware tasky analysis* (van der Veer e M. van Welie, ,1999). Nesse modelo, a tarefa é descrita em uma hierarquia de subtarefas por meio dos seus objetos, eventos, papéis e atores. A seguir, a Figura 4.4 da ontologia utilizada no Euterpe.

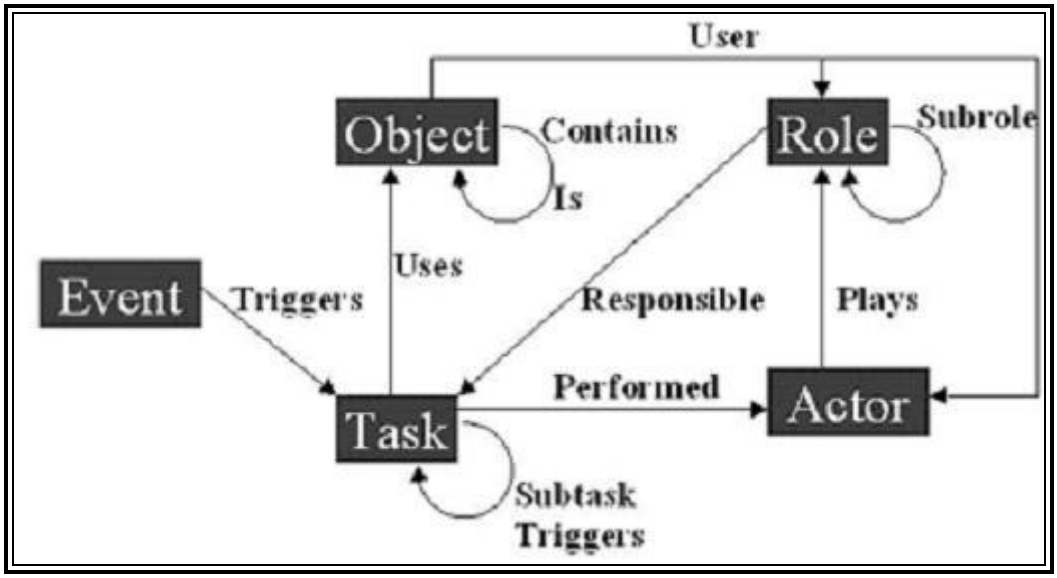


Figura 4.4:Ontologia do GTA.

Estamos interessados em descrever a tarefa realizada durante o processo de modelagem do problema utilizando a legenda de Vergnaud. Depois, mostramos a Figura 4.5, contendo a descrição hierárquica da tarefa, os objetos, papéis, eventos e atores pertencentes à tarefa em questão.

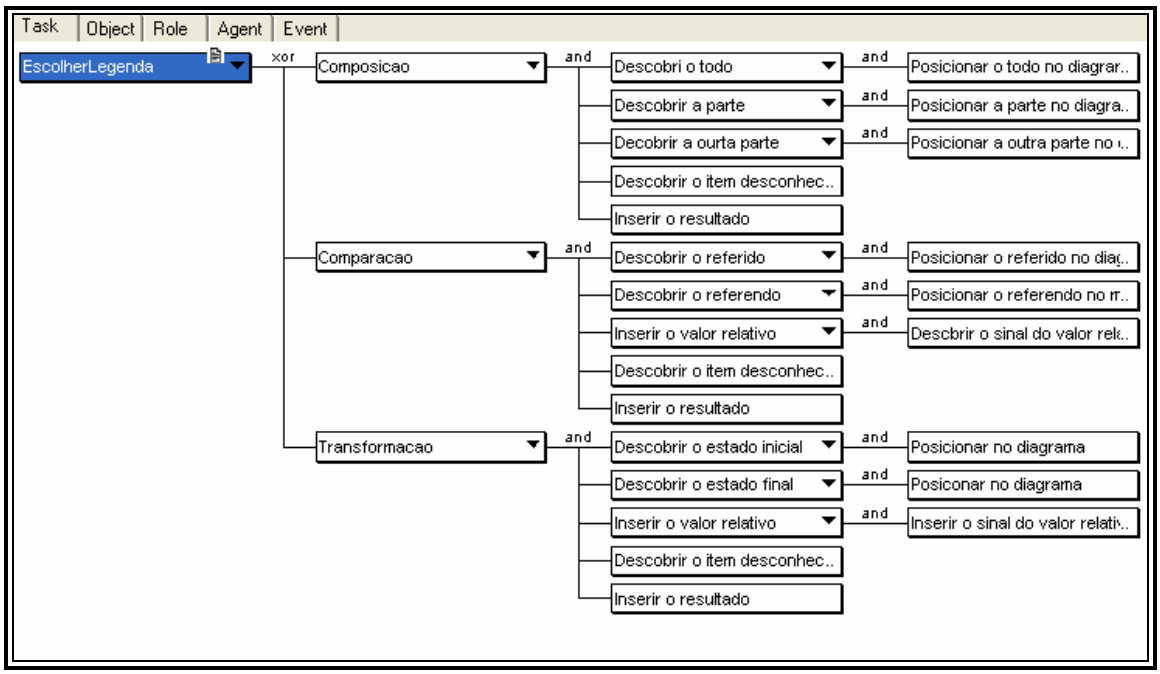


Figura 4.5. Tarefas realizadas durante a modelagem do problema.

A Figura 4.5 contém todas as tarefas que devem ser realizadas durante o processo de modelagem do problema. Essa análise nos permitiu entender o procedimento de execução da tarefa e propor ajudas específicas para cada uma delas.

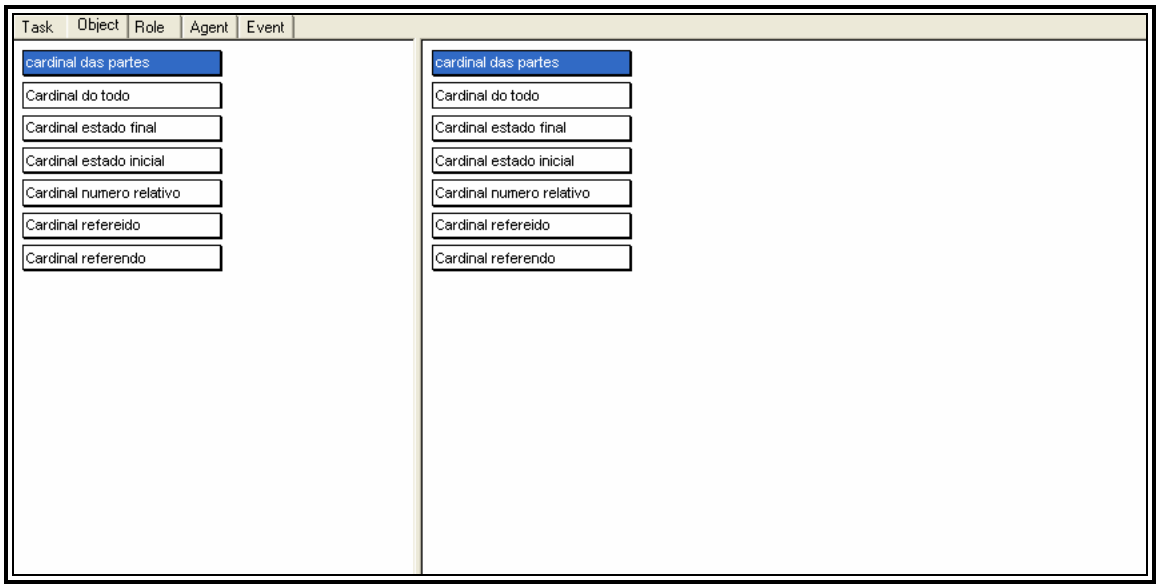


Figura 4.6. Objetos presentes na tarefa.

A Figura 4.6, acima, contém os objetos manipulados durante a execução das tarefas. Sobre eles, são executadas as operações relacionais e numéricas.

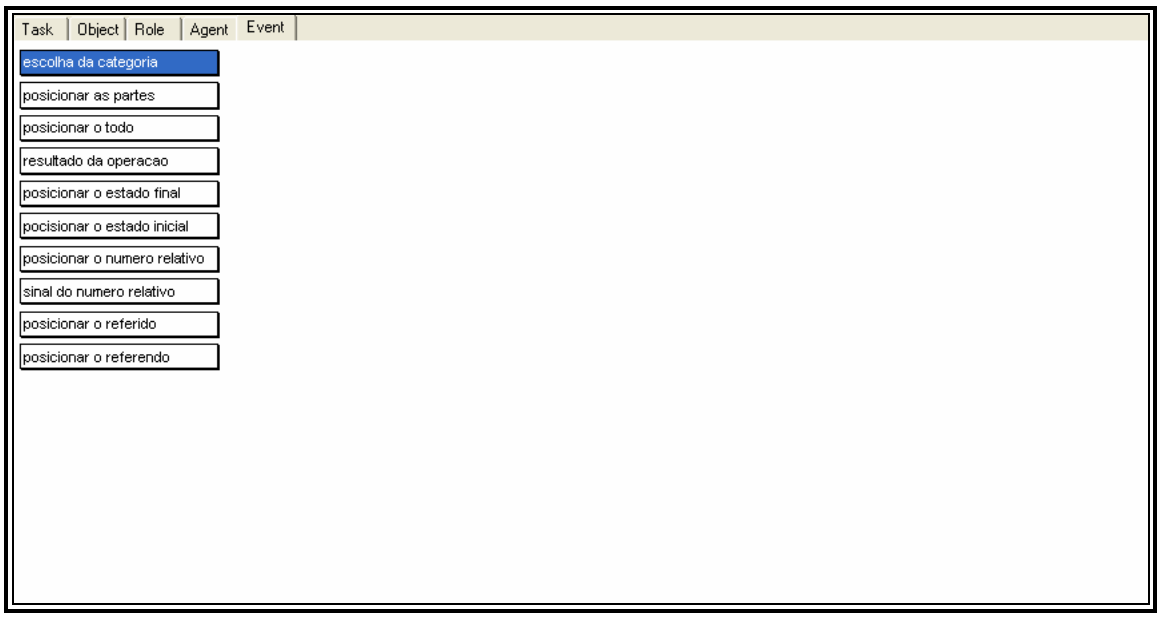


Figura 4.7. Eventos que podem ocorrer durante a execução da tarefa.

A Figura 4.7, contém os eventos que podem acontecer durante a execução das tarefas. Com base em um evento, pode ser iniciado um procedimento de ajuda. Esses, portanto, são pontos a partir dos quais será avaliada a necessidade da ajuda e a oportunidade para o oferecimento de ajuda.

Dimensões da usabilidade adotadas como critérios na avaliação da interface do sistema

Tendo em vista a Figura 4.1, a atividade que sucede à identificação do contexto do uso é a seleção dos critérios de qualidade, ou seja, especificar as exigências de qualidade que o sistema deve possuir. Para encontrar nossos objetivos de design, ou critérios de avaliação da qualidade, partimos da Identificação do contexto do uso, apoiando-nos em algumas definições:

Segundo Vergnaud (1986) as propriedades matemáticas corretas, chamadas de invariantes, permitem avaliar e analisar, de maneira rigorosa, os conhecimentos do estudante.

Para Bevan e Azuma (1997), a usabilidade é a capacidade do software de ser compreendido, aprendido e aceito pelo usuário, quando usado sob circunstâncias especificas.

De acordo com de Souza, (2001) a "*comunicabilidade de um sistema é a sua propriedade de transmitir ao usuário de forma eficaz e eficiente as intenções e princípios de interação que guiaram o seu desig. O objetivo da comunicabilidade é permitir que o usuário, através da sua interação com a aplicação, seja capaz de compreender as premissas, intenções e decisões tomadas pelo projetista durante o processo de design. Quanto maior o conhecimento do usuário da lógica do designer embutida na aplicação, maiores suas chances de conseguir fazer um uso criativo, eficiente e produtivo da aplicação. Junto com a usabilidade, a comunicabilidade pretende aumentar a aplicabilidade de software"*.

Segundo (Arroyo *et al.*, 2003) a ZDP – Zona de Desenvolvimento Proximal - criada a partir do uso de interfaces computacionais, depende da tolerância que o indivíduo tem às instruções não ótimas.

Para Gomes (2005; p.2), na interface de uma aplicação educativa, "*os conceitos são representados metaforicamente e as ações realizadas sobre os elementos construtivos da interface fazem refletir sobre os conceitos ou suas propriedades"*.

Sendo assim, podemos dizer que nossa interface educativa se propõe a comunicar ao estudante os conceitos metaforicamente representados por seus artefatos, conduzindo-o a refletir sobre tais conceitos usando de um estilo de interação compreensível e aceito pelo usuário.

Tendo em vista o exposto selecionamos três critérios:

(a) Aceitação por parte do usuário (Bevan e Azuma 1997).

(b) Compreensão, ou comunicabilidade da interface (De Souza, 1999).

(c) Aprendizagem de conceitos no uso da interface (Vegnaud, 1986, Gomes, 2005).

Concluindo, no que diz respeito ao paradigma qualitativo, queremos alcançar os critérios aqui discutidos. Na Figura 4.2, um dos resultados apresentados é a verificação qualitativa da aprendizagem durante o uso da interface. Para essa verificação, definimos quatro linhas de análise, cujos resultados irão responder a nossa pergunta de pesquisa. A seguir, a Figura 4.8 com os objetivos da análise qualitativa.

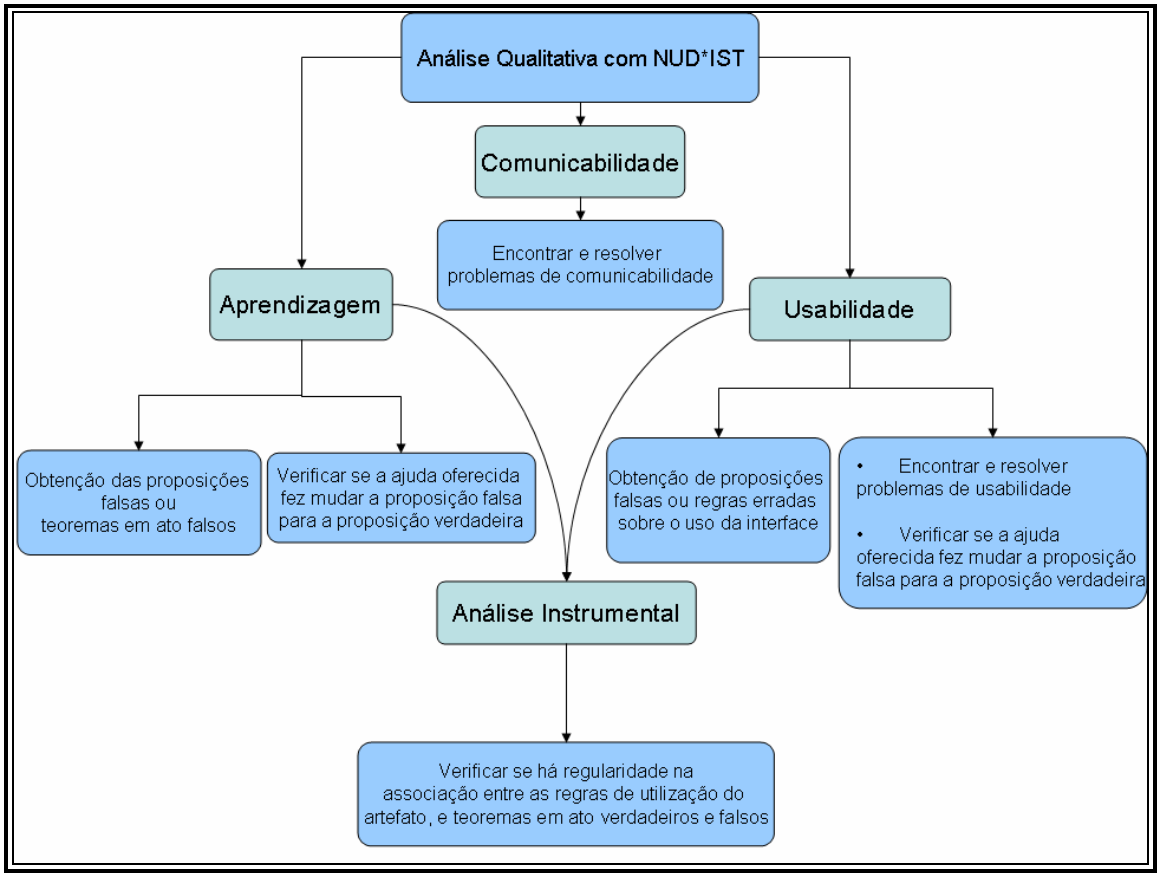


Figura 4.8. Objetivos da Análise qualitativa.

A Figura 4.8, acima, contém as quatro perspectivas que foram exploradas durante a análise qualitativa: (1) Análise da aprendizagem; (2) Análise da comunicabilidade; (3) Análise da usabilidade; (4) Análise Instrumental. A aprendizagem foi avaliada mediante a comparação dos teoremas-em-ato mobilizados antes da ajuda com os novos teoremas-em-ato mobilizados após uma ajuda da interface. A análise da comunicabilidade possibilitou encontrar categorias de interjeições, que orientaram o modo como as mensagens deveriam ser construídas. A análise da usabilidade possibilitou encontrar problemas e necessidades durante o uso da interface. As necessidades que emergiram durante o teste foram incorporadas à solução final; também, permitiu encontrar as regras erradas sobre o uso da interface. Finalmente, a análise instrumental permitiu verificar a aprendizagem relacionada ao uso da interface, Essa aprendizagem é verificada mediante observação de regularidades na associação entre regras de ação e teoremas-em-ato.

Analise dos competidores

A análise de competidores, como o próprio nome sugere, é uma exploração das

empresas em um setor da indústria, ou nicho de mercado, que estejam competindo com os produtos ou os serviços da sua companhia. Os benefícios de toda a análise dos competidores é uma melhor compreensão das atividades dos concorrentes e dos serviços oferecidos por sistemas similares ou substitutos. A partir desta análise é possível fazer uma estimativa das necessidades e melhorias no produto para torná-lo competitivo, beneficiando o seu planejamento estratégico. Entretanto, este não é o único benefício do processo de analise de concorrentes. Outro benefício da análise dos competidores envolve expandir o conhecimento da equipe envolvida oferecendo informações sobre características e necessidades que provavelmente não tenham sido consideradas.

A análise de competidores foi utilizada com o objetivo de coletar idéias acerca dos tipos de ajuda e dos modelos de usuários utilizados pelos sistemas relacionados. A partir dessa coleta, na Figura 4.2, extraímos os requisitos para a criação de um protótipo inicial.

Ecolab

Dentre os trabalhos relacionados, destacamos o Ecolab (Luckin, du Boulay, 1999), que é um referencial para o desenvolvimento de softwares que utilizam o conceito de ZDP. Os autores definem o Ecolab como um referencial Vygosktiano composto por várias perspectivas, vários modos e várias fases. Cada fase é uma atividade, que é completada, avaliada e assistida a partir do sistema.

O sistema oferece aos alunos a metáfora de um ambiente ecológico em que ele pode montar cadeias alimentares. Essas cadeias são formadas por vários tipos de organismos consumidores. O ambiente permite ao indivíduo a criação de simulações nas quais ele pode criar seus consumidores e definir as relações internas de uma cadeia alimentar. Inicialmente tais cadeias são bem simples, mas o sistema permite que o aluno faça evoluir para a criação de ambientes cada vez mais complexos.

Além das atividades principais do aluno, que são criação de mundos, criação de organismos consumidores e definição de ações e relacionamento entre os consumidores, o sistema ainda oferece atividades extras que complementam as atividades principais, em que podemos destacar: ativação e observação da comunidade ecológica criada, investigação dos tipos de relacionamentos criados, exame das atividades de

relacionamento criadas entre os organismos. No que diz respeito às estratégias de *Scaffolding* o Ecolab utiliza a estruturação e divisão de tarefas em tarefas mais simples, visualização de conceitos metacognitivos, variando as atividades de acordo com o grau de dificuldade. Em relação à aprendizagem na ZDP, o Ecolab cria duas novas definições: A ZAA – Zona de Assistência Disponível e a ZPA – Zona Proximal Ajustável. A ZAA é todo o conhecimento e conteúdo disponível no software tutor, e a ZPA é o suporte ajustável a cada indivíduo especificamente. O Ecolab utiliza esses dois conceitos como critério para avaliar o uso do sistema. Ele procura maximizar a ZAA e a ZPA, ou seja, quanto mais eu sei, mais eu posso ajudar e, conhecendo o indivíduo, eu ajusto essa minha capacidade de ajuda.

Um ponto importante do Ecolab é a forma como ele encontra a ZDP que pode emergir na interação entre o indivíduo e a interface. Esse processo é feito utilizando Redes Bayseanas. Ele utiliza as Redes Bayseanas para modelar as crenças acerca do aprendiz. Dentre elas: qual a sua capacidade e qual o seu potencial? Em outras palavras, a resposta sobre qual a sua capacidade dá ao sistema informações sobre o NDR – Nível de Desenvolvimento Real – e qual o seu potencial responde sobre o seu NDP – Nível de Desenvolvimento Potencial. Essas informações permitem ao Ecolab responder qual a próxima atividade a ser oferecida ao indivíduo.

Não encontramos nenhum artigo mais recente realizado no projeto Ecolab. Conforme informações disponíveis na página pessoal dos autores, o foco de suas pesquisas foi modificado e, no momento, encontram-se nas interações das crianças com os brinquedos tecnológicos.

Formas de ajuda

No que diz respeito às estratégias de *Scaffolding,* o Ecolab utiliza a estruturação e divisão de tarefas em tarefas mais simples, como foi descrito nas estratégias de ajuda discutidas na página 38; variação das atividades de acordo com o grau de dificuldade; utilização de conceitos metacognitivos mediante a observação dos relacionamentos que existem entre membros de uma cadeia alimentar.

Para Gravina (1998), quando a interface educativa apresenta um modelo já pronto, para ser explorado, entendido e analisado, não são as idéias do usuário que ali estão

representadas, e, portanto, existe o desafio intelectual de compreendê-las. A própria compreensão do modelo, o entendimento dos princípios de construção, já são por si sós estímulos ao raciocínio, que favorecem a construção de relações e conceitos.

Segundo Hammertonand e Luckin (2001), seu objetivo foi criar um ambiente que fornecesse uma sustentação metacognitiva em torno dos objetivos do estudante dentro de um ambiente ecológico. Os mesmos autores justificam sua escolha dizendo que o desenvolvimento de estratégias de ajuda em um nível metacognitivo estende a ajuda para variados domínios do conhecimento e faixa etária diferentes. Dentre as estratégias utilizadas, temos: selecionar a tarefa; planejar o que será feito durante a tarefa; selecionar as estratégias apropriadas; monitorar o processo de aprendizagem; avaliação dos resultados destas atividades.

De acordo com os mesmos autores, introduzir o *Scaffolding* metacognitivo dentro de um software torna os aprendizes cientes da importância da atividade selecionada, e oferecer informações sobre como usar a sustentação disponível torna-os mais eficazes em utilizar o *Scaffolding* do software, possibilitando um maior progresso na aprendizagem. Em sua análise qualitativa, Hammertonand e Luckin (2001) criaram as seguintes categorias para avaliar os padrões emergidos do teste:

PROVISÃO - Diálogos que fornecem informações incluindo subcategorias de ajuda, tarefa, fatos, gabarito, dica, respostas, justificativas.

PEDIDO - Diálogos em que são feitos pedidos de informação. Dividem-se nas mesmas categorias acima citadas.

AVALIAÇÃO - Diálogos relacionados à avaliação de uma dica escolhida.

PREFERÊNCIA da MODALIDADE - Diálogos sobre a modalidade da ajuda dada em um computador. Para o exemplo, se a ajuda deve ser auditiva ou visual ou ambas.

CONVERSA - Esta categoria inclui toda a conversa durante todas as discussões e distingue-a entre os níveis da conversa. As subcategorias são de interesse particular à investigação do *Scaffolding* meta cognitivo:

AÇÃO - esta categoria abrange o diálogo sobre todas as ações que forem realizadas

SURPRESA - Diálogos relacionados a comentários da surpresa.

PENSANDO - Usuário está pensando alto.

Considerando a análise das estratégias oferecidas pelo Ecolab, foram retiradas algumas idéias, que irão compor o quadro de estratégias de ajuda desse sistema proposto, são estes:

Requisitos

R.F.1.1 - Estruturação e divisão de tarefas em tarefas mais simples.
R.F.1.2 - Variação das atividades de acordo com o grau de dificuldade.
R.F.1.3-Utilização de conceitos metacognitivos por meio da observação dos relacionamentos presentes no modelo.

Acima, temos os requisitos extraídos a partir da análise deste competidor, como descrito na Figura 4.2, os requisitos extraídos de cada competidor irá compor um quadro de guide lines obtido a partir da junção dos requisitos de todos os competidores. A seguir, procedemos a análise do modelo de usuário utilizado pelo Ecolab.

Modelo do usuário

Para entender os modelos de usuário utilizados pelo Ecolab, é necessário primeiro entender como ele representa o conhecimento. Numa visão resumida, o Ecolab utiliza uma estrutura hierárquica com duas dimensões, uma vertical e outra horizontal. Na dimensão horizontal, são definidos os relacionamentos dentro da cadeia alimentar, por exemplo, um herbívoro come uma planta, na dimensão vertical é definida a hierarquia na cadeia alimentar; por exemplo, grama->herbívoro->rapoza. Sendo assim, analisemos os três tipos de modelos utilizados pelo Ecolab. O NIS - No *instructional-intervention system* - grava somente os relacionamentos que o aprendiz 'visitou'; esse registro é visível à criança. O WIS - *Woodsian Inspired System* - grava os relacionamentos que a criança visitou da mesma forma que o NIS. Entretanto, ele usa essa informação para selecionar as sugestões que serão dadas à criança. Além disso, é mantida a informação sobre o nível da ajuda que a criança usou, e o VIS - *Vygotskian Instructional System* -, nesse caso o modelo do aprendiz é mais sofisticado, em relação aos dois anteriores, e

sendo componente vital do sistema. No que diz respeito á prática de atividades incentivadoras apropriadas às necessidades particulares dos aprendizes, o sistema quantifica a ZPD de cada aprendiz, buscando saber que áreas do conhecimento estão além de sua capacidade de resolver sozinho, porém dentro dos limites do que o aprendiz pode fazer quando o sistema fornecer a sustentação apropriada.

No VIS –(*Vygotskian Instructional System*) envolve as seguintes decisões:

- Quais partes do conhecimento estão dentro ou perto das habilidades independentes do aprendiz?

- Quais os conhecimentos que estão fora das habilidades independentes do aprendiz?

- Quanta sustentação necessita ser fornecida a fim de assegurar que o aprendiz seja bem sucedido ao interagir em um relacionamento?

Quadro 4.3. Informações sobre o suporte colaborativo em cada modelo.

	VIS	WIS	NIS
Nível de Ajuda	5	5	2
A decisão sobre o nível da ajuda é feita pelo	Sistema	Sistema e aprendiz	Aprendiz
Nível de tarefas diferenciadas disponíveis	3	3	3
Decisão sobre o tipo de atividade e nível de diferenciação feita por:	Sistema	Aprendiz com sugestões do sistema	Aprendiz
Extensão do modelo do aprendiz	Redes Bayseanas de crenças para investigar os valores que representam as crenças do sistema sobre a ZDP, que pode emergir entre o aprendiz e a interface e, formada a partir do conhecimento da quantidade de ajuda colaborativa usada.	Lembra a ajuda usada para fazer sugestões para a próxima ajuda. Mantém os relacionamentos do conhecimento visitados para permitir fazer sugestões.	Lembra os relacionamentos do conhecimento visitados e guarda o log das ajudas utilizadas.
Abstração da terminologia selecionada pelo:	Sistema	Aprendiz	Aprendiz
Relacionamentos de conhecimento e fases no Ecolab selecionada por :	Sistema	Aprendiz – Sistema faz sugestões	Aprendiz
Visão selecionada por:	A maior parte pelo Aprendiz	Aprendiz	Aprendiz

Requisitos

R.F. 1.6. O modelo do usuário deve conter o conhecimento que o usuário já conseguiu internalizar.

AnimalWatch

Os conceitos (domínio) oferecidos pelo *AnimalWatch* (Arroyo *et al.*, 2003) são a adição, subtração, multiplicação e divisão dos números inteiros; fração e adição, subtração de frações semelhantes e desiguais. Esse sistema utiliza um ambiente ecológico e oferece ao usuário uma série de aventuras nas quais a matemática é usada para resolver problemas relacionados aos animais expostos no ambiente.

Esse sistema apresenta uma representação hierárquica do domínio dos conceitos estudados. Esse domínio é representado segundo uma rede de tópico. O objetivo é mostrar que determinados tópicos são pré-requisitos de outros. Dessa forma, o aluno

não será submetido a problemas mais difíceis do que ele pode resolver. No que diz respeito à ajuda oferecida, o sistema possui três tipos: (a) ajuda reduzida com mensagens de texto; (b) ajuda numérica formal; (c) ajuda com conceito concreto. No primeiro caso, o sistema exibe para o usuário uma mensagem curta, contendo alguns questionamentos sobre o resultado que acabou de inserir. No segundo tipo, o sistema automatiza alguns passos da tarefa. Finalmente, no terceiro tipo, o sistema exibe um material concreto utilizado para criar uma situação problema, que deve ser resolvida através da manipulação do mesmo.

Para tornar mais claro esses tipos de ajuda, faremos uma análise da tarefa do *AnimalWatch* que possibilitará entender o seu processo de ajuda durante a resolução de situações problema.

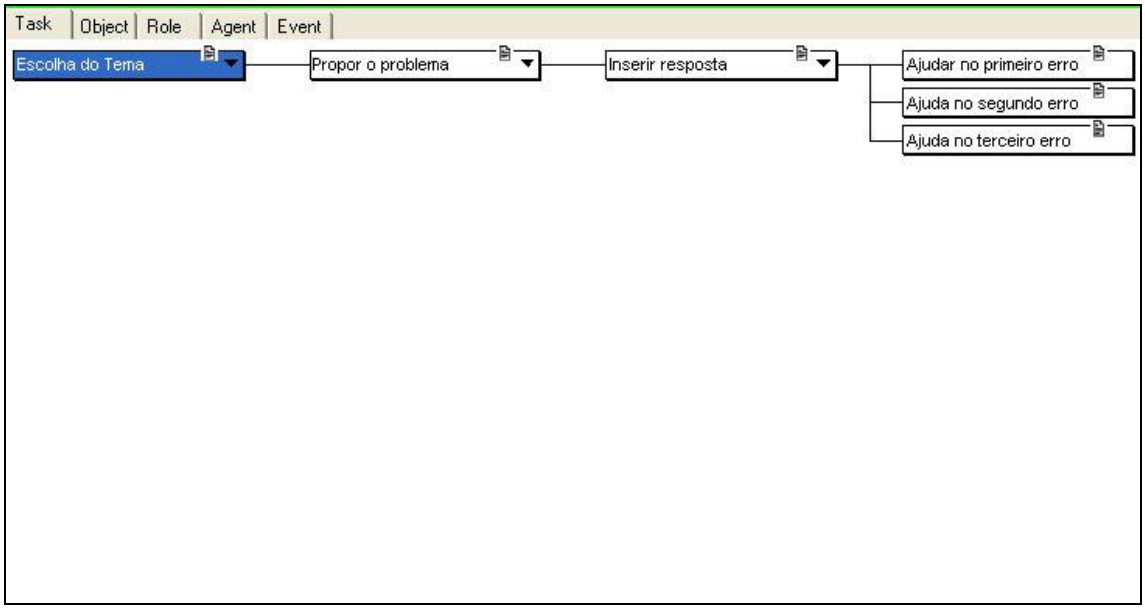


Figura 4.9. Análise da tarefa do *AnimalWatch* com o Euperte

A primeira tarefa realizada neste sistema é a escolha do tema, a partir do qual todas as situações problemas envolverão o tema escolhido.

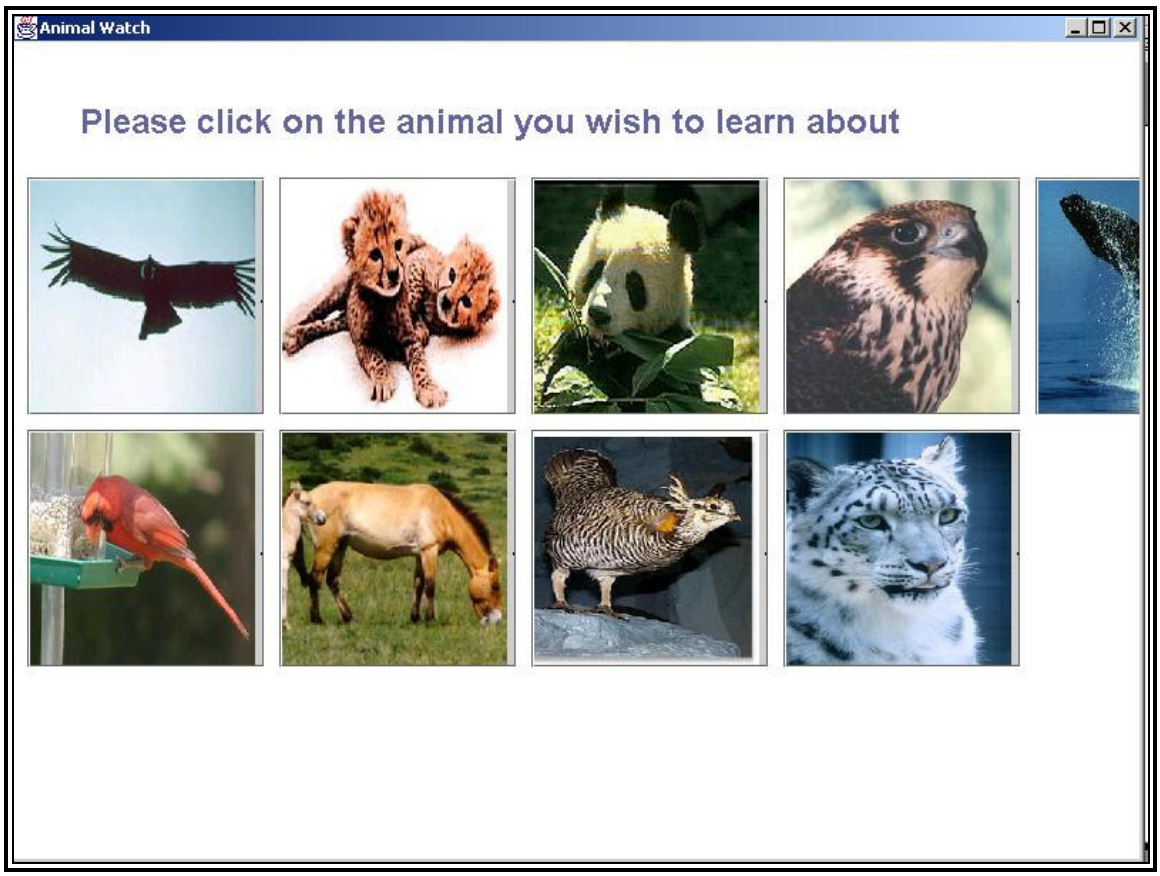


Figura 4.10. Escolha do tema no AnimalWatch.

O tema escolhido foi o panda. Em seguida, o sistema exibe a seguinte situação problema:

Tarefa 1: Um panda passa de três a seis meses em gestação. Uma fêmea humana passa nove meses. Essa panda está gestante há quatro meses. Quantos meses faltam para ela se comparar a uma fêmea humana?

Formas de Ajuda

Versão reduzida da ajuda

Na versão reduzida da ajuda, quando um estudante comete um erro, o *AnimalWatch* apresenta apenas mensagens curtas. Essas incentivam o estudante a tentar outra vez. A partir daí, se o estudante continua com dificuldades, são emitidas mensagens mais completas informando-lhe o tipo de operação e os operandos. Se ainda assim, o estudante continuar errando, o sistema exibe a resposta completa. A seguir,

apresentamos a ajuda na versão reduzida para a tarefa descrita acima.

Diante do primeiro erro do estudante, o sistema fornece a seguinte mensagem: "Tente a diferença.".

Diante do segundo erro do estudante, o sistema fornece a seguinte mensagem: "Você tem certeza de que está encontrando a diferença entre 9 e 4."

Nessas estratégias de ajuda o *AnimalWatch* interage com o estudante e faz perguntas curtas, conduzindo-o a pensar mais uma vez na resposta que acabou de fornecer. Neste momento, é esperado que o estudante reflita sobre sua resposta. Se o erro foi cometido por falta de atenção na leitura do texto, o estudante poderá ler novamente, pensar mais uma vez e então responder; no entanto, se o erro foi causado por falta de conhecimento da operação e dos operandos, o sistema também indica a forma correta de resolução do problema, fornecendo tanto a operação correta, quanto os operandos.

Nesse ponto, é esperado que o estudante reflita sobre tais componentes e adquira mais habilidade no trato com situações problema da mesma natureza.

Versão numérica formal

Em tal tipo de ajuda, o problema é dividido em etapas diferentes. O computador executa algumas etapas e incentiva o aprendiz a concluir outras. Não foi possível verificar a ajuda numérica formal para as situações problema sobre estruturas aditivas. Encontramos um exemplo desse tipo de ajuda em uma situação problema, envolvendo o conceito de fração. A imagem será colocada aqui para ilustrar esse processo de ajuda, mas não tem relação com a tarefa proposta acima.

De acordo com a Figura 4.11, o usuário deve entrar com o resultado de uma fração equivalente, para exemplificar o conceito de equivalência entre frações. A interface exibe a fração ½ e, em seguida, responde a pergunta, informando que a fração equivalente é 2/4. Em seguida, após a resolução de um exemplo parecido o sistema submete o usuário ao mesmo questionamento, porém com outra fração. Nesse momento é esperado que ele tenha entendido as relações existentes a partir do exemplo anterior e possa inserir o resultado para o problema proposto.

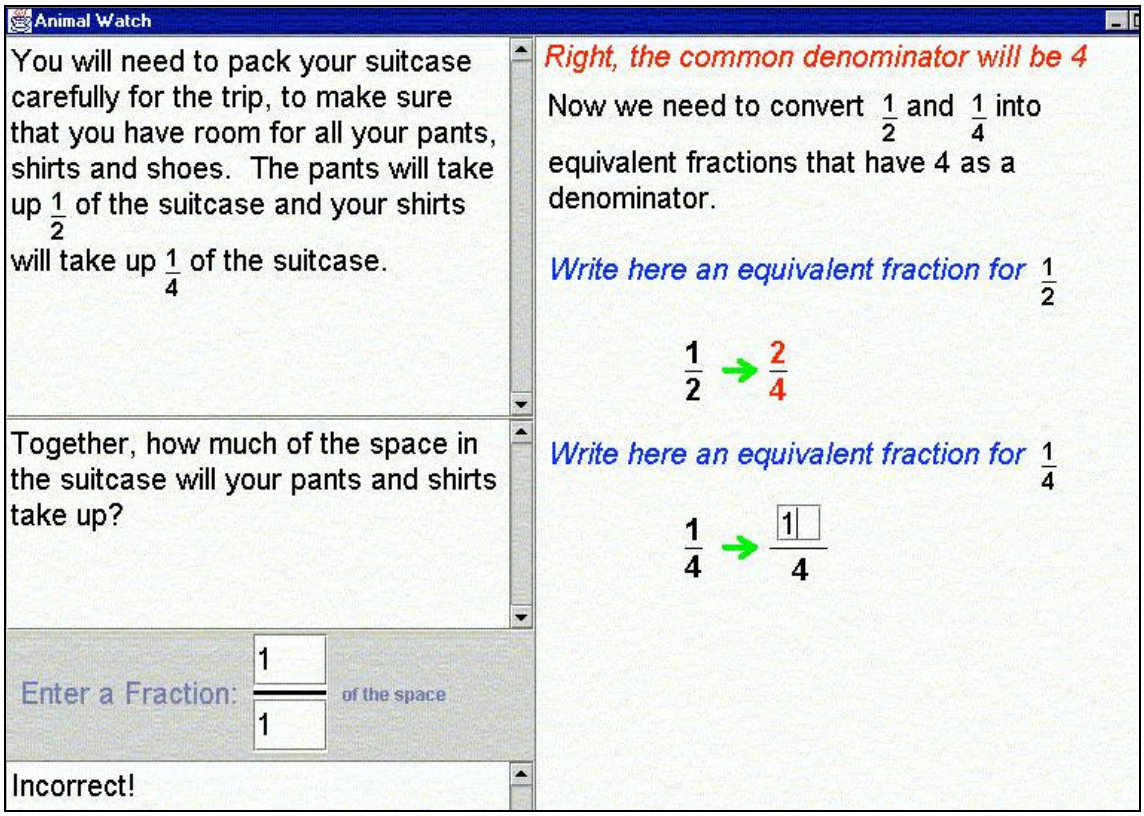


Figura 4.11. Ajuda numérica formal para resolução de problemas sobre fração

Material concreto

O material utilizado pelo *AnimalWatch* é semelhante ao material dourado ou Montessori. Esse material é constituído por cubos pequenos, placas, barras e cubos grandes. Ele é utilizado no ensino presencial e destina-se a atividades que auxiliam o ensino e a aprendizagem do sistema de numeração decimal-posicional e dos métodos para efetuar as operações fundamentais. A seguir, a Figura 4.12 mostra os elementos do material dourado.

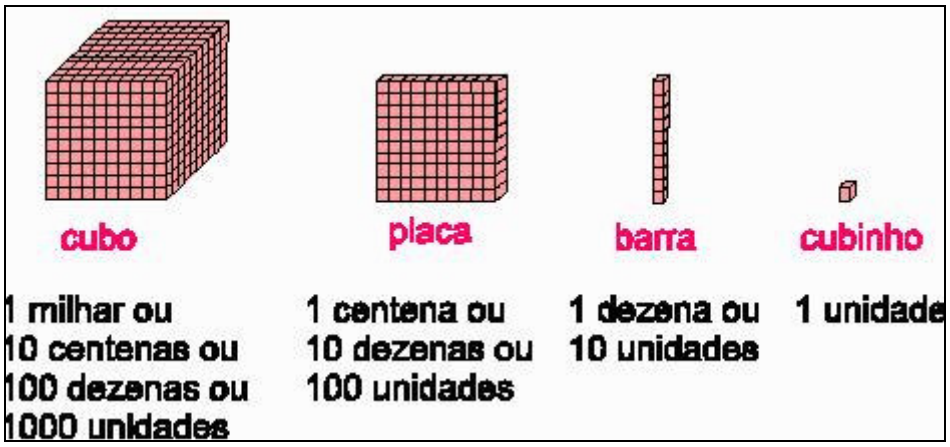
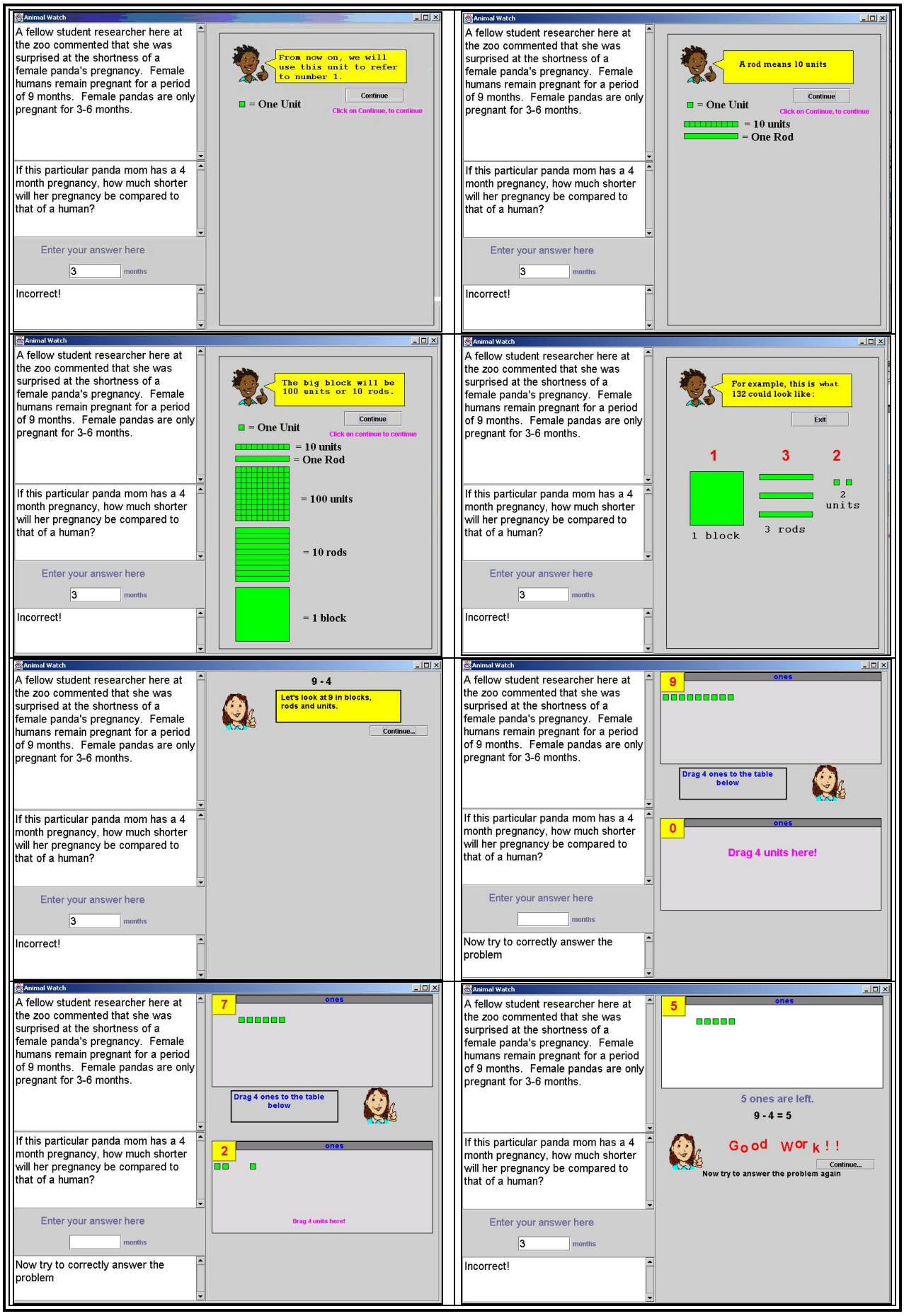


Figura 4.12. Material Dourado.

Com o uso deste material, o *AnimalWatch* oferece usa ajuda concreta, criando problemas concretos, que são metáforas para os problemas abstratos propostos. Caso o indivíduo consiga resolver a ajuda proposta, esperamos que ele consiga também resolver o problema abstrato proposto. Abaixo, mostraremos todos os passos seguidos pelo *AnimalWatch* para ajudar o estudante após o seu terceiro erro.

Terceiro erro: Ao se cometer o terceiro erro e já ter sido ajudado com mensagens curtas, a interface exibe um material concreto e explica sua utilização. Após a explicação, a interface oferece um problema semelhante ao proposto inicialmente, que deve ser resolvido com o uso do material concreto anteriormente explicado. Realizada a tarefa com sucesso, o sistema congratula o usuário e sugere que ele volte e tente resolver a tarefa anteriormente proposta.

A seguir, a Figura 4.13 exibe um cenário da ajuda concreta presente no *AnimalWach.*


Animal Watch
A fellow student researcher here at the zoo commented that she was surprised at the shortness of a female panda's pregnancy. Female humans remain pregnant for a period of 9 months. Female pandas are only pregnant for 3-6 months.
If this particular panda mom has a 4 month pregnancy, how much shorter will her pregnancy be compared to that of a human?
Enter your answer here
3 months
Incorrect!
From now on, we will use this unit to refer to number 1.
= One Unit
Continue
Click on Continue, to continue
A rod means 10 units
= 10 units
= One Rod
The big block will be 100 units or 10 rods.
= 100 units
= 10 rods
= 1 block
For example, this is what 132 could look like:
Exit
1 block
3 rods
2 units
9 - 4
Let's look at 9 in blocks, rods and units.
Continue...
ones
Drag 4 ones to the table below
Drag 4 units here!
Now try to correctly answer the problem
5 ones are left.
9 - 4 = 5
Good work!!
Now try to answer the problem again

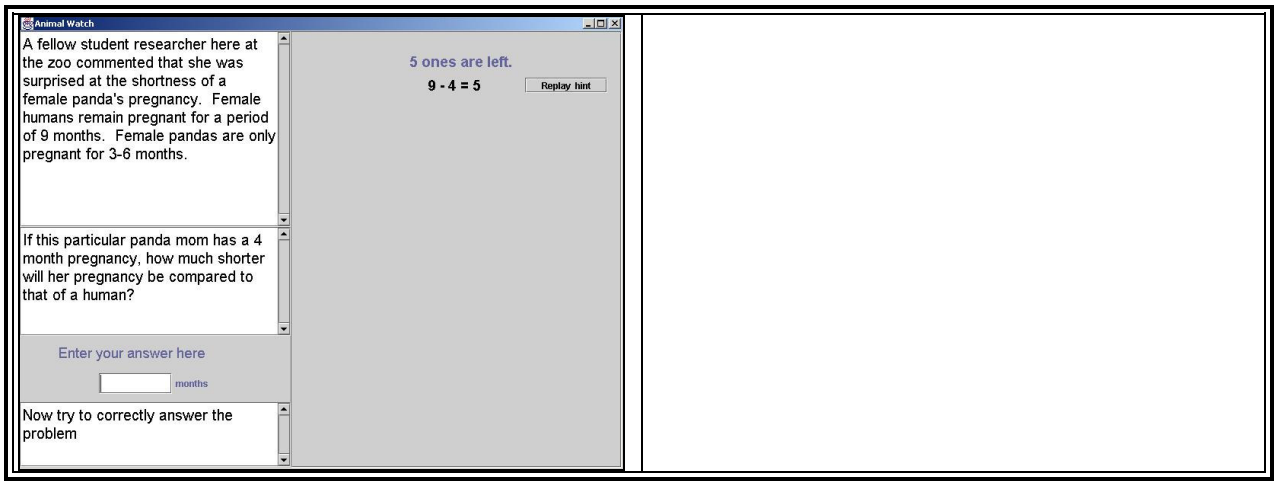


Figura 4.13. Ajuda concreta oferecida pelo *AnimalWatch* após o terceiro erro.

Abaixo, listamos os requisitos extraídos do *AnimalWatch.*

Requisitos

R.F.1.3 - Ajuda reduzida com mensagens de texto. R.F.1.4 - Ajuda com material concreto.

Modelo do usuário

No que diz respeito ao modelo do usuário, o *AnimalWatch* mantém as probabilidades das habilidades do estudante para cada tópico que está sendo ensinado, atualizando-as por meio da aplicação do teorema de Bayes.

Requisitos

R.F.1.5 – No modelo do usuário deve haver uma dimensão para armazenar as probabilidades de o estudante saber cada tarefa que está realizando.

Agente Diagnóstico

Outro sistema relacionado foi o descrito por (Andrade *et al.*, 2003). Nesse trabalho, os autores modelaram uma sociedade de agentes colaborativos para ensino a distância. Inserido nessa sociedade, está o agente diagnóstico, que foi modelado segundo a teoria sócio-construtivista de Vygotsky, e o módulo diagnóstico utiliza a característica avaliadora da ZDP para oferecer *feedback* ao usuário. Esse trabalho foi o único trabalho encontrado na literatura sobre *software* de *scaffolding* que une os conceitos de ZDP com

agentes de software.

O modelo do estudante tratado, neste trabalho, é construído a partir de crenças e contém as seguintes informações: tipo de personalidade, confiança nele mesmo, iniciativa, participação e opinião do estudante. O formalismo utilizado para modelar o estudante foi o X-BDI (Mora, 1998 *apud* Andrade, 2003). O X-DBI - *EXecutable Believe, Desire, Intentions* - é uma ferramenta, que permite a descrição formal de agentes cognitivos baseados no modelo BDI - *Believe, Desire, Intentions* – (Bratman, 1990 *apud* Andrade, 2003). O modelo BDI tem sido um dos mais conhecidos e estudados modelos de raciocínio prático de agentes. Segundo (Andrade, 2003) esse modelo foi proposto baseando-se numa abordagem mentalista, que vê o agente como um sistema intencional, ou seja, tendo certos estados ou atitudes mentais geralmente atribuídas aos seres humanos.

Formas de Ajuda

A seguir, o quadro com os tipos de ajuda oferecidos pelo Agente Diagnóstico.

Quadro 4.4. Tipos de Ajuda oferecida pelo Agente Diagnóstico.

Nível Suporte	Táticas
Parcial	Questionamento Mostrar exemplo Fornecer dica ou pista Dar explicação textual Fala privada Estruturação cognitiva Formar grupo
Total	Iniciar a solução Fornecer dica Mostrar conteúdo Fazer demonstração Dar instrução

Considerando os dados presentes no Quadro 4.4, podemos fazer algumas considerações. No que diz respeito ao processo operacionalização do *Scaffolding,* o Agente Diagnóstico utiliza dois tipos de ajuda, parcial e total. Na ajuda parcial, a interface fornece uma sustentação mínima cujo objetivo é a construção paulatina realizada pelo aluno e guiada pela interface, a qual intervém com dicas, questionamentos, exemplificações e estruturações cognitivas, fornecendo novas informações e sugestões de novas relações. Outra forma de oferecer *Scaffolding* é feita com a ajuda total, nesse tipo de ajuda, alguns passos da tarefa são automatizados; são feitas algumas

demonstrações e fornecidas instruções que possibilitarão uma análise metacognitiva. Analisando-se as estratégias oferecidas pelo Agente Diagnóstico, nós retiramos algumas idéias para compor o quadro de estratégias de ajuda em nosso sistema. São estas:

Requisitos

R.F. 1.6 Dar explicação textual com fala privada

Modelo do usuário

Para o Agente Diagnóstico foi construído um modelo de usuário baseado no perfil do aluno; perfil da aprendizagem, através de mídias preferidas, exercícios; e nível de escolaridade. Além destas dimensões, a autora ainda considera o perfil motivacional; auto-avaliação; diagnóstico da tarefa e suporte. Abaixo, segue uma tabela contendo as dimensões do modelo do usuário utilizado agente diagnóstico.

Quadro 4.5. Modelo do usuário utilizado pelo Agente Diagnóstico.

Modelo do Aluno					
Componente	Atributo	Descrição	Como adquirido	Quando adquirido	Modificado por
Perfil_aluno	nome	caráter	Usuário	previamente	Usuário
	id	numérico	Mediador	Previamente	Mediador
	idade	numérico	Usuário	Previamente	Usuário
	sexo	(F|M)	usuário	previamente	usuário
Perfil_aprendizagem	Estilo	Exemplos, genérico-específico, princípios	Usuário	Previamente	Usuário
	Mídia_preferida	Som, gráfico, ling. natural.	Usuário	Previamente	Usuário e mediador
	Tipo_exercício	Múltipla escolha, lacunas, subjetivo	Usuário	Previamente	Usuário e mediador
	Nível_escolaridade	2 grau, graduação e pós-graduação	Usuário	Previamente	Usuário
Perfil_motivacional	Característica_personalidade	(extrovertido|introvertido)	Usuário	Previamente	Usuário
	Motivação_grupo	(Alta|média|baixa)	Usuário	Dinâmico	Usuário e mediador
	Liderança	(líder|não_líder)	Usuário	Dinâmico	Usuário e mediador
	Ansiedade	(Alta|média|baixa)	Usuário	Dinâmico	Usuário e mediador
Auto-avaliação	Nome_tarefa	Numérico	Semiótico	Cada sessão	Semiótico
	Descrição_tarefa	caracter	semiótico	dinâmico	semiótico
	Confiança	(Alta|média|baixa)	Usuário e mediador	Dinâmico	Usuário e diagnóstico
	Competência	(Alta|média|baixa)	Usuário e mediador	Dinâmico	Usuário e diagnóstico
	Suporte	(nenhum|parcial|total)	Usuário e mediador	Dinâmico	Usuário e diagnóstico
	Motivação	(Alta|média|baixa)	Usuário	Dinâmico	Usuário e mediador
	Internalização	(0|1)	mediador	Dinâmico	Usuário e diagnóstico
	Estereótipo_tarefa	(Novato|intermediário|especialista)	usuário	Dinâmico	Usuário e mediador
Diagnóstico_tarefa	nome_tarefa	Numérico	Semiótico	Cada sessão	Semiótico
	Habilidade_Core	Lista de habilidades	Diagnóstico	Dinâmico	Diagnóstico
	Habilidade_ZDP	Lista de habilidades	Diagnóstico	Dinâmico	Diagnóstico
Suporte	Nome-tática	Caracter	Diagnóstico	Cada sessão	Diagnóstico
	Descrição	caracter	Diagnóstico	Cada sessão	Diagnóstico
	Nível_suporte	(nenhum|parcial|total)	diagnóstico	Cada sessão	Usuário e Diagnóstico

De acordo com o Quadro 4.5, o modelo do usuário utilizado pelo Agente Diagnóstico utiliza basicamente seis componentes e para cada deles cinco dimensões. A primeira contém os atributos observados em cada componente; a segunda contém a descrição de cada atributo; a terceira explicita como a informação armazenada nesse atributo foi

adquirida; na quarta dimensão, contém a questão temporal, informando quando foi adquirido e, finalmente, o modelo contempla a modificação do atributo, indicando quem fez essa modificação. Embora esse competidor tenha um grande número de atributos e dimensões, extrairemos dele apenas os requisitos que nos ajudam a acompanhar a evolução do usuário. A seguir, enumeramos os requisitos para o modelo do usuário extraídos do Agente Diagnóstico:

Requisitos

R.F. 1.7 O modelo do usuário deve possuir informações sobre o Perfil do aluno: Nome, identificador, idade, sexo.

R.F. 1.8 O modelo do usuário deve possuir informações sobre o Perfil da aprendizagem: Mídia preferida (Som, gráfico, ling. natural.) Nível de escolaridade (1 grau, 2 grau, graduação e pós-graduação.).

R.F.1.9 O modelo do usuário deve possuir informações sobre o Diagnóstico da tarefa: Nome da tarefa: Suporte (nenhum|parcial|total) Internalização (0|1) Probabilidade de saber o conteúdo.

R. F 1.9 O modelo do estudante deve possuir informações sobre as estratégias pedagógicas utilizadas: Nome da estratégia ,descrição, Nível_suporte (nenhum|parcial|total)

Quadro 4.6. Dimensões para o modelo do usuário extraídas do Agente Diagnóstico.

Dimensões	Discussão
Perfil do aluno: Nome, identificador, idade, sexo.	Estes dados identificam unicamente o usuário e podem ser utilizados para mandar mensagens privativas, usando o nome do usuário como parte integrante da mensagem.
Perfil da aprendizagem: Mídia preferida (Som, gráfico, ling. natural.) Nível de escolaridade (1° grau, 2° grau, graduação e pós-graduação.).	Estes dados orientam na construção das mensagens e na escolha do estilo de interação.
Diagnóstico da tarefa Nome da tarefa: Suporte (nenhum|parcial|total) Internalização (0|1) Probabilidade de saber o conteúdo Proposições a cerca da tarefa.	Estes dados podem ser utilizados para avaliar a evolução do usuário, O 'nome da tarefa' indica a tarefa que estava sendo realizada. Estamos interessados apenas nas tarefas que estão presentes no processo modelagem do problema. O campo 'suporte' indica a ajuda recebida pelo usuário anteriormente quando tentava realizar a mesma tarefa. Queremos diminuir a ajuda e quando o atributo internalização estiver com valor 1, a ajuda será removida totalmente. A 'probabilidade de saber o conteúdo' é obtida através do teorema de Bayes Dependendo da probabilidade o atributo internalização irá para 1 ou 0. O campo 'proposições', diz respeito às propriedades matemáticas que os usuários mobilizaram no momento que estavam realizando a tarefa, são os invariantes que emergiram no momento do teste. Essas proposições podem ser verdadeiras ou falsas. O sistema usará essa informação para avaliar se o estudante está mobilizando as propriedades matemáticas verdadeiras.

Síntese da análise comparativa

A seguir, faremos uma comparação dos competidores utilizando as categorias propostas por (Quintana *et al.*, 2002): (1) Estruturação das tarefas e das funcionalidades; (2) Acesso ao conhecimento do tutor; (3) Automatização de tarefas; (4) Usar diferentes representações do mesmo conceito; (5) Usar representações e linguagem que representam os conceitos metaforicamente; (6) Usar uma terminologia, que constrói conceitos complexos a partir de conceitos intuitivos. Abaixo um quadro comparativo.

Quadro 4.7. Comparação das ajudas fornecidas pelos competidores.

Estratégia	Ecolab	*AnimalWatch*	Agente Diagnóstico
Estruturação das tarefas e das funcionalidades	sim	sim	Sim
Fornecimento o acesso ao conhecimento do tutor	sim	sim	Não
Automatização de tarefas.	sim	sim	sim
Usar diferentes representações do mesmo conceito.	sim	sim	não
Usar conceitos representados metaforicamente	sim	sim	não
Construção de conceitos complexos a partir de conceitos intuitivos.	sim	sim	não

Formas de ajuda

Para organizar e apresentar as formas de ajuda de uma maneira mais clara, nós utilizamos as categorias propostas por (Andrade, 2003), ajuda parcial e ajuda total.

Ajuda Parcial

Quadro 4.8. Formas de 'Ajuda Parcial' extraídas da análise de competidores

Tipo de Ajuda	Fonte	Interpretação para nossa pesquisa.
Questionamento	Agente Diagnóstico, AnimaWatch	Mensagens perguntando se o usuário Tem certeza de que o passo executado está sendo especificado no texto
Fornecer dica ou pista	Agente Diagnóstico, AnimalWatch	Mensagens explicativas dos passos da modelagem e da legenda utilizada
Dar explicação textual	Agente Diagnóstico	Explicações sobre as legendas e sobre cada passo do processo de modelagem do problema

O Quadro 4.8, acima, é formado por três colunas e quatro linhas. Na primeira coluna, temos o tipo da ajuda; na segunda coluna, a fonte de onde extraímos esse tipo de ajuda e, na terceira coluna, uma interpretação para a nossa pesquisa.

Ajuda Total

Quadro 4.9. Ajuda Total extraída da análise dos competidores

Tipo de Ajuda	Fonte	Interpretação para este contexto
Uso de Material concreto	*AnimalWatch*	O sistema cria uma situação problema similar ao problema que está sendo resolvido, porém sua resolução acontece através da manipulação de um material concreto. Essa situação é uma metáfora concreta para o problema abstrato proposto
Mostrar o modelo construído	Ecolab	O usuário pode pedir para a interface resolver o problema e exibir o modelo construído, A partir do modelo exibido é possível inspecionar os relacionamentos e ler as explicações para cada parte do modelo,

O Quadro 4.9, acima, é formado por três colunas e quatro linhas. Na primeira coluna, temos o tipo da ajuda; na segunda coluna, a fonte de onde extraímos esse tipo de ajuda e, na terceira coluna, temos uma interpretação para a nossa pesquisa.

Dimensões para construção do modelo do usuário

Abaixo, segue um quadro contendo as dimensões para o modelo do usuário utilizado.

Quadro 4.10. Modelo do usuário, extraídas a partir análise dos competidores.

Dimensões	Fonte	Utilização no modelo
Nível de tarefas: complexidade das tarefas	Ecolab	As tarefas podem ser desde as mais fáceis, até as mais complexas. Dentro das categorias de estruturas aditivas aqui utilizadas. Em (Magina *et al.*, 2000), as autoras fazem uma organização das tarefas por grau de complexidade.
Partes do conhecimento e fases	Ecolab	Dentre as categorias de estruturas aditivas aqui estudadas, qual a categoria que o usuário tem maior domínio e qual a categoria que ele domina menos?
Perfil do aluno: Nome, identificador, idade, sexo.	Agente Diagnóstico	Estes dados identificam unicamente o usuário e podem ser utilizados para mandar mensagens privativas, usando seu nome como parte integrante da mensagem.
Perfil da aprendizagem: Mídia preferida (Som, gráfico, ling. natural.) Nível de escolaridade (1 grau, 2 grau, graduação e pós-graduação.)	Agente Diagnóstico	Estes dados orientam na construção das mensagens e na forma como o estilo de interação pode ser utilizado. As mensagens poderão ser exibidas com diferentes níveis de abstração, usuários com maior grau de instrução podem receber mensagens mais abstratas e usuários com menor grau de instrução podem receber mensagens mais contextualizadas com o problema em resolução.
Diagnóstico da tarefa Nome da tarefa: Suporte (nenhum|parcial|total) Internalização (0|1) Probabilidade de saber o conteúdo	Agente Diagnóstico AnimalWatch	Estes dados podem ser utilizados para avaliar a evolução do usuário, o nome da tarefa indica a tarefa que estava sendo realizada. O suporte recebido pelo usuário anteriormente quando tentava realizar a mesma tarefa. Queremos diminuir essa ajuda e quando o atributo internalização estiver com valor 1, a ajuda será removida totalmente. A probabilidade de saber o conteúdo é obtida através do teorema de Bayes Dependendo da probabilidade, o atributo internalização irá para 1 ou 0.

O Quadro 4.10 apresenta as dimensões existentes no modelo do usuário em vários competidores. A dimensão NÍVEL OU COMPLEXIDADE DAS TAREFAS será utilizada para saber que tarefas o estudante já resolve sozinho. A dimensão PARTES DO CONHECIMENTO E FASES será utilizada para saber para quais passos do processo de modelagem o estudante já adquiriu habilidade. Já o PERFIL DO ESTUDANTE possibilitará o envio de mensagens privativas. Na dimensão PERFIL DA APRENDIZAGEM, a ajuda irá

contemplar tanto as preferências do estudante, quanto ao seu grau de escolaridade. No campo DIAGNÓSTICO DA TAREFA, iremos acompanhar: (1) as tarefas executadas, (2) os tipos de suporte fornecidos, (3) a aprendizagem do estudante. (1) As tarefas estão padronizadas conforme o referencial teórico proposto por (Gomes, 2005). (2) Os tipos de suporte são as ajudas que o estudante recebeu na execução da tarefa. (3). Finalmente, faremos o acompanhamento da aprendizagem relacionada com o uso da interface (Gomes, 2005) medida quantitativamente pelo campo PROBABILIDADE DE SABER O CONTEÚDO. Esse campo é calculado com base no número de acertos e de erros. À medida que essa probabilidade aumente, a ajuda será gradativamente removida (Wood, Bruner, Ross, 1976, *apud* Puntambekar, Hübscher, 2002).

Prototipagem e primeira versão do protótipo

O processo de prototipação faz parte do ciclo de desenvolvimento de software, sendo utilizado para antecipar ao usuário final características da interface que podem ser testadas, validadas ou modificadas pelo *Stakeholders*. Nesse processo, cria-se uma interface semelhante à interface final, partindo de requisitos iniciais e, através de um processo iterativo, vai refinando o protótipo, utilizando-se dos requisitos originais e das necessidades dos usuários.

O primeiro protótipo do sistema foi Gerard, desenvolvido por Braga, (2006). A versão inicial foi desenvolvida em JAVA como segue:

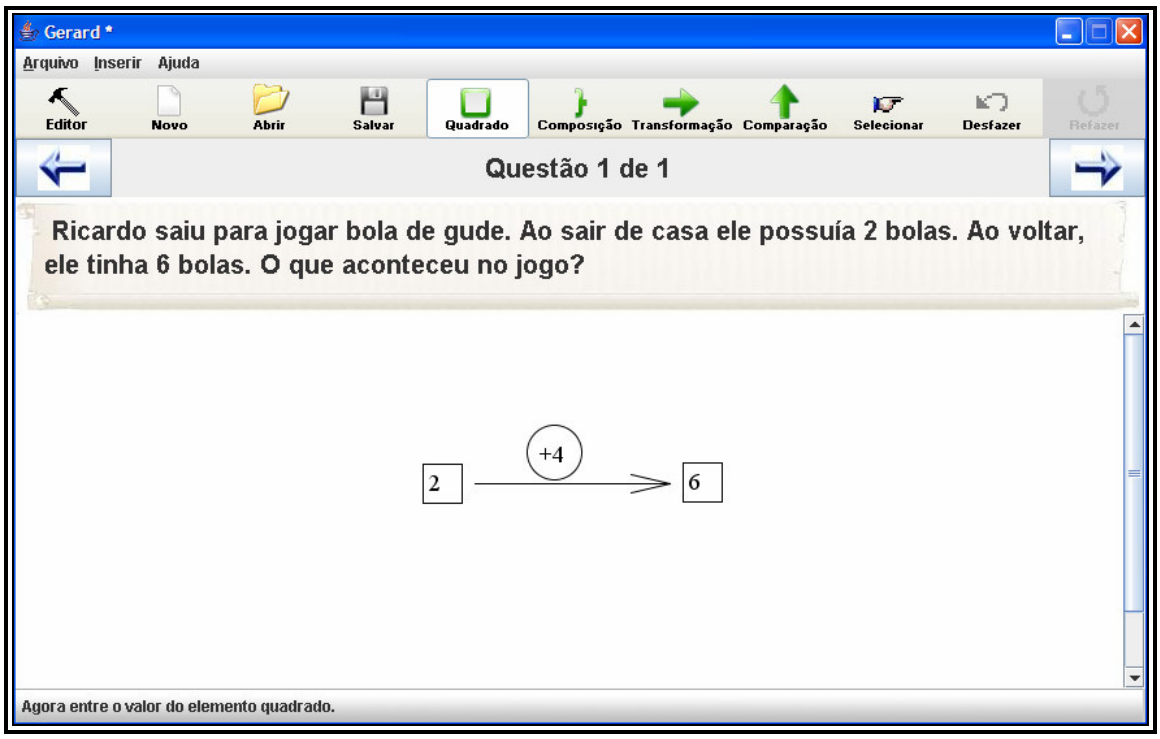


Figura 4.14. Gerard, desenvolvido em JAVA.

Como mostra a Figura 4.14, a interface do Gerard contém um menu com os artefatos: editor; novo; abrir; salvar; chaves do diagrama de composição. Em seguida, vêm as setas horizontais, e verticais, pertencentes aos diagramas de transformação e comparação, respectivamente. Além dessas operações, ainda estão presentes as operações de selecionar, refazer e desfazer.

Prototipagem rápida e segunda versão do protótipo

Embora o primeiro protótipo, apresentado na Figura 4.14, contivesse todos os elementos para a resolução dos problemas sobre estruturas aditivas usando a legenda de Vergnaud, ele não havia sido concebido para oferecer ajuda durante a resolução do problema. Logo, foi necessário construir uma outra versão para tal fim.

A partir das teorias sobre o *Scaffolding* instrucional, e da análise dos competidores, construiu-se uma outra versão em Flash MX 2004. Essa versão possui apenas um subconjunto das funcionalidades que serão operacionalizadas. Com a versão em Flash MX, foi feita uma amostra informal para alguns alunos de especialização em psicopedagogia, que estavam cursando uma disciplina, em cujo conteúdo estavam as Estruturas Aditivas. Nessa ocasião, coletamos algumas críticas e sugestões, explicando-

lhes o propósito da interface e informando-lhes que o protótipo fazia parte de uma dissertação de mestrado. Ao final, fizemos o convite para alguns alunos participarem do teste de usabilidade. Além de servir para essa amostra inicial, o protótipo foi o ponto de partida para a construção do protótipo em papel. A seguir, apresentamos a Figura 4.15 do protótipo em Flash contendo um exemplo de ajuda para a operação de composição.

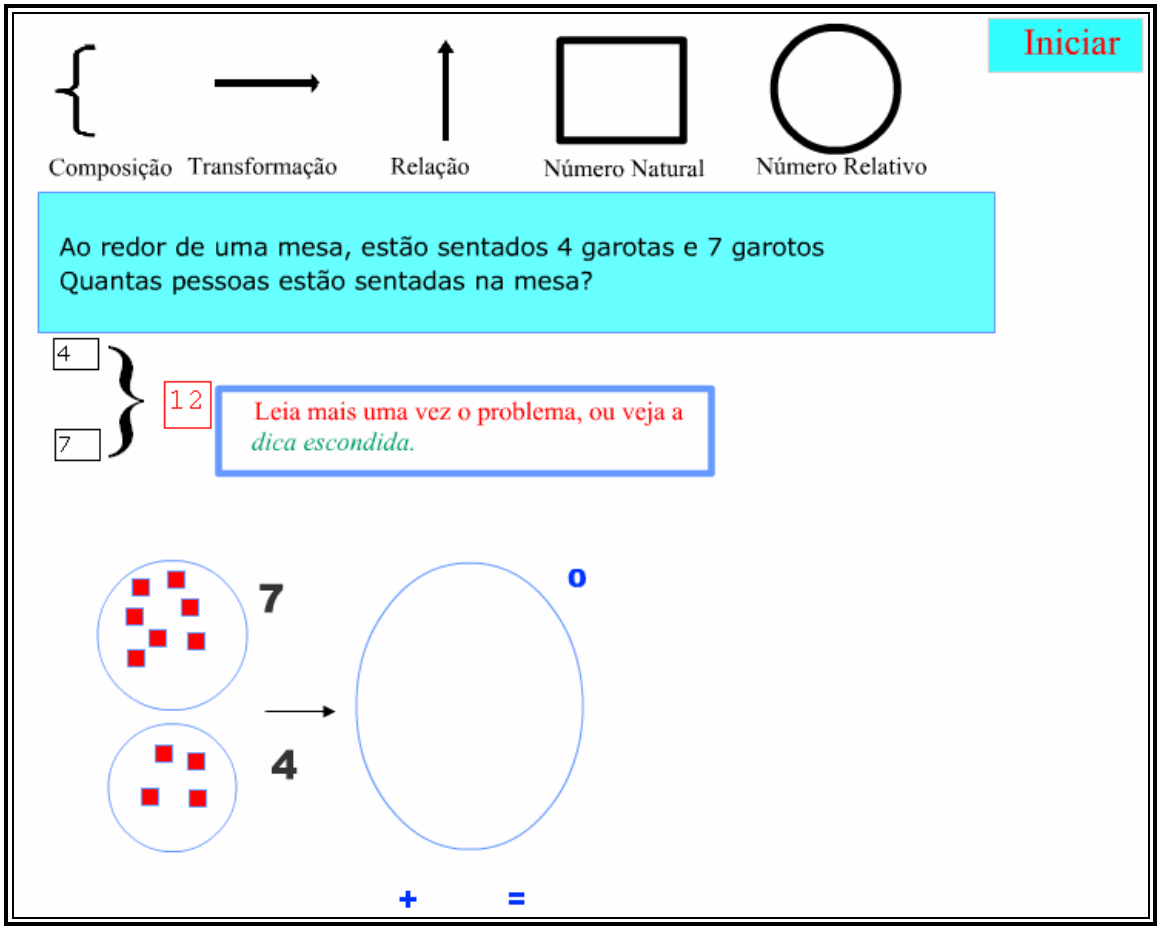


Figura 4.15. Protótipo em Flash oferecendo ajuda para problema de composição.

A Figura 4.15 contém a imagem visualizada pelo usuário momentos após ele inserir o número doze como resposta do problema de composição. A tela acima, inicialmente estava vazia. Através de um processo de modelagem do problema, descrito em 0, o usuário iniciou a solução do problema proposto, conseguiu posicionar corretamente as partes da composição no modelo, porém errou no cálculo numérico correspondente. Por esse motivo, a interface ofereceu-lhe uma ajuda.

Essa ajuda acontece por meio da manipulação dos quadradinhos presentes nos dois diagramas. O usuário é orientado a arrastar os quadradinhos para o diagrama maior. A

cada quadradinho arrastado, a interface incrementa um e atualiza os valores dos cardinais posicionados ao lado de cada diagrama. Essa ajuda está melhor descrita no cenário da

Tarefa 1, na página 124. Esse protótipo foi mostrado aos alunos de especialização em psicopedagogia. Na ocasião eles manipularam o protótipo, fizeram críticas e deram sugestões. A aceitação foi positiva e eles se sentiram motivados a participar do teste de usabilidade.

Teste de usabilidade com protótipo em papel

O teste que ora propomos tanto terá um caráter de avaliação formativa, que, segundo Nielsen (1993), visa ao aprimoramento da interface como parte de um processo interativo e tem como meta principal a verificação de quais aspectos específicos são satisfatórios ou deficientes e de como tal conhecimento pode implicar a melhoria do projeto da interface. Nesta pesquisa, a avaliação formativa norteará a maneira como a sociedade de agentes pode ser inserida no ambiente e como esse processo pode acontecer o mais natural possível sem prejudicar os aspectos satisfatórios da interface e procurando melhorar aspectos de usabilidade e aprendizagem de conceitos específicos.

Para realizar o teste de usabilidade, construiu-se um protótipo em papel. Segundo Snyder, (2003) o protótipo em papel é uma variação do teste de usabilidade, em que usuários representativos interagem com uma versão da interface em papel para realizar tarefas reais. Tal interface é manipulada por uma pessoa, que assume o papel do computador, e reage a todas as ações do usuário na interface, sem contudo conduzi-las.

Nessa fase da pesquisa, foi realizado um teste de usabilidade, que serviu para: (1) armazenar um *log* de utilização da interface; (2) testar os cenários para perceber as necessidades; (3) coletar as proposições falsas mobilizados pelo usuário. No primeiro caso, segundo Nielsen (1993), armazenar o *log* do uso da interface é uma das técnicas que torna possível encontrar erros de usabilidade, e entender suas causas. No segundo caso, os cenários foram utilizados para que se percebessem as necessidades do usuário enquanto resolvia cada subtarefa no processo de modelagem do problema, tanto no que diz respeito à usabilidade (Bevan e Azuma, 1997) quanto no que diz respeito à comunicabilidade (De Souza, 2001). No terceiro caso, as proposições irão compor o

modelo do usuário, pois segundo Self (1990; p. 16) "*O modelo do estudante deve identificar quais as propriedades que o estudante acredita ser verdade, e se possível, o porquê desta crença*". Neste trabalho os dados foram coletados por meio de filmagem e gravação e em seguida os dados foram transcritos. A partir das transcrições, foram geradas categorias no software Nud*Ist e extraídos padrões de uso e necessidades do indivíduo. O material usado para realizar esse teste foi o protótipo em papel, um gravador de áudio, e a documentação necessária para cada participante como segue:

Formulário de consentimento: Documento de aceitação para cada indivíduo, que irá resolver os problemas com o protótipo, que se encontra na página 239

Questionário de identificação do perfil do participante: Questionário que identifica o perfil do usuário, sua experiência com computador, grau de instrução, idade, sua experiência com interfaces educativas e softwares de colaboração, que se encontra na página 242.

Questionário de pós-resolução de problema: Questionário aplicado a cada usuário após a resolução de uma dada situação problema. Esse questionário visa coletar informações a cerca dos teoremas-em-ato mobilizados pelo usuário sobre o domínio estudado e os motivos de suas escolhas. Essas informações irão fazer parte das dimensões para o modelo do usuário proposto, que se encontra na página 247

Pós-Entrevista: Questionário aplicado a cada usuário após a realização do teste, que se encontra na página 249.

Participantes

Segundo Nielsen (1993), o passo inicial de um teste de usabilidade é conhecer os usuários envolvidos no uso do produto.

Procedimentos

Experimentadores: Além dos usuários da interface, estiveram presentes durante o teste dois experimentadores: o primeiro experimentador assumiu o papel do computador, oferecendo a ajuda durante a resolução dos problemas. O segundo experimentador ficou encarregado da filmagem e gravação durante todo o teste, e da aplicação dos

questionários.

O teste de usabilidade aconteceu com cinco usuários; todos eram professores de matemática, observando-se os diferentes graus de instrução e experiências com recursos computacionais. Antes de iniciar o teste, cada usuário recebeu uma breve aula sobre estruturas aditivas cujo objetivo foi relembrar os conceitos e a legenda de Vergnaud. Após a aula, cada usuário recebeu uma breve explicação sobre o protótipo e sobre a relevância de sua participação. Além disso, explicou-se que o teste seria realizado com um protótipo em papel, o que foi motivo de grande surpresa, pois eles nunca tinham visto uma interface de um software em papel. Durante o teste, foram feitas gravações e filmagens. As filmagens focaram apenas nas mãos do usuário, utilizando o protótipo. A seguir, a Figura 4.16 representa todos os procedimentos realizados durante o teste.

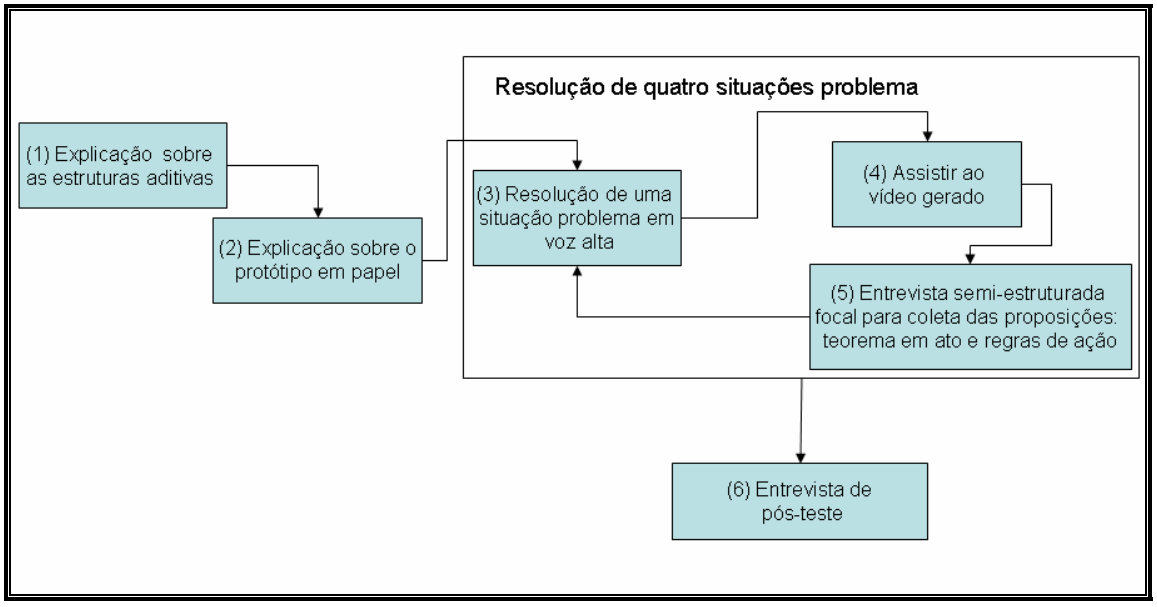


Figura 4.16. Procedimentos realizados durante o teste de usabilidade.

De acordo com a Figura 4.16, o procedimento ocorreu em cinco etapas: Na primeira etapa, o usuário recebe uma explicação sobre as estruturas aditivas. Para isso, foi utilizada uma apresentação em *power point* cujo objetivo foi fazê-lo lembrar da legenda e dos diagramas utilizados. Numa segunda etapa, o usuário recebeu uma explicação sobre o protótipo em papel e sobre a forma de realização do teste com esse tipo de protótipo. Na terceira etapa, o usuário iniciou o teste do protótipo e recebeu uma situação problema para resolver com o uso do protótipo. Nesse momento, ele foi instruído a resolver o problema em voz alta, possibilitando aos pesquisadores fazer a

coleta dos seus protocolos verbais. Na quarta etapa, o usuário assistiu ao vídeo gerado para a situação problema que acabou de resolver e, em seguida na quinta etapa, foi submetido a uma entrevista semi-estruturada focal (Merton, Kendall, 1946), cujo propósito foi coletar os teoremas-em-ato mobilizados pelo usuário, entendendo os motivos de tal mobilização e de suas decisões durante a resolução do problema proposto. Finalmente na sexta etapa, quando concluiu todos os problemas propostos, o usuário foi submetido a uma outra entrevista semi-estruturada cujo propósito foi coletar sua impressão e opinião geral sobre a interface e sobre os mecanismos de ajuda que recebeu.

Tarefa dos alunos

De acordo com Vergnaud (1998 *apud* Magina *et al.* (2000) um estudante usa o conhecimento desenvolvido por meio de sua experiência em situações anteriores e tenta adaptá-lo a uma nova situação. Aqui sugerimos os problemas ilustrados e ordenados conforme sua complexidade por (Magina *et al.*, 2000).

PROBLEMA A: AO REDOR DA MESA DA SALA DE JANTAR DE MINHA CASA, ESTÃO SENTADOS APENAS 4 GAROTOS E 7 GAROTAS. QUANTAS PESSOAS ESTÃO SENTADAS AO REDOR DA MESA?

PROBLEMA B: MARIA COMPROU UMA CAIXA DE BOMBONS POR R$ 4,00 E AINDA FICOU COM R$ 7,00. QUANTO ELA POSSUÍA ANTES DE FAZER A COMPRA?

PROBLEMA C: CARLOS TEM 4 ANOS. MARIA É 7 ANOS MAIS VELHA QUE CARLOS. QUANTOS ANOS TEM MARIA?

PROBLEMA D: ROBERTO FOI JOGAR VÍDEO GAME. AO FIM DA PRIMEIRA FASE DO JOGO ELE TINHA PERDIDO 4 PONTOS. ELE, ENTÃO, FOI PARA A SEGUNDA E ÚLTIMA FASE DO JOGO. ELE TERMINOU O JOGO COM 7 PONTOS GANHOS. O QUE ACONTECEU NA SEGUNDA FASE?

Nos problemas acima, para obter a resposta, é necessário apenas somar 4 + 7, porém eles se referem a idéias diferentes. Com isso, as autoras acima citadas mostram que a esquematização e a interpretação do problema dependem da forma como o problema é

proposto. Segundo as mesmas autoras, o sucesso da resolução varia de acordo com a idade, em conjunto com a escolaridade do estudante. Para os conceitos contidos nesse problema podemos citar:

Conceito de medida (magnitude onze é maior que sete, que é maior do que quatro).

Conceito de adição

Conceito de subtração

Conceito de transformação de tempo (por exemplo, "Maria possuía agora..." quanto tinha antes?...).

Relação de comparação (por exemplo, "quem tem (é) mais, quem tem (é) menos?", "quanto tem a mais, quanto tem a menos?");

Composição de quantidade.

Como foi visto nos conceitos acima enumerados, num mesmo problema matemático pode ser encontrada uma grande quantidade de conceitos. Segundo Vergnaud (1986), os conceitos matemáticos podem ser classificados inicialmente em (1) relacional e (2) numérico. (1) O relacional se refere às operações do pensamento necessárias para que haja a manipulação de relações envolvidas na situação. Nesse tipo de conceito, é necessário que o aluno parta de uma situação mais abstrata e consiga encontrar os cálculos numéricos correspondente. (2) O calculo numérico necessário será uma soma ou uma subtração, e obtido a partir das relações escritas em linguagem natural.

Coleta dos Dados

Os dados coletados e tratados foram obtidos por meio de vídeos, gravações de áudio, questionários de identificação de perfil, questionário com entrevista semi-estruturada focal aplicado ao final de cada problema (*debriefing*) e questionário com entrevista semi-estruturada aplicado ao final do teste de usabilidade. A Figura 4.16 apresenta os procedimentos realizados no teste e os pontos em que cada técnica foi aplicada.

Dados Verbais

Think-aloud

Essa técnica consiste em pedir aos usuários para pensar em voz alta enquanto estão executando uma tarefa especifica. É pedido aos usuários para dizer o que estão olhando, pensando, fazendo, e sentindo, sobre a tarefa em execução. Isto possibilita a observação detalhada do processo da conclusão da tarefa. Os observadores, que aplicam esta técnica, analisam objetivamente tudo o que os usuários dizem, sem, contudo oferecer alguma interpretação. Durante o teste são realizadas gravações e filmagens de modo que os observadores possam consultar o que participantes fizeram durante a execução da tarefa, e como reagiram. Segundo Nielsen (1993) esta técnica contribui para um maior entendimento do usuário e da tarefa em execução.

O *think-aloud* foi utilizado para, juntamente com a entrevista semi-estruturada focal, possibilitar a coleta dos teoremas-em-ato dos usuários acerca da tarefa e dos conceitos veiculados pela interface.

Entrevistas semi-estruturadas

Para Flick (2004), as entrevistas semi-estruturadas têm despertado grande interesse, sendo amplamente utilizadas nas pesquisas qualitativas.

> *"Esse interesse está vinculado à expectativa de que é mais provável que, os pontos de vistas dos indivíduos entrevistados sejam expressos em uma situação de entrevista com um planejamento relativamente aberto do que em uma entrevista padronizada ou em um questionário." Flick, (2004).*

Além dos protocolos verbais coletados durante a execução das tarefas, aplicamos uma entrevista semi-estruturada focal (Flick, 2004) ao final de cada problema e coletamos os teoremas-em-ato mobilizados pelo usuário para cada passo da tarefa de modelagem do problema. Nesse ponto da pesquisa, nosso objetivo foi entender as proposições que o usuário considera verdadeiras acerca do processo de modelagem do problema e dos conceitos veiculados pela interface, objetivando propor formas de ajuda que fossem eficazes para forçar o 'replanejamento' O'Hara, Payne, (1998), conduzindo-o a pensar mais uma vez na tarefa em execução e direcionando-o a encontrar a solução correta.

Além da coleta dos teoremas-em-ato, que são mobilizados nas ações anteriores à aplicação da ajuda, foi possível inferir sobre os teoremas-em-ato mobilizados após a ajuda. Nesse ponto pretendeu-se saber se a ajuda oferecida ocasionou a evocação de propriedades matemáticas corretas; pois, segundo Vergnaud (1986; p. 79), a inferência

das propriedades matemáticas corretas ou erradas dos conceitos mobilizadas na ação, chamadas de invariantes, permitem avaliar e analisar, de maneira rigorosa, os conhecimentos do estudante. Em Braga (2006), encontramos os invariantes verdadeiros utilizados.

O questionário, contendo as perguntas aplicadas aos usuários após a resolução de cada situação problema, pode ser visto no Anexo C – Questionário de pós-resolução de problema. Para cada categoria, comparação, composição e transformação, existe um questionário diferente. Isso acontece porque os passos da modelagem são diferentes para cada categoria.

Dados Visuais

Além das competências da fala e da escuta empregadas nas entrevistas a observação é outra habilidade diária metodologicamente sistematizada e aplicada na pesquisa qualitativa (Flick, 2004). Os dados visuais ajudaram no processo de transcrição. No momento da observação, os experimentadores descritos na página 89, assumiram um papel de observador participante, uma vez que foi necessário interagir com o usuário no momento da realização das tarefas descritas na página 91 e exemplificadas na página 124. Um dos aspectos da observação participante segundo Jorgensen *apud* Flick, (2004) é "*um interesse especial no sentido humano e na interação vistos a partir da perspectiva daqueles que são* ***insiders*** *ou membros de situações e ambientes específicos*". Nesse momento, vale ressaltar que um dos objetivos específicos desta pesquisa é a geração de requisitos para uma interface educativa, como descrita em (Braga, 2006), considerando a influência que um estilo de interação tem sobre a aprendizagem de conceitos específicos.

Transcrição dos dados

Os protocolos verbais resultantes da verbalização dos usuários durante a resolução dos problemas, juntamente com os resultados do questionário (presente do Anexo C), foram transcritos e analisados qualitativamente. O objetivo foi o de encontrar as necessidades dos usuários no momento do uso e encontrar os teoremas-em-ato falsos que emergiram durante o teste, uma vez que os verdadeiros já haviam sido coletados por Braga, (2006).

Análise qualitativa de dados

A interpretação dos dados é o cerne da pesquisa qualitativa – embora sua importância seja vista sob diferentes aspectos nas diversas abordagens (Flick, 2004). A interpretação do texto visou à redução do texto original através de categorização. Inicialmente, procedeu-se a uma codificação temática e, em seguida, ao relacionamento entre as categorias. Segundo Flick (2004), a revelação do texto acontecerá por meio de respostas ás seguintes perguntas:

> *O quê*? Sobre o que se fala aqui? Qual o fenômeno mencionado?
>
> *Quem*? Que pessoas atores estão envolvidos? Que papéis eles desempenham? Como eles interagem?
>
> *Como?* Quais os aspectos do fenômeno são mencionados (ou não são mencionados)?
>
> *Quando? Por quanto tempo? Onde?* Tempo, curso e localização.
>
> *Quanto? Com que força?* Aspectos relacionados à intensidade.
>
> *Por quê?* Quais os motivos que foram apresentados ou que podem ser reconstruídos?
>
> *Para quê?* Com qual intenção, com que finalidade?
>
> *Através de quê?* Meios, táticas e estratégias para se atingir o objetivo.

Codificação temática

Utilizamos a codificação temática. "*Esse procedimento foi desenvolvido para estudos comparativos, nos quais os grupos estudados são obtidos a partir da questão de pesquisa, sendo assim definidos a priori"* (Flick, 2004). A amostragem é orientada a grupos cujas perspectivas sobre o assunto pareçam ser mais instrutivas para a análise e que são definidos antecipadamente (*Ibid*). Durante a codificação temática, podem ser realizadas entrevistas episódicas ou entrevistas semi-estruturadas, nas quais os domínios

dos tópicos são definidos em função das situações a serem relatadas, e que estejam ligadas ao assunto em estudo.

Segundo Flick (2004) para uma boa interpretação dos domínios temáticos, trechos individuais do texto (por exemplo, narrativas de situações) são analisados minuciosamente. O paradigma desta codificação é tomado como ponto de partida para a obtenção das seguintes questões-chave:

> *Condições.* Por quê? O que levou à situação? Pano de fundo? Trajetória?
>
> *Interação entre os atores.* Quem atuou? O que aconteceu?
>
> *Estratégias e táticas.* Quais as formas de lidar com a situação, por exemplo a evitá-las, ou adaptá-las?
>
> *Conseqüências.* O que de fato, mudou? Conseqüências, resultados?

Para apoiar a análise temática dos protocolos, utilizamos o software NUD*IST (QSR, 1995). Esse software auxilia o pesquisador na organização de protocolos em categorias que definem a tarefa do contexto da pesquisa.

Para responder a nossa pergunta de pesquisa elaborada na página 6, utilizamos uma metodologia qualitativa. Neste estilo de pesquisa, o pesquisador busca padrões ou regularidades que tenham emergido durante a execução das tarefas propostas. As categorias foram criadas visando verificar padrões na associação entre ajudas oferecidas pela interface e as proposições mobilizadas de conceitos matemáticos; em outras palavras, verificar se a ajuda fornecida fez mobilizar proposições como discutido por Vergnaud (1986),

A partir do exposto, o ponto de partida para a verificação da aprendizagem mediada pelo sistema é encontrar os invariantes verdadeiros. Esses resultados foram facilitados pelos resultados encontrados em Braga (2006). Em sua pesquisa, o autor encontrou evidências qualitativas sobre a emergência dos invariantes presentes na ação com a mesma interface utilizada neste trabalho e resumida no Quadro 4.11. Isso nos permitiu construir as estratégias de ajuda inteligentes, que apresentaremos a seguir.

Quadro 4.11. Invariantes verdadeiros mobilizados durante o uso do Gerard.

As partes formam o todo.
Um número pode representar o cardinal de um conjunto.
A soma das quantidades gera um valor que corresponde à cardinalidade do todo.
Uma medida inicial se transforma, dando origem a uma nova medida.
Um número pode representar o estado inicial da medida.
Um número pode representar o estado final da medida.
A transformação aplicada a uma medida pode ser expressa por um número.
A transformação aplicada a uma medida é obtida pela diferença entre o estado final e o estado inicial da mesma.
O estado inicial em um problema de transformação pode ser obtido a partir da aplicação da transformação inversa ao estado final da medida.
O valor de uma medida é especificado em relação ao valor de uma outra medida, em termos de acréscimos ou decréscimos.
Um número pode representar o referente de uma medida, servindo de base para a obtenção da outra medida.
A relação existente entre as duas medidas pode ser expressa por um número.
O referido em um problema de comparação é obtido a partir da soma do referente com o número que expressa a relação existente entre o referente e o referido.

O Quadro 4.11 contém os invariantes verdadeiros, que emergiram durante testes de usabilidade com o sistema Gérard. Esses invariantes foram categorizados como verdadeiros e sua mobilização foi percebida durante o teste de usabilidade. Uma explicação mais completa, juntamente com o processo de análise para a obtenção dos mesmos, pode ser encontrada em (Braga, 2006).

Na análise da aprendizagem, verificamos a existência de relações entre o uso da interface e a emergência desses invariantes verdadeiros (cf. Gomes, 2005). Para tanto, além dos teoremas-em-ato verdadeiros, foi necessário localizar, também, teoremas-em-ato falsos, cuja mobilização revelará que a interface conduz o usuário ao erro. A seguir, Figura 4.17 representa os passos para iniciar a análise da aprendizagem.

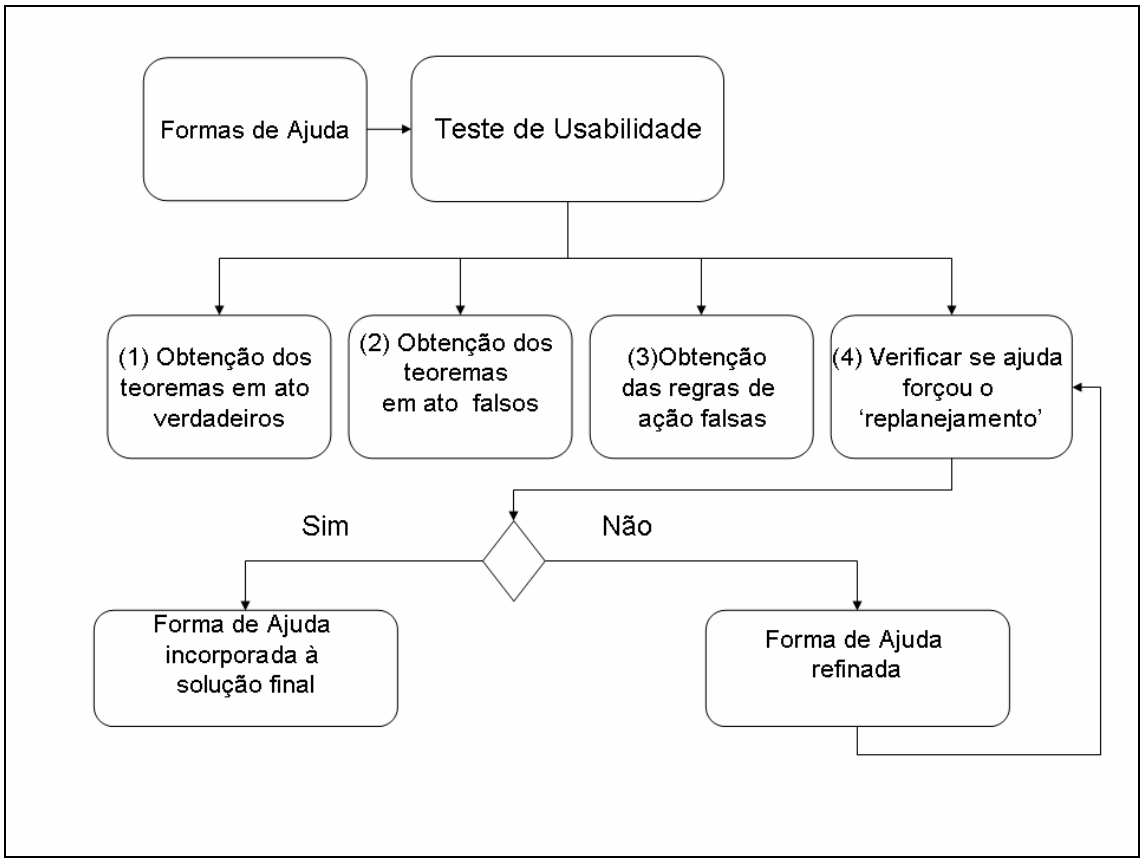


Figura 4.17. Seqüência de ações realizadas para refinar a ajuda.

Tendo em vista o exposto, continuaremos a análise das proposições falsas mobilizadas pelo usuário. Essas proposições podem ser (1) teoremas-em-ato falsos, ou (2) regras de utilização da interface falsas. A obtenção dessas proposições falsas foi realizada para estabelecer uma comparação capaz de demonstrar que, após a intervenção da interface, houve a mobilização dos invariantes verdadeiros e das regras verdadeiras, o que permite avaliar a adaptação do usuário à interface (Gomes, 2005). Em outras palavras, verificamos se após a mobilização de um teorema-em-ato falso, seguiu-se uma ajuda, que fez emergir uma ação mobilizando um invariante verdadeiro. Para facilitar o entendimento dos protocolos verbais, utilizamos um conjunto de sinais, dispostos no quadro a seguir.

Quadro 4.12. Sinais utilizados nas transcrições.

Sinal	Descrição
S (n)	Diálogo do indivíduo. (n) é o número correspondente ao indivíduo, ex: S1 é o indivíduo número 1
P	Diálogo do pesquisador.
C	Diálogo do computador.
( )	Comentário do analista.
[ ]	Descrição do problema sendo resolvido pelo usuário.

(1) Teoremas-em-ato falsos e análise dos resultados conseguidos com a ajuda.

De acordo com a Figura 4.8, um dos passos da análise qualitativa é a obtenção dos teoremas-em-ato falsos. Os teoremas-em-ato falsos são as proposições falsas, que emergiram durante o uso da interface.

Além dos protocolos verbais produzidos durante a resolução das tarefas e sob a orientação dos usuários pensarem alto (*think aloud*), aplicamos uma entrevista semi-estruturada focal que possibilitou igualmente a coleta de proposições sobre o uso da interface e sobre os conceitos veiculados pela interface. A entrevista aplicada para as três categorias aqui tratadas pode ser vista no Anexo C – Questionário de pós-resolução de problema.

A seguir, examinamos cada proposição falsa coletada e exibimos o conjunto de protocolos verbais e respostas da entrevistas que exemplifica a ocorrência dos teoremas-em-ato Além da verificação da ocorrência falsa, temos a ajuda que se seguiu após o erro

e a posterior ação do usuário. Nesse momento, iremos verificar a modificação, que ocorreu na proposição mobilizada pelo usuário após ter recebido uma ajuda do sistema. Para cada teorema-em-ato falso, mostraremos trechos da transcrição em que o usuário mobiliza o mesmo e, em seguida, é estimulado pela interface a refletir e muda a proposição anteriormente mobilizada.

Teorema-em-ato 1:

> *O estado inicial de uma transformação negativa é obtido através da composição entre o número relativo e o estado final.*

Quadro 4.13. Incremento de interação após mobilização do teorema-em-ato 2.

Fragmento 5: Problema 3: Indivíduo 3
[Maria comprou uma caixa de bombons por 4 reais e ainda ficou com 4 reais. Quanto ela possuía antes de fazer a compra?] S3: Composição (Clicou em Composição) (errou na identificação do tipo de problema). C: Tem certeza de que é uma junção entre duas quantidades? Clique em ok para tentar novamente. S3: Ok (Clicou em Ok). C: Escolha no menu a legenda correspondente a operação. S3: Só se fosse uma transformação (Clicou em transformação). P: Porque você escolheu composição para esse problema? S3: Bom, porque você tinha uma quantidade maior, a qual você desconhece (a resposta, no caso o estado inicial). Você ficou com um saldo de 4 reais e teria gasto 4 reais. Somando o que você ficou com o que você gastou, você teria aí um total de 8 reais.

Discussão sobre o Teorema-em-ato 1:

No Quadro 4.13, o usuário comete um erro de categorização. Ele escolhe comparação enquanto o problema tem a estrutura de uma transformação. Na linha 2, ele recebe uma mensagem de alerta. Na linha 5, ele conclui que pode ser uma transformação. Embora ele não tenha dito claramente, qual a proposição mobilizada após receber a ajuda, ele categorizou corretamente. Sendo assim, podemos concluir que a ajuda foi efetiva para fazê-lo mobilizar a proposição verdadeira.

Teorema-em-ato 2:

> *O cardinal do referendo é obtido pela composição entre o número relativo e o cardinal do referido.*

Quadro 4.14. Incremento de interação após mobilização do Teorema-em-ato 3.

Fragmento 6: Problema 3: Indivíduo 3

[Ricardo tem 6 anos, Carlos tem 4 anos a mais do que ele. Quantos anos tem Carlos?]

C: Escolha no menu a legenda correspondente a operação.
S3: Ok (Clicou em Ok).
S3: Composição (Clicou em Composição). (errou na identificação do tipo de problema).
C: Tem certeza de que é uma junção entre duas quantidades? Clique em ok para tentar novamente.
S3: Ok (Clicou em Ok).
C: Escolha no menu a legenda correspondente a operação.
S3: Mas é composição (Clicou em Composição).
C: Tem certeza de que é uma junção entre duas quantidades? Clique em ok para tentar novamente.
S3: Ok (Clicou em Ok).
S3: Se Ricardo tem 6 anos e Carlos tem 4 anos a mais, a resposta é dez. Não é uma composição? (Clicou em composição).
C: Tem certeza de que é uma junção entre duas quantidades? Clique em ok para tentar novamente (faltou aqui a dica).
S3: Ok (Clicou em Ok). Eu estou juntando a idade de Ricardo com os 4 anos que Carlos tem a mais. Então seria uma junção de duas quantidades.
C: Tem certeza de que é uma composição? Não existe uma referência entre a idade de Carlos e a idade de Ricardo?
S3: Então é Comparação (Clicou em Comparação).
C: Arraste os valores do texto para o modelo.
S3: Ok (Clicou em Ok).
S3: Seis... (Arrastou o número 6 do texto do problema e posicionou no quadrado referente).
S3: mais quatro (Arrastou o número quatro do texto do problema e posicionou no número relativo, informando o sinal).
C: Entre agora com o resultado.
S3: Dez (apontou o referido).
C: Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa?
S3: Sim (clicou no botão sim).

P: Porque você escolheu composição para esse problema?
S3: Porque estamos trabalhando com duas quantidades de mesma natureza, no caso a idade de Carlos e Ricardo.
P: Após receber a mensagem do computador "Tem certeza de que é uma junção entre duas quantidades?", você continuou optando pela composição.
Como você explicaria isso?
S3: Porque no problema eu estou juntando a idade de Ricardo com os 4 anos que Carlos tem a mais. Então seria uma junção de duas quantidades. A mensagem então reforçou minha opção pela composição.

Na linha 3 do quadro acima, o usuário cometeu um erro de categorização. Em seguida, na linha 4, recebeu uma mensagem de alerta. Após receber a mensagem, na linha 7, ele afirma que é uma composição e novamente escolhe a legenda de composição. Em seguida, na linha 8, ele recebe a mesma mensagem e, na linha 10, ele faz uma pergunta para avaliar a proposição anterior. Na linha 12, ele informa o teorema-em-ato que usou para resolver o problema. Na linha 13 a interface reformula a mensagem para salientar a situação de referência entre as duas idades. Após a mensagem reformulada, o usuário conclui que é uma comparação. Em seguida, ele prossegue com a resolução do

problema. Na linha 18, ele informa o número relativo da operação de comparação, considerando o sinal. No Quadro 4.16, esse usuário já havia cometido um erro de sinal e foi ajudado com uma mensagem de alerta. Nessa situação-problema, ele lembrou de informar o sinal. Finalmente, na linha 20, o usuário conclui a tarefa com sucesso.

Vale ressaltar a explicação dada pelo usuário sobre o motivo do seu erro durante a entrevista focal. Esse usuário tem um alto grau de instrução e sabia claramente como resolver o problema, porém ele categorizou-o de maneira errada. Segundo ele, a mensagem fornecida apenas reforçou sua certeza de que se tratava de um problema de composição. A proposição mobilizada só foi questionada quando a mensagem foi reformulada para inserir a palavra 'referência', a qual lhe fez rapidamente responder que se tratava de uma comparação. Esse resultado nos indica que podem existir algumas palavras chave, capazes de identificar as categorias. Além disso, indica também que as palavras 'junção de duas quantidades' podem ser vista por diversos ângulos. Depende do usuário que está resolvendo o problema.

Teorema-em-ato 3.

> *O cardinal do estado final de uma transformação corresponde ao resultado da operação.*

Quadro 4.15. Inc. de interação, após mobilização do Teorema-em-ato 4.

Fragmento 9: Problema 2: Indivíduo 1
[(Problema: Ricardo saiu de casa com 6 bolas de gude. Ao voltar ele possuía duas bolas. O que aconteceu no jogo?)] S1: dois (Arrastou o número 2 do texto do problema (estado final) e posicionou no número relativo). C: Tem certeza de que o número relativo está correto ? O número relativo é apresentado da seguinte forma: +2 ou -2. Clique em ok para tentar novamente. S1: menos dois (apontou este valor para o número relativo). C: Tem certeza de que o estado final está na posição correta? Veja o exemplo. Estado inicial (mostra o primeiro quadrado), número relativo (aponta o círculo), estado final (aponta o segundo quadrado). Clique em Ok para tentar novamente. S1: dois (apontou este valor (o estado final) para o quadrado estado final). C: Entre agora com o resultado. S1: Quatro (apontou este valor para o número relativo). C: Tem certeza de que ele ganhou 4 bolas ? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente. S1: Ok (Clicou em Ok). Menos 4 (apontou este valor para o número relativo). C: Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa? S1: Sim (clicou no botão sim). ... S1: Porque o dois é o estágio final do problema, é o resultado. É a quantidade de bolas que resta a Ricardo. Pesquisador: Após receber a mensagem do computador "Tem certeza de que o número relativo está correto ? O número relativo é apresentado da seguinte forma: +2 ou -2.", você optou por colocar o valor 2 no círculo novamente, desta vez com sinal negativo. Por que você levou o valor menos dois ao círculo? S1: Pela informação dada pelo computador. Achei que o problema fosse o sinal. P: Sua decisão foi então influenciada pela mensagem do computador? S1: Exato.

No Quadro 4.15, vemos que na linha 1 o usuário posicionou o cardinal relativo ao estado final no circulo do diagrama. Nesse ponto, ele cometeu um erro de posicionamento, porém nas respostas dadas na entrevista focal, ele justificou o erro dizendo que o dois é o estado final, resultado da operação. Em seguida, na linha 2 ele recebeu um alerta por meio de uma mensagem. Ele entendeu que o problema era apenas com o sinal, e corrigiu-o. Porém ele ainda não havia percebido que tinha errado também no posicionamento. Na linha 4, o sistema automatiza alguns passos da modelagem, utilizando uma ajuda que já indica o posicionamento de cada elemento, e o usuário conclui a tarefa com sucesso. Na explicação dada por ele, fica claro que a interface influenciou suas decisões.

Percebemos que os usuários mobilizaram poucos invariantes falsos. Logo, nesse ponto, os resultados podem ser melhorados com um outro teste de usabilidade com situações problema variadas. Os resultados oferecidos nesse ponto não são conclusivos, sendo

necessário, portanto, proceder a mais um teste de usabilidade.

(2) Regras falsas de utilização da interface

Na Figura 4.8, um dos resultados da análise qualitativa é a coleta das regras falsas que emergiram durante o teste de usabilidade. A análise das regras falsas pode orientar o projetista, por exemplo, na criação de novos artefatos. Os resultados aqui obtidos foram utilizados para verificar se a ajuda foi capaz de resolver problemas de usabilidade, orientando o usuário para mobilizar a regra correta. Sendo assim procedemos à análise das proposições falsas sobre as regras a fim de perceber se, após a mobilização de uma regra falsa, seguiu-se uma ajuda por parte da interface do sistema, e se culminou na emergência da regra verdadeira.

Regra errada 1:

Um número relativo pode ser representado sem sinal.

Quadro 4.16. Inc. de interação. Ajuda após mobilização da Regra em ação 1.

Fragmento 3: Problema 4: Indivíduo 3
[Maria comprou uma caixa de bombons por 4 reais e ainda ficou com 4 reais. Quanto ela possuía antes de fazer a compra?] S3: quatro (indicou o valor 4 para o número relativo sem informar o sinal). C: Tem certeza de que ele ganhou 4 bolas ? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente. S3: Ok (Clicou em Ok). S3: menos 4. (indicou o número relativo). C: Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa? S3: Sim (clicou no botão sim). P: Você sabia que tinha ocorrido uma perda de 4 bolas, mas não usou o sinal negativo. Porque não usou o sinal de menos? S3: Porque eu não tinha nem percebido que era necessário falar o sinal.

No quadro acima, na linha 1 vê-se que o usuário insere o valor 4 correspondente ao número relativo, no entanto esquece de mencionar o sinal; na linha 2 ele recebe uma mensagem de alerta do sistema, que explica que o sinal deve ser inserido, fazendo-o relacionar o sinal de '+' com ganho e o sinal de '-' com perda. A partir da leitura dessa mensagem, o usuário corrige o problema, e conclui a situação problema com sucesso.

Quadro 4.17. Incremento de interação. Ajuda após mobilização do Regra errada 1

Fragmento 4: Problema 4: Indivíduo 1
[Maria comprou uma caixa de bombons por 4 reais e ainda ficou com 4 reais. Quanto ela possuía antes de fazer a compra?] C: Entre agora com o resultado. S1: Quatro (apontou este valor para o número relativo). C: Tem certeza de que ele ganhou 4 bolas ? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente. S1: Ok (Clicou em Ok). Menos 4 (apontou este valor para o número relativo). S1: É exatamente a idéia de que 4 seria a perda, né? P: Você sabia que 4 era a perda, mas não usou o sinal negativo. Porque não usou o sinal de menos? S1: Porque não pensei que fosse preciso colocar o sinal. P: Após receber a mensagem do computador "Tem certeza de que ele ganhou 4 bolas ? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho." , você optou por levar o número quatro com o sinal negativo para o círculo. Porque você fez isso? S1: Após ver a mensagem, ficou claro para mim que o valor tinha que ser informado junto com o sinal.

Discussão da Regra em ação 1:

No Quadro 4.16, o usuário comete um erro de sinal na linha 1. Em seguida, na linha 2, ele recebe uma mensagem de alerta. Após a mensagem ele escolhe o botão ‘Ok’, corrige o erro e conclui a tarefa com sucesso. Durante o teste, o erro do sinal do número relativo foi uma constante, às vezes por falta de atenção, às vezes, por falta de conhecimento sobre qual o sinal inserir, e à vezes por não saber que precisava inserir o sinal. Em todos os casos, as mensagens de alerta conduziram o usuário a pensar novamente, e pensar sobre a tarefa que acabara de resolver. Isso pode ser confirmado pela entrevista focal logo abaixo da seqüência de ações.

No Quadro 19, novamente o usuário comete um erro de sinal. Em seguida, ele recebe uma mensagem de alerta. Corrige o problema e conclui, na linha 5, que o sinal de menos significa perda. Após a seqüência da atividade segue a entrevista focal em que ele explica seu erro e a nova proposição mobilizada na tarefa em execução após receber a mensagem.

Regra errada 2:

> *O elemento desconhecido da composição deve ser sempre posicionado no quadrado que representa o todo da composição.*

Quadro 4.18. Inc. de interação. Ajuda após mobilização Regra errada 2.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 2
[Ricardo tem 9 brinquedos dos quais uma parte são carrinhos e a outra parte são bonecos. Sabendo que existem 4 bonecos, quantos são os carrinhos] ... C: Tem certeza de que esse é o resultado da operação? Clique em Ok para tentar novamente ou Clique em dica para obter mais ajuda. S2: Mas este quadrado aqui não contém sempre a resposta do problema? (apontando para o quadrado que representa a união das quantidades). S2: Dica (Clicou em dica). C: (Colocou as dicas indicando o que cada elemento do diagrama representa, no caso "bonecos" para o primeiro quadrado da composição, "carrinhos" para o segundo quadrado e "brinquedos" para o quadrado que representa a união das quantidades). C: Arraste os valores do texto para o modelo. S2: O nove para cá... (Arrastou o número 9 do texto do problema e posicionou no quadrado que representa a união das coleções). S2: O quatro para cá... (Arrastou o número 4 do texto do problema e posicionou no primeiro quadrado da composição). C: Entre agora com o resultado. S2: Cinco (indicou o número 5 para o segundo quadrado da composição). C: Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa? S2: Sim (clicou no botão sim). ... P: Após utilizar a ajuda que colocava nomes explicando cada elemento da legenda, você preencheu corretamente os valores do problema. Como você explicaria isso? S2: A ajuda com os nomes mostrou onde eu deveria colocar cada número. Então ficou mais fácil resolver o problema.

Discussão da Regra errada 2:

No trecho do Quadro 4.18, o usuário S2 havia mobilizado uma regra falsa. Em seguida, na linha 1, o computador envia uma mensagem, posteriormente, na linha 2, o usuário elabora uma pergunta sobre a proposição mobilizada inicialmente. Em seguida, o computador utiliza uma ajuda que reduz o grau de liberdade do usuário pela simplificação da tarefa. Dessa forma ele consegue finalizar o problema com sucesso.

Regra errada 3:

> *O cardinal que representa o referendo de uma comparação deve ser posicionado no circulo que representa o número relativo.*

Quadro 4.19. Incrementode interação. Ajuda após mobilização da Regra errada 3.

Fragmento 13: Problema 4: Indivíduo 2
[Ricardo tem 6 anos, Carlos tem 4 anos a mais do que ele. Quantos anos tem Carlos? Computador: Escolha no menu a legenda correspondente a operação] S2: Seis... (Arrastou o número 6 do texto do problema e posicionou no número relativo). C: Tem certeza de que o referendo está na posição correta? Clique em Ok para tentar novamente. S2: Ok (Clicou em Ok). C: Arraste os valores do texto para o modelo. S2: Estou em dúvida. Posso pedir mais dica? P: Sim. C: (Colocou as dicas, indicando o que cada elemento do diagrama representa no caso "Ricardo" para o primeiro quadrado da comparação (referendo), "Carlos" para o segundo quadrado da comparação (referido)). C: Arraste os valores do texto para o modelo. S2: Seis... (Arrastou o número 6 do texto do problema e posicionou no quadrado referente). S2: quatro (Arrastou o número quatro do texto do problema e posicionou no número relativo). S2: Dois (apontou o referido). S2: C: Tem certeza de que o resultado da operação está correto? Clique em Ok para tentar novamente. S2: Dez (apontou o referido). C: Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa? S2: Sim (clicou no botão sim). P: Você arrastou o número 6 para o círculo (o número relativo). Porque você fez isso? S2: O 6 é a idade de Ricardo. Eu coloquei no círculo porque, para resolver o problema, eu iria somar a idade de Ricardo com a quantidade de anos que Carlos tinha a mais. P: Você saberia dizer o que deve ser colocado no círculo e nos quadrados no problema de comparação? S2: Não sei. P: O que representa o quatro que você colocou no círculo? S2: Ele significa a diferença de idade entre Carlos e Ricardo.

No *Quadro 4.19,* o indivíduo cometeu um erro descrito na linha 1. Em seguida, na linha 2, ele recebeu uma mensagem de alerta. Após a mensagem, ele falou que estava com dúvida e pergunta se pode pedir ajuda. O computador diz 'Sim' e usa uma ajuda que automatiza alguns passos da modelagem do problema. Feito isso, o usuário consegue terminar com sucesso.

Quadro 4.20. Incremento de interação após a mobilização da Regra errada 3.

Fragmento 6: Problema 5: Indivíduo 5
[Carlos tem 7 reais e Luiz tem 6 reais a menos do que ele. Quantos reais tem Luiz?] S5: Sete (Arrastou o número 7 do texto do problema e posicionou no número relativo). Computador: Tem certeza de que o referendo está na posição correta? Clique em ok para tentar novamente. S5: Depois desse ok, tem alguma dica? Pra você colocar o referido? Computador: Veja as dicas (colocou as frases "Dinheiro de Carlos" no referendo, "Dinheiro de Luiz" no referido e "diferença" no número relativo). S5: Dinheiro de Luiz... Agora não tem como errar, com a frase indicando o significado de cada quadrado fica mais fácil. Então aqui no caso é 1 (indicou 1 para o quadrado referido). A diferença é 6 (apontou 6 para o número relativo).

Discussão da Regra errada 3:

No Quadro 4.20, o indivíduo cometeu um erro descrito na linha 1. Em seguida, na linha 2, ele recebeu uma mensagem de alerta. Após a mensagem, ele pergunta se teria mais alguma dica? O computador diz que sim e usa uma ajuda que automatiza alguns passos da modelagem do problema. Feito isso, o usuário consegue terminar com sucesso.

Regra errada 4.

> *O cardinal do estado final de uma transformação é posicionado no circulo do diagrama.*

Quadro 4.21. Inc. de interação, após mobilização da Regra errada 4.

Fragmento 7: Problema 3: Indivíduo 4
[Maria comprou uma caixa de bombons por 4 reais e ainda ficou com 4 reais. Quanto ela possuía antes de fazer a compra?] ... S4: Transformação (Clicou em transformação). C: Arraste os valores do texto para o modelo. S4: Ok (Clicou em Ok). S4: Quatro... (Arrastou o segundo número 4 (dinheiro que restou a Maria) do texto do problema e posicionou no número relativo). C: Tem certeza de que o estado final está na posição correta? Veja o exemplo. Estado inicial (mostra o primeiro quadrado), número relativo (aponta o círculo), estado final (aponta o segundo quadrado). Clique em Ok para tentar novamente. S4: Ok (Clicou em Ok). S4: Quatro... (Arrastou o segundo número 4 (dinheiro que restou a Maria) do texto do problema e posicionou no estado final) S4: E o quatro (Arrastou o primeiro número 4 do texto do problema e posicionou no número relativo, sem informar o sinal). C: Tem certeza de que ela ganhou 4 reais? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente. S4: Ok (Clicou em Ok). S4: menos quatro (Arrastou o primeiro número 4 do texto do problema e posicionou no número relativo). S4: No caso, ela tinha 8 reais.(indicou o 8 para o estado inicial). C: Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa? S4: Sim (clicou no botão sim).   S4: Quatro... (Arrastou o segundo número 4 (dinheiro que restou a Maria) do texto do problema e posicionou no número relativo).

Discussão sobre o Regra errada 4:

No Quadro 4.21, na linha 4, o usuário posicionou o cardinal correspondente ao estado final no circulo do número relativo. Em seguida, na linha 5, o usuário recebeu uma mensagem de alerta. Na linha 7, ele corrigiu esse problema. Na linha 8, ele cometeu outro erro de sinal, recebeu outra mensagem de alerta e, na linha 11 ele, corrigiu o problema. Finalmente, ele concluiu a tarefa com sucesso.

Quadro 4.22. Incremento de interação, após mobilização da Regra errada 4

Fragmento 8: Problema 2: Indivíduo 1
[(Problema: Ricardo saiu de casa com 6 bolas de gude. Ao voltar ele possuía duas bolas. O que aconteceu no jogo?)] S1: Dois (Arrastou o número 2 do texto do problema (estado final) e posicionou no número relativo). C: Tem certeza de que o número relativo está correto ? O número relativo é apresentado da seguinte forma: +2 ou -2. Clique em ok para tentar novamente. S1: Menos dois (apontou este valor para o número relativo). C: Tem certeza de que o estado final está na posição correta? Veja o exemplo. Estado inicial (mostra o primeiro quadrado), número relativo (aponta o círculo), estado final (aponta o segundo quadrado). Clique em Ok para tentar novamente. S1: Dois (apontou este valor (o estado final) para o quadrado estado final). C: Entre agora com o resultado. S1: Quatro (apontou este valor para o número relativo). C: Tem certeza de que ele ganhou 4 bolas ? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente. S1: Ok (Clicou em Ok). Menos 4 (apontou este valor para o número relativo). C: Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa? S1: Sim (clicou no botão sim). S1: Dois (Arrastou o número 2 do texto do problema (estado final) e posicionou no número relativo). P: Em seguida, você arrastou o número 2 para o círculo (o número relativo). Por que você levou o número dois ao círculo? S1: Porque o dois é o estágio final do problema, é o resultado. É a quantidade de bolas que resta a Ricardo.

Discussão sobre o Regra errada 4:

No Quadro 4.22, na linha 1, o usuário cometeu um erro de posicionamento. Ele posicionou o cardinal do estado final no circulo do número relativo. Na linha 2 o sistema mostra uma mensagem de alerta. Na linha 3, ele tenta corrigir o erro influenciado pela mensagem que recebeu e pensa que o problema é apenas o sinal. Na linha 4, o sistema exibe outra mensagem questionando o posicionamento do estado final. Em seguida, o sistema automatiza esses passos da modelagem através de um exemplo. Feito isso, o usuário continua a resolução do problema, porém, na linha 7, ele erra no sinal do número relativo. Na linha 8, o sistema exibe uma mensagem de alerta. Na linha 9, o usuário corrige o sinal e finaliza a tarefa com sucesso.

Observamos que a ajuda oferecida na linha 2, conduziu o usuário a concluir que o problema era apenas o sinal. Logo ele foi influenciado ao erro. Um problema de comunicabilidade influenciou o usuário a tirar uma conclusão incorreta.

Regra errada 5.

O cardinal do referente deve ser posicionado no modelo no quadrado que corresponde ao referido

Quadro 4.23. Incremento de interação, após mobilização do Regra errada 5.

Fragmento 10: Problema 2: Indivíduo 1
[(Problema: Ricardo tem 6 anos, Carlos tem 4 anos a mais do que ele. Quantos anos tem Carlos?)] C: Escolha no menu a legenda correspondente a operação. S1: É um problema de comparação (clicou em comparação). C: Arraste os valores do texto para o modelo. S1: Seis... (Arrastou o número 6 do texto do problema (o referente) e posicionou no quadrado referido). C: Tem certeza de que o referente está na posição correta? Clique em Ok para tentar novamente. S1: Seis... (Arrastou o número 6 do texto do problema (o referente) e posicionou no quadrado referente). S1: Mais quatro (indicou o número relativo). C: Entre agora com o resultado. S1: Dez (apontou o referido). C: Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa? S1: Sim (clicou no botão sim). P: Em seguida, você arrastou o número 6 para este quadrado (o referido). Porque você fez isso? S1: Bom, não me pareceu muito claro o local onde a idade de Carlos deveria ser colocada. Por isso coloquei aí. P: Você diz que ficou em dúvida sobre o que significava cada quadrado, círculo, do diagrama? S1: Sim, fiquei em dúvida neste ponto. P: E qual era a sua intenção ao realizar esta ação? O que o número 6 representava para você? S1: O 6 representava a idade a qual deveria ser adicionada uma quantidade de anos para obter a idade do outro indivíduo. O 6 então seria o ponto de partida para a solução do problema, seria o referencial. P: Após receber a mensagem do computador "Tem certeza de que o referente está na posição correta?", você optou por levar o número seis para o quadrado de baixo. Por que você levou o número seis a este quadrado? S1: Na verdade, após receber a mensagem do computador, eu percebi que o quadrado de baixo (referente) deveria conter a idade do Ricardo, e o quadrado de cima (o referido) a idade do Carlos.

Discussão da Regra errada 5:

No Quadro 4.23, na linha 4, o usuário cometeu um erro de posicionamento. Na linha 5, ele recebe uma mensagem de alerta. Em seguida, na linha 6 ele corrigiu o problema. Na linha 7, ele posicionou o número relativo, falando o sinal corretamente. Aqui lembrar que esse usuário já havia cometido um erro de sinal, o que é confirmado no Quadro 19. Nessa situação problema, o usuário informou o sinal sem receber nenhuma ajuda. Finalmente, o usuário conclui a tarefa com sucesso.

Vale salientar as explicações do usuário para a proposição antiga. Ele descreve claramente o que pensava antes de receber a mensagem de alerta, e como essa mensagem atuou na formação de uma nova proposição.

Regra errada 6:

O cardinal do número relativo pode ser posicionado no modelo no quadrado correspondente ao referido

Quadro 4.24. Inc. de interação após mobilização da Regra errada 6.

Fragmento 11: Problema 5: Indivíduo 5
[Carlos tem 7 reais e Luiz tem 6 reais a menos do que ele. Quantos reais tem Luiz?] S5: Seis (Arrastou o número 6 do texto do problema e posicionou no quadrado referido). C: Tem certeza de que o número relativo está na posição correta? O número relativo é representado da seguinte forma: +6 ou –6. Clique em Ok para tentar novamente. S5: Eu posso voltar ao início? P: Sim, é só clicar no botão desfazer. S5: Desfazer (clicou em desfazer, o que acarretou na retirada do número 7 do referente. O diagrama ficou limpo). S5: Sete (Arrastou o número 7 do texto do problema e posicionou no número relativo). C: Tem certeza de que o referendo está na posição correta? Clique em ok para tentar novamente. S5: Depois desse ok, tem alguma dica? Pra você colocar o referido? C: Veja as dicas (colocou as frases "Dinheiro de Carlos" no referendo, "Dinheiro de Luiz" no referido e "diferença" no número relativo). S5: Dinheiro de Luiz... Agora não tem como errar, com a frase indicando o significado de cada quadrado fica mais fácil. Então aqui no caso é 1 (indicou 1 para o quadrado referido). A diferença é 6 (apontou 6 para o número relativo). C: Tem certeza de que Luiz possui 6 reais a mais do que Carlos ? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente. S5: Ok (Clicou em Ok). S5: Continuo sem entender. Tem outra dica? C: O número relativo é representado da seguinte forma: +2 ou –2. Clique em Ok para tentar novamente. S5: menos 6 (indicou o número relativo). C: Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa? S5: Sim (clicou no botão sim).

Discussão da Regra errada 6:

No Quadro 4.24, na linha 1, o usuário cometeu um erro de posicionamento. Em seguida o sistema exibiu uma mensagem de alerta. Na linha 3, o usuário externa sua vontade de desfazer a tarefa para tentar novamente. Isso fica claro porque ele pergunta se pode voltar ao inicio. Feito isso, na linha 6, o usuário continua cometendo erros de posicionamento. O sistema, então, automatiza esses passos da modelagem do problema e o usuário prossegue na resolução. Em seguida, ele posiciona os cardinais corretamente no modelo, mas na linha 10, ele insere o número relativo sem sinal. Em seguida, na linha 11, o sistema exibe outra mensagem de alerta, e na linha 13, ele pede mais informações, pois continua sem entender qual o problema. Finalmente, na linha 14 o sistema exibe uma outra mensagem que sugere a colocação de um sinal junto ao número relativo, e dessa forma o usuário conclui a tarefa com sucesso.

Discussão

As regras de utilização da interface falsas fazem parte das proposições falsas, que o usuário mobilizou sobre o uso da interface. Aqui, queremos lembrar que teorema-em-ato falso são as proposições matemáticas falsas mobilizadas durante a execução de uma tarefa. Esse conceito não fala sobre o uso incorreto de um instrumento; contrariamente, a análise das regras falsas mostra o uso correto e incorreto de um instrumento para que, a partir dessa análise, encontre-se a relação entre o uso da interface e a emergência dos invariantes verdadeiros.

(3) Análise da comunicabilidade

De acordo com a Figura 4.8, uma das técnicas utilizadas durante a análise da qualitativa foi a análise da comunicabilidade. De acordo com Souza (2001), os testes de comunicabilidade fornecem uma avaliação qualitativa da interface, à medida que identificam pontos de ruptura da comunicação entre designer e usuários. Sendo assim, a interface é tanto um meio para a interação usuário-sistema, quanto uma ferramenta que oferece os instrumentos para esse processo comunicativo. Dessa forma a interface é um sistema de comunicação (*Ibid.*).

Em nossa pesquisa, uma das formas de ajuda é a emissão de mensagens, a saber: mensagens de questionamento, fornecimento de pista ou dica, ou explicação textual. Essas formas de ajuda e sua obtenção estão melhor descritas na página 81. Na Tarefa 1, em muitos momentos o usuário é questionado sobre as ações que acabara de executar, os questionamentos acontecem sempre após um erro. A fim de avaliar e antecipar problemas de comunicabilidade procedeu-se a análise das necessidades de comunicabilidade que emergiram durante o teste, o qual, nesse momento, pode ser chamado de teste de comunicabilidade. Além dos cenários, realizou-se a análise com o software NUD*IST, porém as categorias de comunicação que emergiram foram as mesmas percebidas nos cenários. Abaixo, listamos os resultados da comunicabilidade e os protocolos verbais que demonstram essas necessidades de comunicação.

Quadro 4.25. Necessidades de comunicação.

Comunicação	Discussão
Mensagens de sucesso a cada etapa de resolução do problema	O impacto do uso dessas mensagens não foi testado. É necessário fazer mais um teste de comunicabilidade para saber se a hipótese que essa mensagem apóia o usuário durante o processo de modelagem é verdade. Os usuários que sugeriram esse tipo de comunicação, o fizeram dizendo que ficaram perdidos, sem saber se estavam fazendo a tarefa corretamente.
Um botão contendo o rótulo 'Qual o próximo passo?'	Três dos cinco usuários participantes do teste fizeram pequenos comentários, durante o processo de modelagem, por exemplo: 'E agora?', 'É para fazer o que?', 'Qual o próximo passo?'
Presença de ajudas rápidas em cada elemento do menu.	A maioria dos usuários externou insatisfação com o fato da legenda não conter explicações. Eles fizeram algumas escolhas por tentativa e erro, pois não sabiam o significado da legenda.
As metáforas devem conter um botão com o rótulo "?".	Embora as metáforas contivessem explicações, os usuários externaram dúvida e necessidade de maiores explicações.
Tem mais alguma dica?	Alguns usuários perguntaram se tinha mais alguma dica; outros ficavam olhando a interface por algum tempo, parecendo estarem em dúvida sobre o que fazer.

Protocolos verbais

A seguir, mostramos os protocolos verbais que comprovam os padrões de interjeições descritos no Quadro 4.25.

Tem mais alguma dica?

Quadro 4.26. Necessidade de mais ajuda.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 2
... C: Tem certeza de que o referendo está na posição correta? Clique em Ok para tentar novamente. S2: Ok (Clicou em Ok). C: Arraste os valores do texto para o modelo. S2: Estou em dúvida. Posso pedir mais dica? P: Sim.

No quadro acima, o usuário falou claramente que precisava de mais dica, de mais informações. Não fica claro se ele entendeu a mensagem anteriormente fornecida. Os motivos que o levaram a pedir mais ajuda podem ser os mais variados. Nesse ponto, interessa-nos apenas satisfazer sua necessidade de informação.

Quadro 4.27. Necessidade De mais ajuda

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 2
... C: Escolha no menu a legenda correspondente a operação. S2: Ok (Clicou em Ok). S2: Transformação (Clicou em transformação). C: Arraste os valores do texto para o modelo. S2: Estou em dúvida. Posso pedir mais dica? P: Sim.

Novamente, no Quadro 29 o mesmo usuário executando outra tarefa, externa a necessidade de mais ajuda.

Quadro 4.28. Necessidade de mais ajuda

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 5
... C: Tem certeza de que o referendo está na posição correta? Clique em ok para tentar novamente. S5: Depois desse ok, tem alguma dica? Pra você colocar o referido? C: Veja as dicas (colocou as frases “Dinheiro de Carlos” no referendo, “Dinheiro de Luiz” no referido e “diferença” no número relativo). S5: Dinheiro de Luiz... Agora não tem como errar, com a frase indicando o significado de cada quadrado fica mais fácil.

No Quadro 30, o usuário pediu mais ajuda e, além disso, disse qual tipo de ajuda gostaria de receber, ou seja, ajuda para inserir o referido no modelo, ou seja, ele sabe qual o passo deve ser feito, só não sabe como deve ser feito, e para isso ele pediu ajuda.

Quadro 4.29. Necessidade De mais ajuda

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 5
... C: Tem certeza de que Luiz possui 6 reais a mais do que Carlos ? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente. S5: Ok (Clicou em Ok). S5: Continuo sem entender. Tem outra dica? C: O número relativo é representado da seguinte forma: +2 ou –2. Clique em Ok para tentar novamente.

O pedido de ajuda foi feito pela maioria dos usuários. Alguns falaram claramente; outros ficavam parados sem saber o que fazer após a execução de um passo da modelagem. Foi interessante perceber que, embora eles tivessem pouca familiaridade com o protótipo, eles se sentiram à vontade durante o teste para pedir mais informações. Houve, inclusive, um comentário interessante e informal no qual o usuário disse o seguinte:

> *'Bom, eu não sei o que fazer, mas sei que a interface vai me ajudar, então vou tentar'.*

Mensagens de sucesso a cada etapa de resolução do problema

Apesar de apenas um usuário ter falado claramente da necessidade de receber indicativos de sucesso, resolveu-se incorporar essa solução para um futuro teste com os usuários. Essa estratégia de ajuda será testada num trabalho futuro em que submeteremos os usuários a novos testes com a interface modificada. Em de Souza (2001), a autora enfatiza que, se o usuário não perceber que o sistema mudou de estado através de uma sinalização clara, ele, possivelmente, interpretará que nada ocorreu e que a sua meta inicial não foi atingida.

Quadro 4.30. Necessidade de receber indicativo de sucesso em cada etapa.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 3
... S5: Veja, eu coloquei os valores no diagrama nos lugares errados. O computador avisa quando o valor está no lugar errado, mas não avisou quando o valor estava no lugar certo. Poderia ter dito "muito bem", "pode continuar", falado algo que mostrasse que eu acertei. P: Vc diz, quando ele colocasse o 7 no local correto, o computador diria: "Muito bem, Carlos de fato tem 7 reais". S5: Exatamente. Quando eu arrastar o valor, estando certo ou errado, o computador deveria falar se acertei ou errei e indicar se eu poderia prosseguir ou se deveria tentar de novo, se eu estava no caminho certo ou não.

De fato, apenas um usuário falou claramente. Outros usuários ficaram parados diante da interface, como se estivessem esperando alguma *feedback* que os direcionasse. Uma situação semelhante pode ser vista no Quadro 35, no qual o usuário executa uma ação e fica esperando por seis segundos por algum *feedback* alguma informação que possa esclarecer o estado atual da interface, ou seja, fez certo, fez errado, deve prosseguir.

Um botão contendo o rótulo 'Qual o próximo passo?'

Essa necessidade apareceu mais claramente no discurso de dois usuários, porém em alguns casos, o usuário não sabia o que deveria fazer e ficava olhando para a interface por alguns segundos.

Quadro 4.31. Necessidade de saber qual o próximo passo da modelagem.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 3
... C: Entre agora com o resultado. S3: E agora eu faço como?

Outra necessidade que surgiu durante o teste foi a de receber feedback sobre qual a próxima ação a ser realizada. Como foi dito na discussão, a análise da tarefa, encontrada na página 59, o usuário resolve uma situação problema através de um processo de modelagem , o qual é suportado pela legenda de Vergnaud, (1986), apresentada no Quadro 4. Durante o processo de modelagem, podem surgir várias dúvidas, algumas delas relacionadas ao posicionamento dos elementos no modelo; outras relacionadas à

inserção de números acompanhados ou não de sinal, positivo ou negativo. Na análise da comunicabilidade, identificamos mais este ponto de ruptura, ou seja, quando o usuário não sabe qual o próximo passo a ser dado em direção à solução.

Quadro 4.32. Necessidade de saber o que deve ser feito.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 5
... P: Arraste os valores numéricos do texto para o modelo. S5: Como assim? P: Arraste os valores que estão no texto para o modelo (apontou o texto e o diagrama com o lápis). S5: Aí em cima? Não estou entendendo.

Novamente, no quadro 34, o usuário externa sua dúvida sobre o que deve ser feito para iniciar o processo de modelagem. Neste exemplo, o usuário não entendeu que arrastando os números do texto para o modelo, ele iniciaria o processo de modelagem, No Quadro 33 o usuário não sabe inserir o resultado e no Quadro 34 ele não sabe iniciar o processo de modelagem.

Quadro 4.33. Necessidade de saber o que deve ser feito.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 1
... No depósito da fábrica tem 4 quadradinhos. Fabrique a quantidade de quadradinhos que ele gastou na compra da caixa de bombons. S: Fabricar. (Clicou em Fabricar). Computador: Um. (Adicionou um quadradinho no círculo quadradinhos fabricados). (usuário ficou parado por seis segundos, o computador indicou o botão fabricar para ele). S: Fabricar quatro quadradinhos. (Clicou em Fabricar). C: Dois. (Adicionou um quadradinho no círculo quadradinhos fabricados). (usuário ficou parado por dez segundos, o computador indicou o botão fabricar para ele). S: Fabricar. (Clicou em Fabricar). C: Três. (Adicionou um quadradinho no círculo quadradinhos fabricados). S: Fabricar. (Clicou em Fabricar). C: Quatro. (Adicionou um quadradinho no círculo quadradinhos fabricados). S: Eu não estava entendendo que precisava apertar o botão fabricar quatro vezes.

Como foi dito na página 54, o usuário resolve uma situação problema mediante um processo de modelagem do problema. Esse processo é composto por várias subtarefas, que podem ser entendidas como passos no processo de modelagem. Em alguns momentos, os usuários não sabiam qual o próximo passo da modelagem e ficavam parados esperando algum *feedback*. Em dois casos, os usuários perguntaram claramente, 'Qual o próximo passo?' ou 'O que devo fazer agora?', sendo assim, incorporamos

essas mensagens para melhorar aspectos relativos à comunicabilidade como discutiu (de Souza, 1999).

Presença de ajudas rápidas em cada legenda do menu.

Essa necessidade surgiu no discurso de três usuários como segue.

Quadro 4.34. Necessidade de Informação sobre a legenda.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 3
... S3: Essas idéias de composição e comparação têm que ficar claras para o usuário. Quero dizer, ele pode saber fazer o cálculo mas se confundir ao identificar o problema por não saber a diferença entre o que cada termo desses significa S3: As mensagens deveriam explicar melhor a categoria do problema, não deve apenas dizer que está errado. Senão a pessoa vai simplesmente por tentativa e erro.

Quadro 4.35. Necessidade de informação sobre a legenda.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 4
... S4: Acho que sim. Acho que seria interessante. Pq (senão) ele vai ficar no acerto e erro, aí vai, composição, comparação, só vai ficar tentando. Mas na composição vc pode ter alguma estratégia pra fazer ele refletir, antes de ele ficar só tentando, acertar pelo erro, alguma coisa que ele refletisse já "porque não ?"

Quadro 4.36. Necessidade de Informação sobre a legenda

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 5
... S5: Se a pessoa errasse a estrutura, deveria haver uma explicação sobre o que é uma transformação, o que é uma composição, etc.

O desconhecimento da legenda foi um problema que pode ser verificado na quantidade de regras erradas, que foram mobilizadas. A maioria dos usuários sentiu necessidade de mais explicação sobre os conceitos metaforicamente representados. Embora as legendas contivessem um rótulo indicando o que cada uma representava isso não foi suficiente para ajudar os usuários a categorizarem corretamente os problemas. Eles externaram uma necessidade clara de ter mais explicações sobre cada categoria.

As metáforas devem conter um botão com o rótulo "?"

Essa necessidade apareceu no discurso de três usuários, como segue.

Quadro 4.37. Necessidade de Informação sobre a metáfora.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 4
... C: Oi. Esta é a fábrica de quadradinhos. A sua função é criar novos quadradinhos. Caso queira criar um quadradinho novo, clique no botão fabricar. O depósito da fábrica tem 4 quadradinhos. Fabrique a quantidade de quadradinhos que ele gastou na compra de bombons. S4: Eu vou operar como? Tem que arrastar? C: Caso queira criar um quadradinho novo, clique no botão fabricar. O depósito da fábrica tem 4 quadradinhos. Fabrique a quantidade de quadradinhos que ele gastou na compra de bombons. S4: Fabricar. (Clicou em Fabricar). C: (Adicionou um quadradinho no círculo quadradinhos fabricados). S4: Eu vou arrastar a quantidade? Ha, eu devo clicar novamente.

O propósito do uso de uma metáfora com manipulação de materiais concreto-abstratos (Gravina, 1998) é oferecer ao usuário uma situação semelhante à anteriormente proposta. Todavia é necessário que ele entenda claramente esse propósito e que o uso da metáfora esteja da mesma forma, claramente entendido. Durante o uso das metáforas, os usuários tiveram dúvida em como utilizá-las, quais ações poderiam ser executadas e como elas deveriam ser executadas.

Quadro 4.38. Necessidade de Informação sobre a metáfora.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 5
... C:Oi. Esta é a fábrica de quadradinhos. A sua função é criar novos quadradinhos. Caso queira criar um quadradinho novo, clique no botão fabricar. O depósito da fábrica tem 4 quadradinhos. Fabrique a quantidade de quadradinhos que ele gastou na compra de bombons. S5: Eu vou operar como? Eu arrasto daqui (do depósito) pra lá (a fábrica)?

Novamente, no Quadro 40, o usuário sente necessidade de explicações sobre a operação da metáfora. Isso pode ser visto claramente, pois ele usa a palavra ‘operar’ denotando que se trata de um mecanismo, no qual ele vai operar com um material cujas regras de ação são desconhecidas para ele.

Quadro 4.39. Necessidade de Informação sobre a metáfora.

Fragmento 12: Problema 1: Indivíduo 1
... S1: Fabricar. (Clicou em Fabricar). C: Um. (Adicionou um quadradinho no círculo quadradinhos fabricados). (usuário ficou parado por seis segundos, o computador indicou o botão fabricar para ele). C: Dois. (Adicionou um quadradinho no círculo quadradinhos fabricados). (usuário ficou parado por dez segundos, o computador indicou o botão fabricar para ele).

As ajudas com material concreto-abstrato foram criadas com o propósito de apresentar para o usuário uma situação-problema similar a anteriormente proposta, porém resolvida através da manipulação de um material concreto-abstrato (Gravina, 1998). Dessa forma, a própria metáfora é uma situação-problema e, separada da anteriormente proposta. Ela tem suas próprias características e peculiaridades de modo que outras necessidades podem emergir durante a sua execução. A principal necessidade percebida, nesse teste, foi a presença de mais explicações sobre o funcionamento da metáfora, ou seja, as regras em ação, sobre o uso da metáfora, são desconhecidas pelo usuário Um trabalho futuro que pode ser realizado é um teste mais específico direcionado para perceber outras necessidades durante o uso da metáfora.

Concluída a análise qualitativa, convém mencionar os erros mais comuns cometidos pelos usuários durante o processo de modelagem, bem como as necessidades mais freqüentes. Na página 105, um grande problema enfrentado pelos usuários foi com relação ao uso da legenda, o usuário externaram necessidade de mais informações sobre a legenda de Vergnaud, bem como sobre processo de modelagem do problema. Um erro muito comum foi a identificação do sinal do número relativo. De um modo geral, tal identificação foi um ponto de muita dificuldade para todos os usuários, independentemente da escolaridade. As necessidades mais comuns foram de comunicação. Durante o processo de modelagem os usuários sentiram falta de indicativos de sucesso, ou de informações sobre qual o próximo passo. Essas necessidades estão associadas ao desconhecimento das regras em ação, que controlam o processo de modelagem.

Cenários

Conforme pode ser visto na Figura 1.2, a técnica de cenários foi utilizada para alcançar alguns objetivos específicos. Tal técnica é utilizada nas pesquisas em IHC com o objetivo de antecipar uma situação específica de uso e verificar, dentro dessa situação, quais necessidades reais dos usuários podem ter durante o uso do sistema interativo em desenvolvimento (Nielsen, 1993, p. 100). Nessa mesma linha (Bødker, 1991) diz que nos projetos de sistemas a principal finalidade é tentar predizer a atividade futura de uso. Ao mesmo tempo, nós nunca poderemos fazer inteiramente tal predição. Através desta técnica é possível criar narrativas que descrevem situações de uso, sem que seja necessário operacionalizá-las mediante a escrita de um programa de computador. A partir das situações de uso, é possível identificar requisitos do modelo futuro. Nosso objetivo é encontrar as necessidades dos usuários durante a execução do cenário aqui proposto.

A análise qualitativa e os cenários foram criados e refinados tendo em vista o teste de usabilidade. Embora sejam oriundos da mesma fonte, seus resultados têm aplicações diferentes na geração dos requisitos. Os cenários foram utilizados para refinar os requisitos de interação, ou seja, as necessidades que emergirão durante o processo de interação do usuário com a interface, enquanto que a análise qualitativa teve o enfoque no refinamento da ajuda objetivando alcançar os critérios de avaliação identificados durante a metodologia. Essas diferenças são melhor visualizadas na Figura 4.2, e na Figura 4.8.

A seguir, construiremos os cenários de uma das tarefas descritas na página 91. Com base nesses cenários extrairemos necessidades que emergiram durante o teste de usabilidade. Tais cenários foram construídos a partir da observação dos dados visuais obtidos no teste.

Tarefa 1

Ao redor da mesa da sala de jantar da minha casa, estão sentados apenas quatro garotos e sete garotas. Quantas pessoas estão sentadas ao redor da mesa?

Cenário Atual

A história contada, nesse cenário, é uma ficção baseada no teste de usabilidade, que realizamos durante nossa metodologia. Depois, mostraremos os atores envolvidos no cenário, o ambiente de execução do cenário e o roteiro, contendo as ações executadas.

Atores:

Indivíduo resolvendo a tarefa proposta.

Contexto:

Eva, uma professora da rede pública, é convidada a conhecer uma nova ferramenta para o ensino de estruturas aditivas. Além do convite, ela recebeu a informação de que o teste iria ser feito com um protótipo em papel. Ela achou engraçado testar um sistema em papel; por outro lado, achou interessante, pois ficou mais à vontade para fazer críticas e dar sugestões.

Ambiente:

Eva está sentada em uma mesa. Sobre a qual está o protótipo em papel. Ao lado do protótipo em papel, estão dispostas todas as ajudas, que Eva receberá caso necessite. Ao lado de Eva, está um dos experimentadores. Ele é responsável por simular as respostas do computador. Do outro lado, está o outro experimentador, responsável por fazer as filmagens e gravações. Eva recebe informações relativas ao protótipo e instruções para iniciar o uso, executando o seguinte.

Roteiro:

Eva inicia a utilização da ferramenta. Em seguida, o sistema exibe a primeira situação problema para Eva. O sistema oferece uma tela, contendo a descrição da tarefa, e um menu superior, contendo a legenda de Vergnaud e os artefatos que podem ser utilizados.

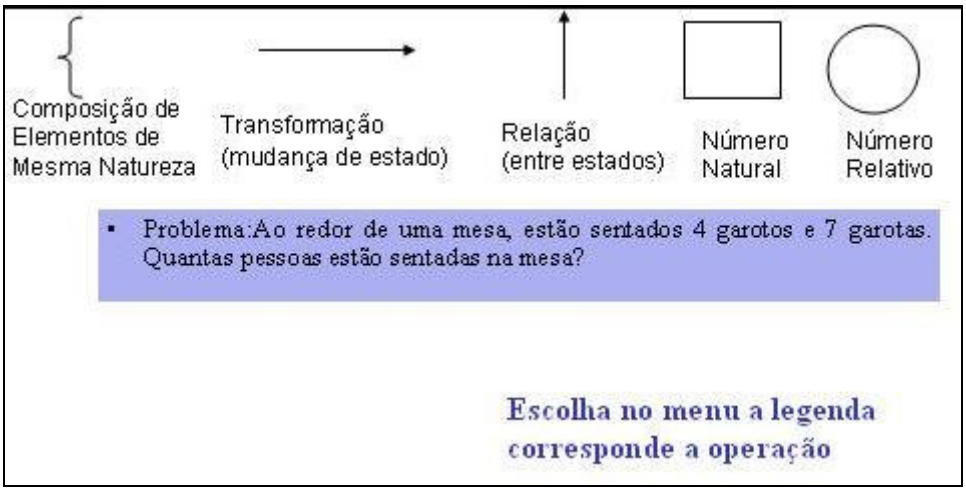


Figura 4.18: Figura correspondente a tela visualizada pelo usuário.

Em seguida, o sistema exibe a seguinte mensagem: "Escolha, no menu, a legenda correspondente à operação". Eva lê a mensagem, mas ainda pergunta: 'o que devo fazer? Que valores, os do texto?' [NECESSIDADE 1]. O usuário lê a mensagem e escolhe a legenda no menu. Eva erra na escolha da legenda; ela escolhe comparação. Logo após, a interface mostra a mensagem: 'Tem certeza de que o problema é uma comparação entre duas quantidades?'

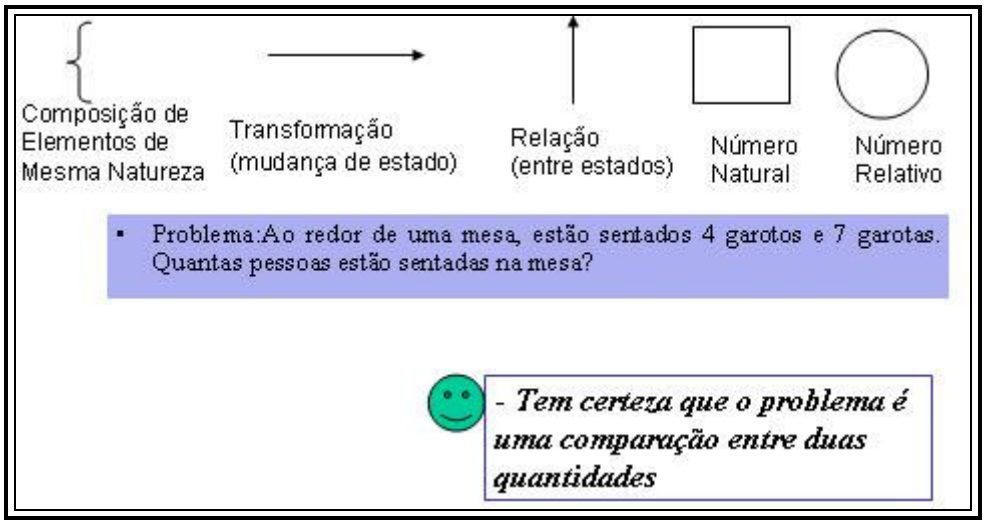
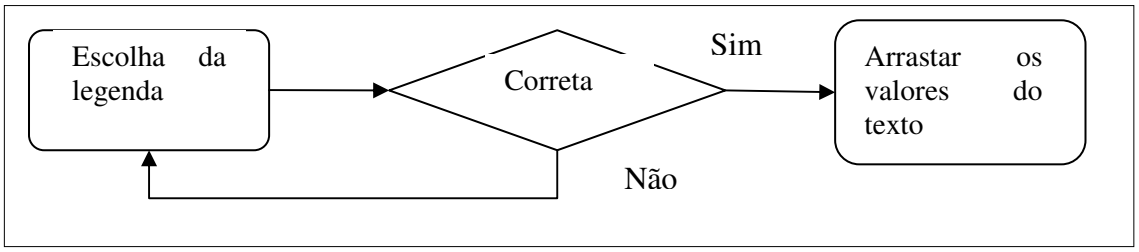


Figura 4.19. Mensagem recebida após erro na escolha da legenda.

Em seguida, Eva percebe que errou e escolhe outra legenda. Eva permanece errando, e o sistema permanece oferecendo-lhe a mesma mensagem. Depois de algumas tentativas

infrutíferas, Eva descobre, por tentativa e erro, que a legenda correta é a chave que representa a composição [NECESSIDADE 2].



Uma vez escolhida a legenda, correta, o sistema exibe a seguinte mensagem: Arraste os valores do texto para o modelo. Os valores presentes no texto são manipuláveis e devem ser arrastados. Eva lê a mensagem, mas ainda pergunta: 'o que devo fazer? Arrastar que valores?' [NECESSIDADE 3]. Eva arrastou o 'quatro'; colocou-o no lugar errado. Em seguida, o sistema exibe a seguinte mensagem: Tem certeza de que a parte da composição está na posição correta?

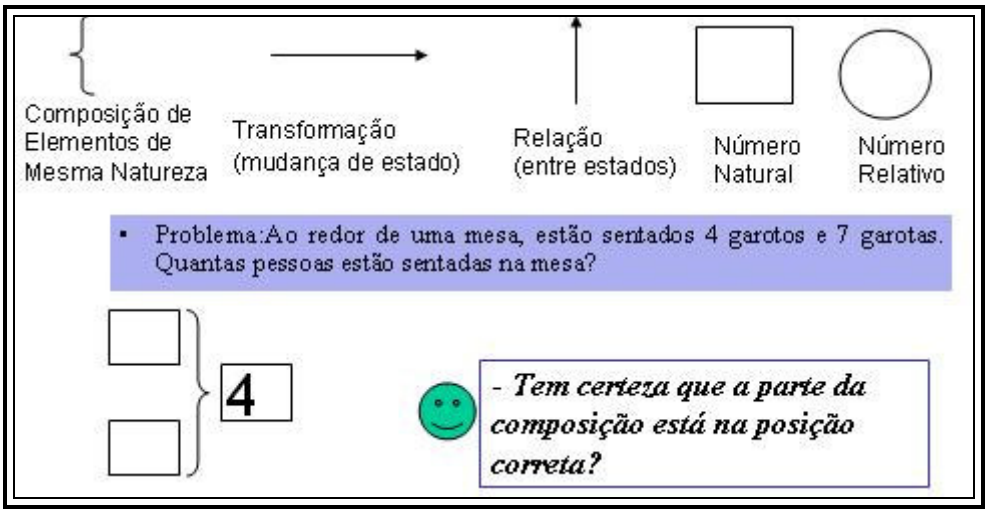


Figura 4.20. Mensagem para erro de posicionamento das partes da composição.

Eva pensa um pouco e percebe que, de fato, posicionou o valor de maneira incorreta no modelo. Em seguida, Eva corrige o problema, e pergunta: E, agora, devo continuar? [NECESSIDADE 4]. Em seguida, Eva arrastou o 'sete' e colocou-o no lugar certo, finalmente inseriu o resultado. Eva entrou com o valor doze, quando, segundo o problema, o resultado deveria ser onze. Nesse momento, a interface pinta de vermelho o quadrado correspondente ao cardinal do resultado e mostra uma mensagem dizendo: Leia, mais uma vez, o problema, ou veja a dica escondida.

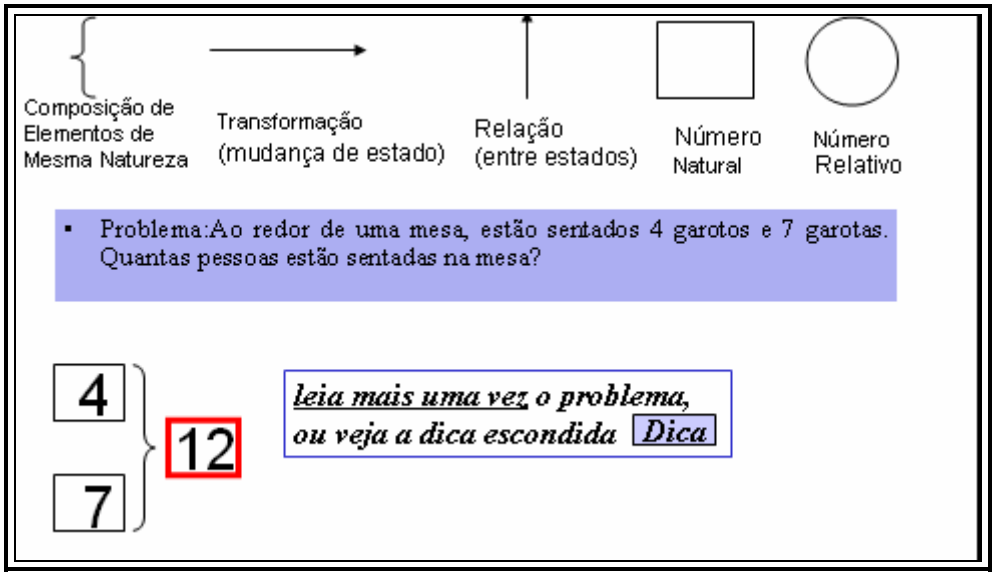


Figura 4.21. Mensagem para erro de resultado da composição.

Eva escolher ver dica, o sistema o conduz para a manipulação de um material concreto, que consiste de três diagramas, cada um contendo respectivamente: quatro quadradinhos vermelhos e o número quatro, exibido do lado, sete quadradinhos vermelhos e o número sete, exibido do lado, e um diagrama, inicialmente, vazio, contendo o número zero do lado. Além dos diagramas, aparece a seguinte mensagem: 'Arraste os quadradinhos para o diagrama maior'. Embora tenha lido a mensagem, Eva pergunta: O que devo fazer? [NECESSIDADE 5].

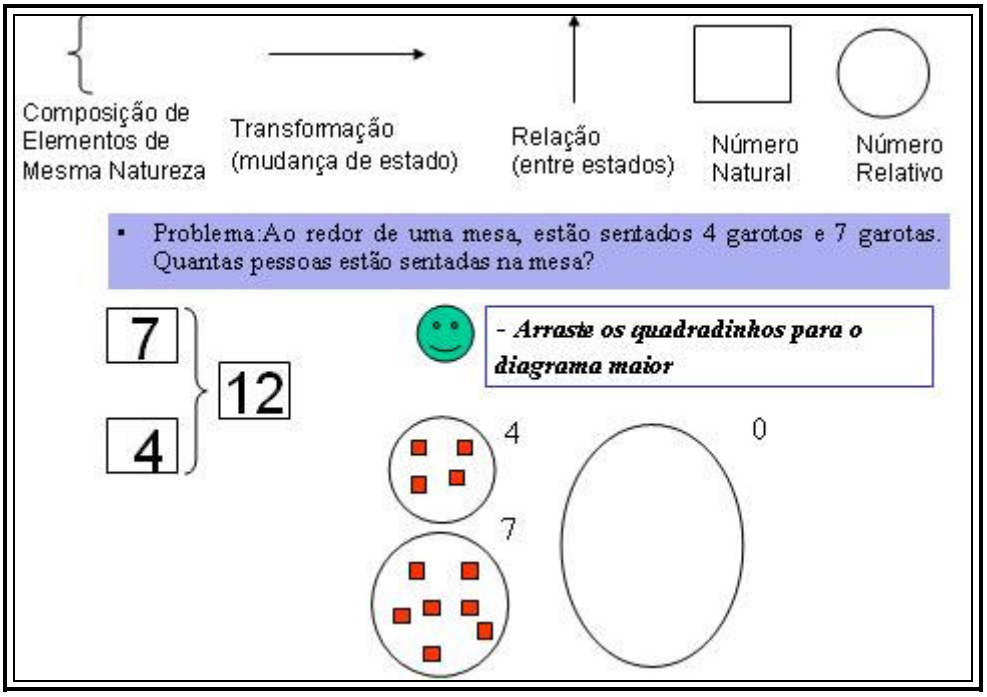


Figura 4.22. Ajuda concreta para a composição.

Eva arrasta o primeiro quadradinho para o digrama maior. O sistema conta um e modifica o cardinal correspondente às quantidades presentes no diagrama maior. Em seguida, Eva continua arrastando os quadradinhos e o sistema continua contando e modificando os cardinais dos conjuntos para manter a consistência das representações. Após o termino desse procedimento, o sistema exibe uma mensagem dizendo: 'Parabéns! No diagrama maior, tem onze quadradinhos. Agora, você pode voltar e resolver o problema'. O sistema exibe, então, um botão, contendo o rótulo 'Voltar'. Eva escolhe o botão 'Voltar' e, em seguida, o sistema retira da tela toda a ajuda e volta ao ponto em que o usuário errou. A partir daí, Eva resolve o problema abstrato baseado no problema concreto que acabou de resolver.

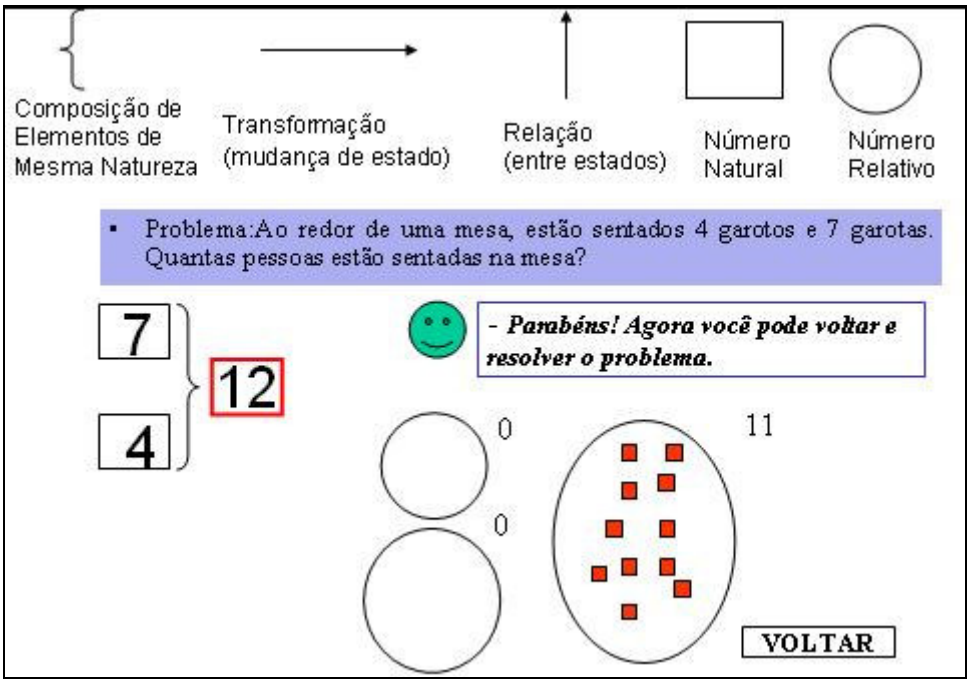


Figura 4.23. Conclusão da ajuda concreta para a composição.

A seguir a tabela com as necessidades que surgiram do cenário acima.

Quadro 4.40:Necessidades que emergiram a partir das ações.

Ações	Necessidades
O sistema exibe uma mensagem pedindo para o usuário arrastar os valores do texto	[NECESSIDADE 1] Eva lê a mensagem mas não entende, e pergunta o deve fazer
Escolha da legenda	[NECESSIDADE 2] Eva não sabe qual legenda escolher e o faz por tentativa e erro
Arraste os valores do texto para o modelo. Os valores presentes no texto são manipuláveis e devem ser arrastados	[NECESSIDADE 3] Eva lê a mensagem, mas não entende e pergunta quais valores devem ser arrastados.
Após uma mensagem do sistema o usuário corrige o problema, mas não sabe se deve ou não continuar.	[NECESSIDADE 4] Eva não sabe se deve continuar uma vez que não recebeu nenhuma mensagem indicativa de que o erro foi corrigido corretamente.
Arraste os quadradinhos para o diagrama maior	[NECESSIDADE 5] Eva lê a mensagem, mas não entende o propósito da metáfora concreta e pergunta como deve operar

Quadro 4.41: Requisitos coletados a partir deste cenário

[RF 1.1] - A interface deve exibir um menu superior, contendo a legenda de Vergnaud. Abaixo de cada legenda, um ícone de interrogação no qual é possível passar o "mouse" em cima e ler uma explicação sobre a legenda. [RF 1.2] – A interface deve exibir um botão, contendo o rótulo: "Qual o próximo passo?". [RF 1.3] – A interface deve exibir informações de sucesso após uma tarefa executada com sucesso. Nós adotamos o procedimento de pintar de azul a parte da modelagem realizada com sucesso. [RF 1.4] – As metáforas devem conter um botão com o rótulo "?", da mesma forma que, na legenda, caso seja escolhido esse botão, oferece uma explicação sobre a metáfora

Cenário futuro positivo

Novamente, continuando nossa análise dos cenários, apresentaremos um cenário futuro caricaturado, considerando que todas as ações são executadas com sucesso.

Roteiro:

Eva inicia a utilização da ferramenta. Em seguida, o sistema exibe a primeira situação problema para Eva. O sistema oferece uma tela, contendo a descrição da tarefa, e um menu superior contendo a legenda de Vergnaud e, abaixo de cada legenda, um ícone de interrogação no qual ele pode passar o "*mouse*" em cima e ler uma explicação sobre a legenda [RF 1.1].

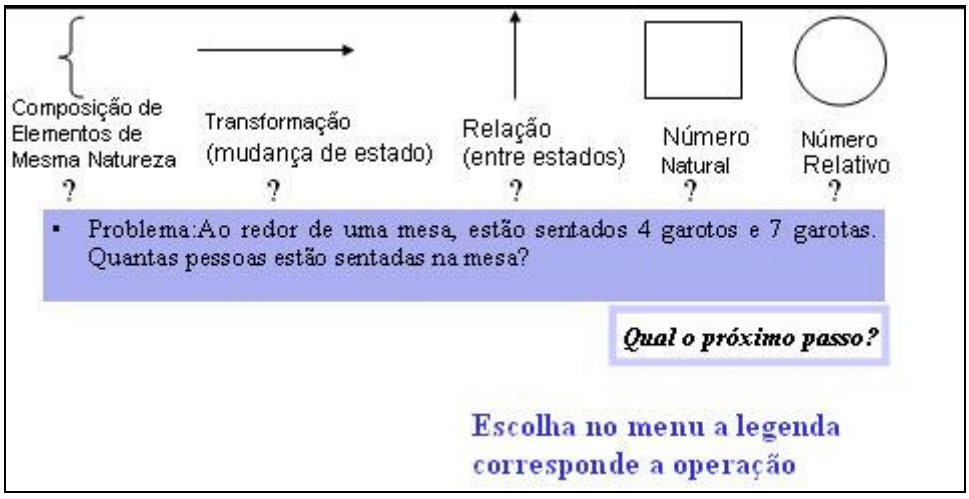


Figura 4.24. Interface com o requisito funcional 1.1 e 1.2.

Dentre os artefatos disponíveis na tela, encontra-se um botão contendo o rótulo: "Qual o próximo passo?" [RF 1.2] Eva lê a mensagem, mas, embora o tenha lido, ele escolhe o botão "Qual o próximo passo?". Eva escolhe o botão. Em seguida, ele ouve uma mensagem de voz informando-lhe as instruções. Eva entende a mensagem e escolhe a legenda incorreta. Em seguida, a interface mostra a mensagem: 'Tem certeza de que o problema é uma comparação entre duas quantidades?'

Figura 4.25. Erro de legenda com requisito funcional 1.1.

Eva percebe que errou e passa o mouse em cima dos ícones de ajuda presentes nas legendas. Em seguida, o sistema exibe um texto explicativo sobre a legenda escolhida. Dessa forma, Eva lembra-se da aula que recebeu e escolhe a legenda correta. Uma vez

escolhida essa legenda, o sistema exibe um diagrama composto por três representações de números naturais e uma chave aberta para a direita. Além desse diagrama, o sistema exibe a seguinte mensagem: Arraste os valores do texto para o modelo. Os valores presentes no texto são manipuláveis e devem ser arrastados.

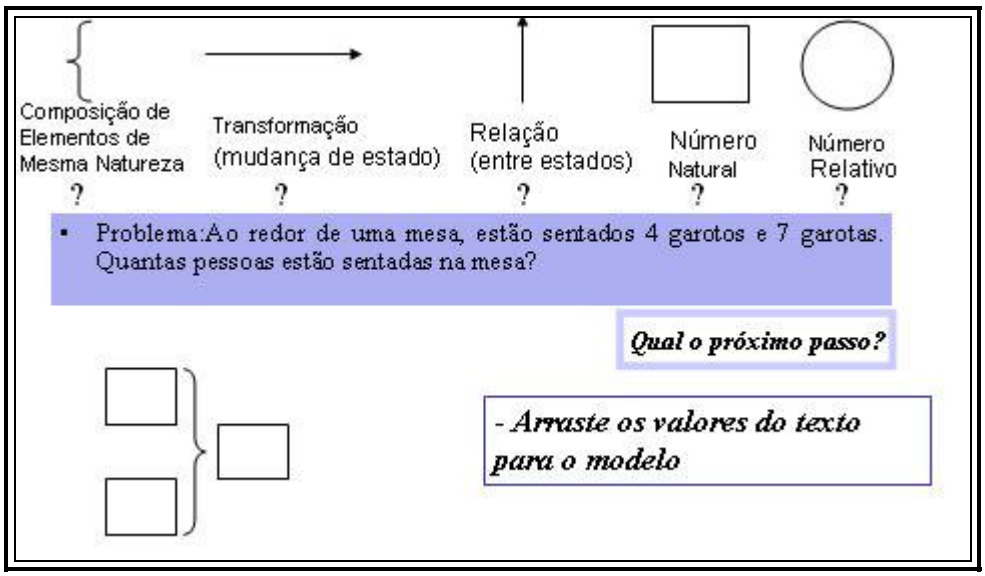


Figura 4.26. Tarefa 1 contendo os requisitos funcionais 1.1 e 1.2

Eva lê a mensagem. Arrastou o quatro, colocou-o no lugar certo, e o sistema pinta o quadrado superior de azul para indicar sucesso [RF 1.3].

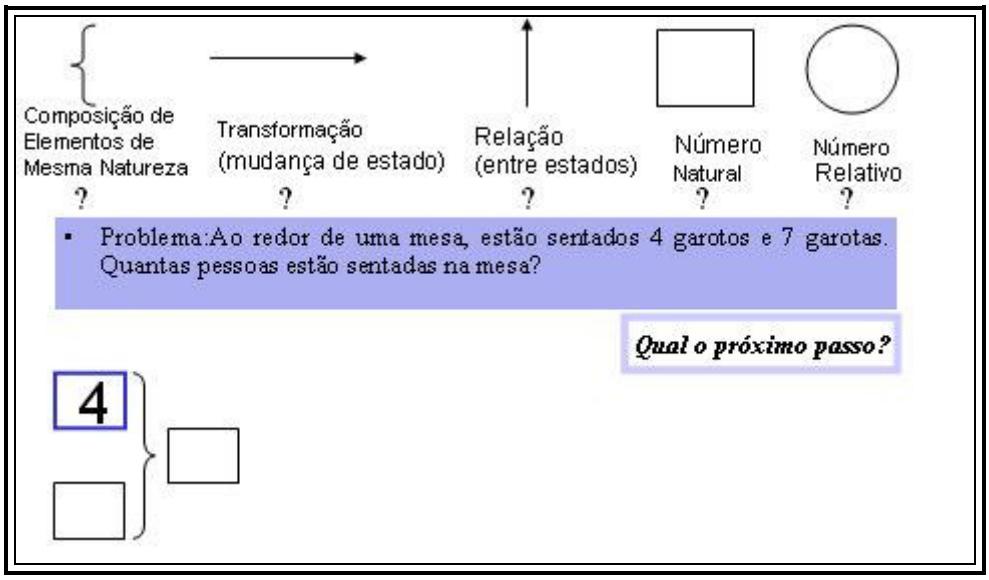


Figura 4.27 Posicionamento correto da parte

Em seguida, Eva arrastou o sete e colocou-o no lugar certo, arrastou o quatro e também o colocou no lugar certo. Finalmente, colocou o resultado. Eva entrou com o valor doze, quando, segundo o problema, o resultado deveria ser onze. Nesse momento, a interface mostra uma mensagem dizendo: 'Leia mais uma vez o problema, ou veja a dica escondida', e pinta o quadrado que representa o total das partes de vermelho para indicar que houve erro.

Figura 4.28. Feedback para o erro em encontrar o todo da composição.

Eva escolhe ver dica, o sistema o conduz para a manipulação de um material concreto, o qual consiste de três diagramas. Cada diagrama contém respectivamente: quatro quadradinhos vermelhos e o número quatro, exibido do lado; sete quadradinhos vermelhos e o número sete, exibido do lado; e o terceiro, inicialmente vazio, contém o número zero ao lado. Além dos diagramas descritos, a metáfora possui um botão contendo o rótulo"?" para pedir informações [RF 1.4].

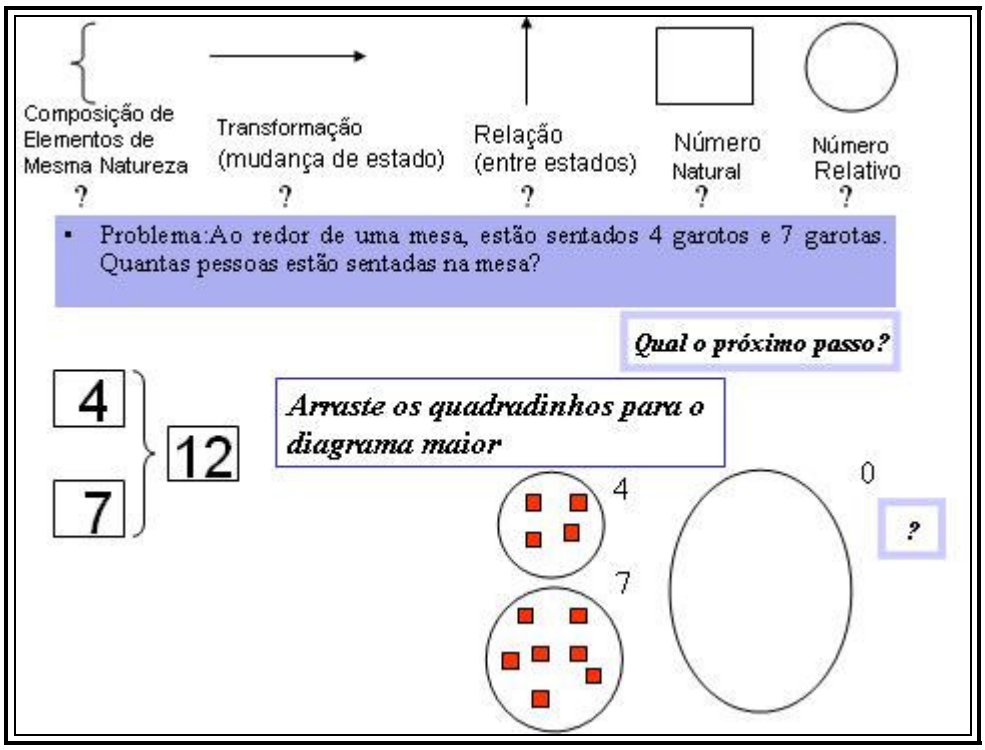


Figura 4.29. Ajuda concreta para a composição com RF 1.2,1. 1 2 e 1.4

Juntamente com a metáfora, o sistema exibe a seguinte mensagem: Arraste os quadradinhos para o diagrama maior. Embora tenha lido a mensagem, Eva escolhe o botão "?" Ao escolhê-lo, Eva ouve uma mensagem explicativa da metáfora e como ela funciona. O usuário arrasta o primeiro quadradinho para o digrama maior, o sistema conta um e modifica o cardinal correspondente ao diagrama maior. Em seguida, Eva continua arrastando os quadradinhos, e o sistema continua contando e modificando os cardinais dos conjuntos para manter a consistência das representações. Após o termino desse procedimento, o sistema exibe uma mensagem dizendo: 'Parabéns! No diagrama maior, tem onze quadradinhos. Agora você pode voltar e resolver o problema. O sistema exibe um botão contendo o rótulo "voltar"'. Eva escolhe o botão voltar e em seguida o sistema retira da tela toda a ajuda e volta ao ponto em que o usuário errou. A partir de então, Eva resolve o problema abstrato baseado no problema concreto que acabou de resolver.

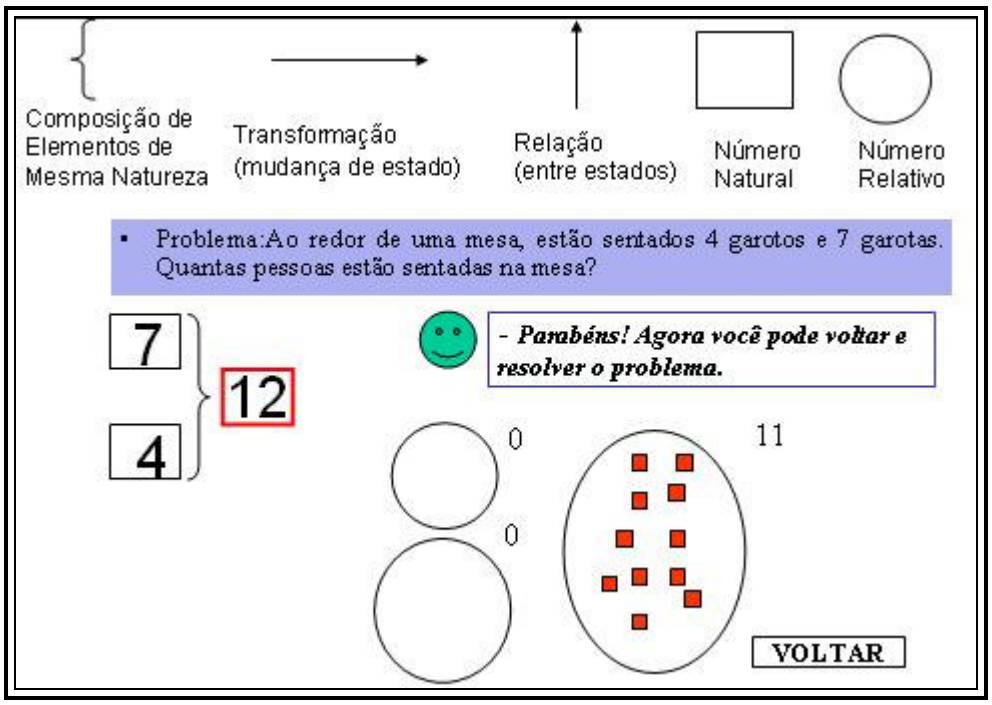


Figura 4.30. Conclusão da ajuda concreta para composição RF 1.1, 1.2, 1.4.

Cenário futuro negativo

Continuando nossa análise dos cenários, apresentaremos agora um cenário caricaturado, negativo, considerando que tudo pode dar errado. Nesse momento, outras necessidades diferentes das anteriormente encontradas podem ser percebidas.

Roteiro:

Eva inicia a utilização da ferramenta. Em seguida, o sistema exibe a primeira situação-problema para Eva. O sistema oferece uma tela, contendo a descrição da tarefa, e um menu superior, contendo a legenda de Vergnaud e, abaixo de cada legenda, um ícone de interrogação no qual ele pode passar o "mouse" e ler uma explicação sobre a legenda [RF 1.1]. Dentre os artefatos disponíveis na tela, encontra-se um botão contendo o rótulo: "Qual o próximo passo?" [RF 1.2]. Além do problema o sistema exibe uma mensagem dizendo: "Escolha no menu, a legenda correspondente a operação". Eva lê a mensagem, mas embora a tenha lido, ela escolhe o botão "Qual o próximo passo?". O usuário escolhe o botão. Em seguida, ele ouve uma mensagem de voz informando as instruções. Eva não entende a mensagem e diz que não está clara, ou que não foi suficientemente explicativa [RNF 1.1].

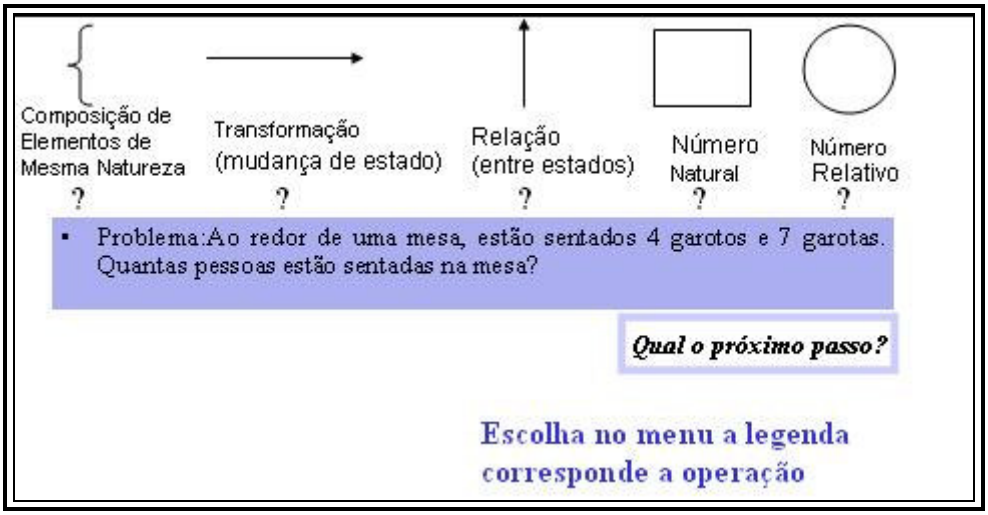
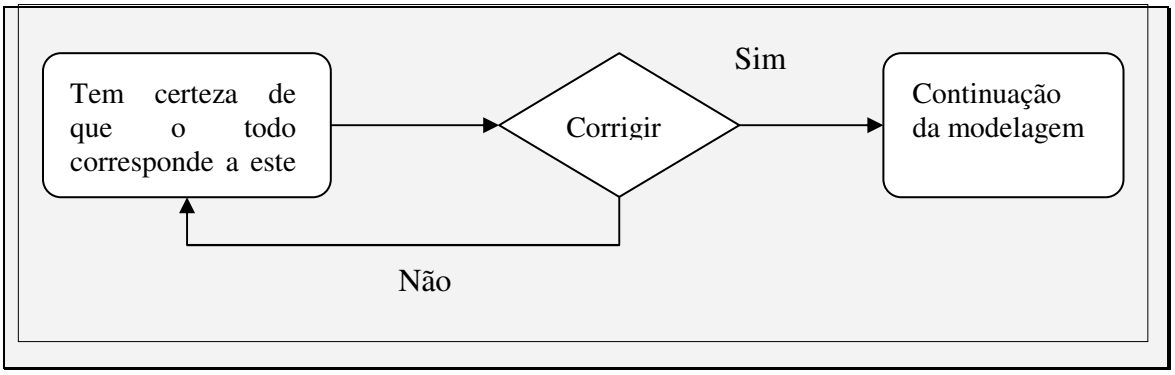


Figura 4.31. Escolha da legenda para a composição num cenário negativo.

Após algumas tentativas infrutíferas, lendo as explicações disponíveis em cada legenda, Eva, finalmente, escolhe uma legenda, porém escolhe uma legenda incorreta. Em seguida, a interface mostra a mensagem: '*Tem certeza de que se trata de um problema de comparação entre duas quantidades?*' Apesar da mensagem, Eva continua sem entender e sem saber qual a legenda correta. Após algum tempo de tentativas e erros, Eva escolhe a legenda correta, o sistema exibe a seguinte mensagem: '*Arraste os valores do texto para o modelo*'. Os valores presentes no texto são manipuláveis e devem ser arrastados. Eva lê a mensagem, mas não entende e escolhe o botão "*Qual o próximo passo?*"[RF 1.2]. Eva arrastou o quatro certo, e o sistema exibe uma mensagem de sucesso [RF 1.3]. Em seguida, Eva arrastou o sete e colocou no lugar do todo, em seguida o sistema exibe a mensagem: "*Tem certeza de que o todo corresponde a este valor?*". Após algum tempo de tentativas, erros e recebimento de mensagens e dicas [NECESSIDADE 5].



O sistema exibe uma mensagem perguntando se Eva quer ver a resposta do problema, ela escolhe sim. Em seguida, o sistema exibe um modelo construído a partir do problema especificado e a resposta do cálculo numérico correspondente. [NECESSIDADE 6].

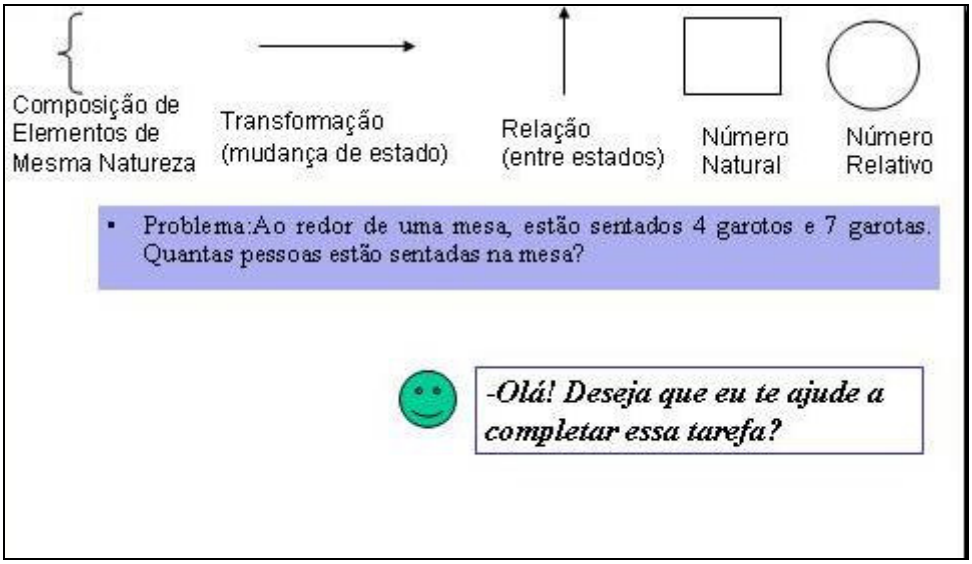


Figura 4.32. Feedback para automatização de passos da modelagem.

Quadro 4.42: Necessidades que surgiram do cenário negativo

Ações	Necessidades
O usuário tenta fazer o posicionamento dos elementos do modelo por um longo tempo.	[NECESSIDADE 5] O sistema exibe uma mensagem perguntando se deseja que alguns passos da tarefa sejam automatizados.
O usuário leva um bom tempo tentando montar o modelo	[NECESSIDADE 6] O sistema pergunta se ele deseja ver o modelo completo. Dessa forma, ele poderá ver a forma correta de modelar o problema.

[RF 1.5] – A interface deve perguntar ao usuário se ele deseja que alguns passos da tarefa sejam automatizados.

[RF 1.6] – A interface deve perguntar ao usuário se ele deseja ver o modelo completo.

Tarefa 2

Maria comprou uma caixa de bombons por R$ 4, 00 e ainda ficou com R$ 4,00. Quanto ela possuía antes de fazer a compra?

Cenário atual:

Assim como o cenário anterior, esse também corresponde a uma história fictícia criada a partir do teste de usabilidade realizado.

Atores:

Indivíduo resolvendo a tarefa proposta.

Contexto:

Eva, uma professora da rede pública, é convidada a conhecer uma nova ferramenta para o ensino de estruturas aditivas. Além do convite, ela recebeu a informação de que o teste iria ser feito com um protótipo em papel. Ela achou engraçado testar um sistema em papel. Por outro lado, achou interessante, pois ficou mais à vontade para fazer críticas e dar sugestões.

Ambiente:

Eva está sentada em uma mesa. Em cima da mesma está o protótipo em papel. Ao lado do protótipo em papel, estão dispostas todas as ajudas que Eva receberá, caso necessite. Ao lado de Eva, está um dos experimentadores. Ele é responsável por simular as respostas do computador. Do outro lado, está o outro experimentador, responsável por fazer as filmagens e gravações. Eva recebe informações relativas ao protótipo e instrução para iniciar o uso. Em seguida, inicia seguinte roteiro.

Roteiro:

Eva inicia a utilização do protótipo. Em seguida, ele escolhe resolver uma tarefa de transformação.

O sistema oferece uma tela contendo a descrição da tarefa e um menu superior contendo os artefatos que podem ser utilizados em situações problemas sobre estruturas aditivas. A seguir, o sistema exibe a seguinte mensagem: "Escolha no menu a legenda correspondente à operação".

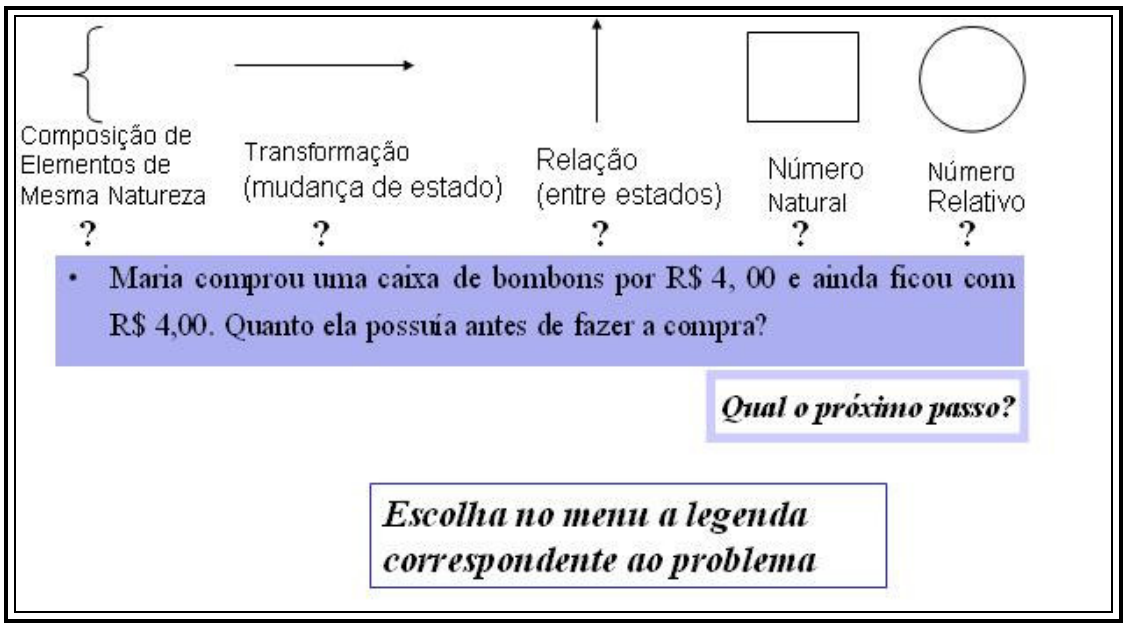


Figura 4.33. Interface para a tarefa 2.

Eva escolhe transformação; ele acerta na legenda. O sistema exibe na interface um modelo contendo o local para o estado inicial, estado final e número relativo. Em seguida, mostra a seguinte mensagem: "*Arraste os valores do texto para o modelo*".

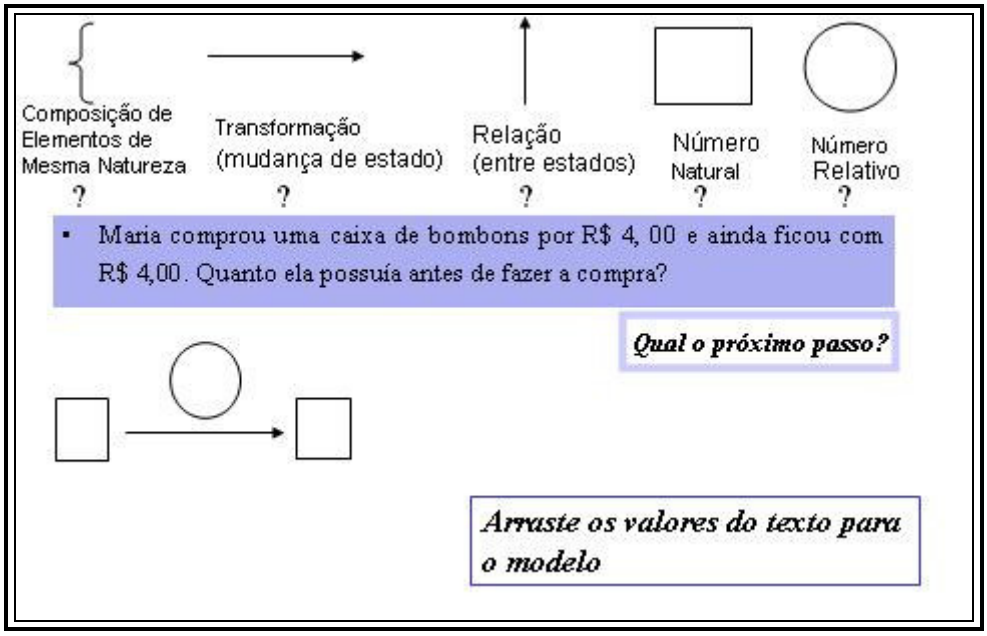


Figura 4.34. Inicio da modelagem da transformação

Eva arrasta o valor quatro do texto correspondente ao estado final e coloca-o no estado inicial. O sistema pinta o quadrado de vermelho e exibe a seguinte mensagem: "*Tem certeza de que o valor quatro corresponde ao estado inicial*?": Após receber a mensagem Eva fala: *Eu não sei onde colocar este número, qual é o item desconhecido? Acho que nesta figura deveria vir o local da resposta, ou então, dizendo as posições onde cada número deve ser colocado* [NECESSIDADE 7].

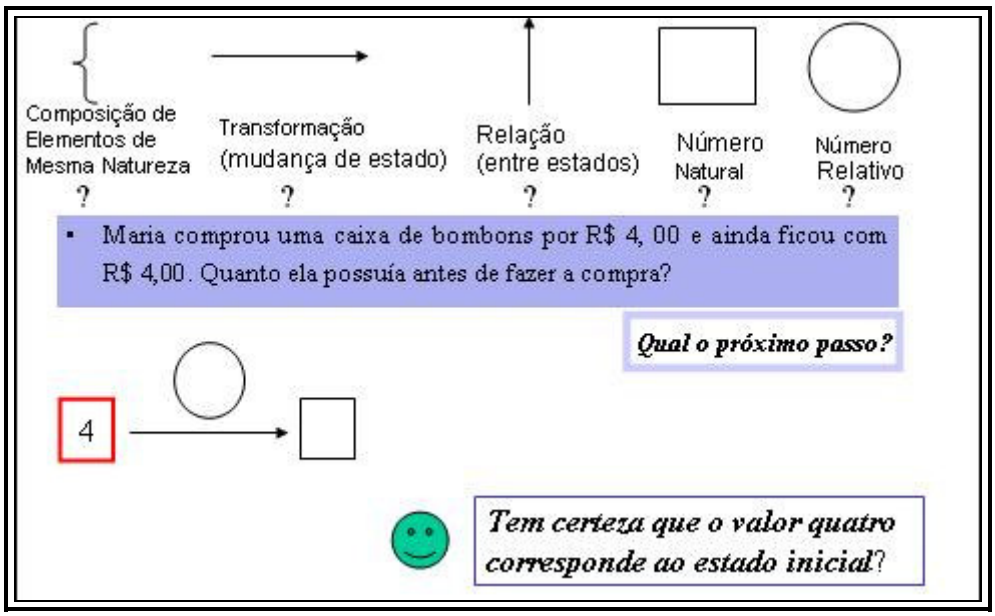


Figura 4.35. Erro na associação do estado inicial.

Eva erra na colocação do estado final e inicial; o sistema continua exibindo a mesma mensagem. Eva arrasta o outro valor quatro, correspondente ao valor relativo, posiciona-o corretamente, mas esquece de mencionar o sinal, pois se trata de um número relativo.

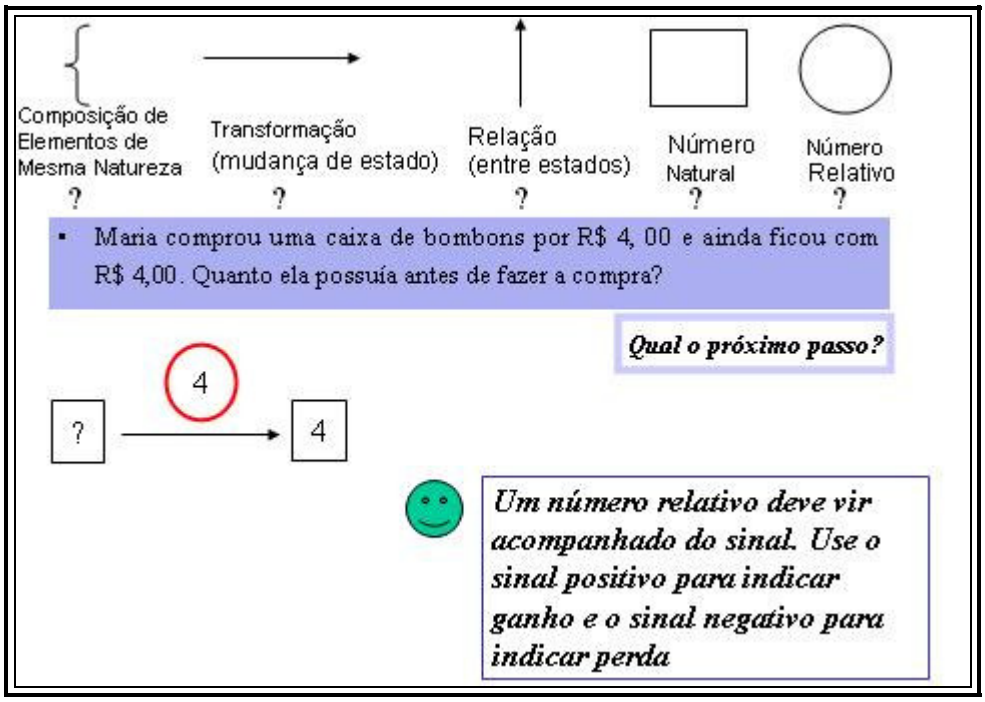
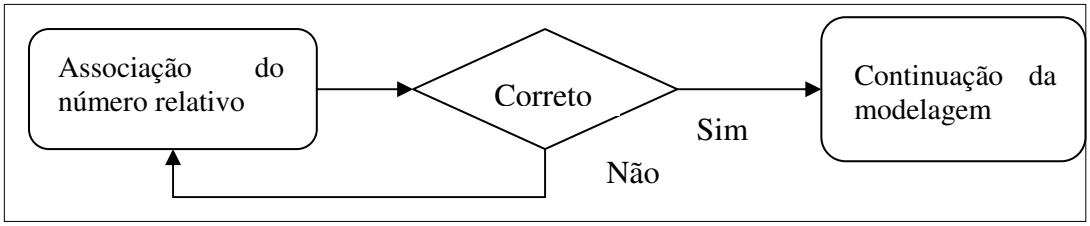


Figura 4.36. Ajuda para o erro na associação do número relativo.

Nesse momento o sistema mostra uma mensagem que diz: "*Um número relativo deve vir acompanhado do sinal. Use o sinal positivo para indicar ganho e o sinal negativo para indicar perda*". Após ler a mensagem Eva fala: *Como eu coloco este sinal? Deveria vir duas opções do lado, para eu escolher, positivo ou negativo* [NECESSIDADE 8]. O sistema continua mostrando a mesma mensagem, o usuário fica um pouco impaciente.



Finalmente, depois de algumas tentativas frustradas, Eva fala o sinal adequado e o sistema exibe o sinal do lado do número relativo. O sistema exibe a seguinte mensagem:

"*Entre com o resultado da operação*", Eva lê a mensagem e fala: '*E agora. Devo somar ou subtrair?*' [NECESSIDADE 9].

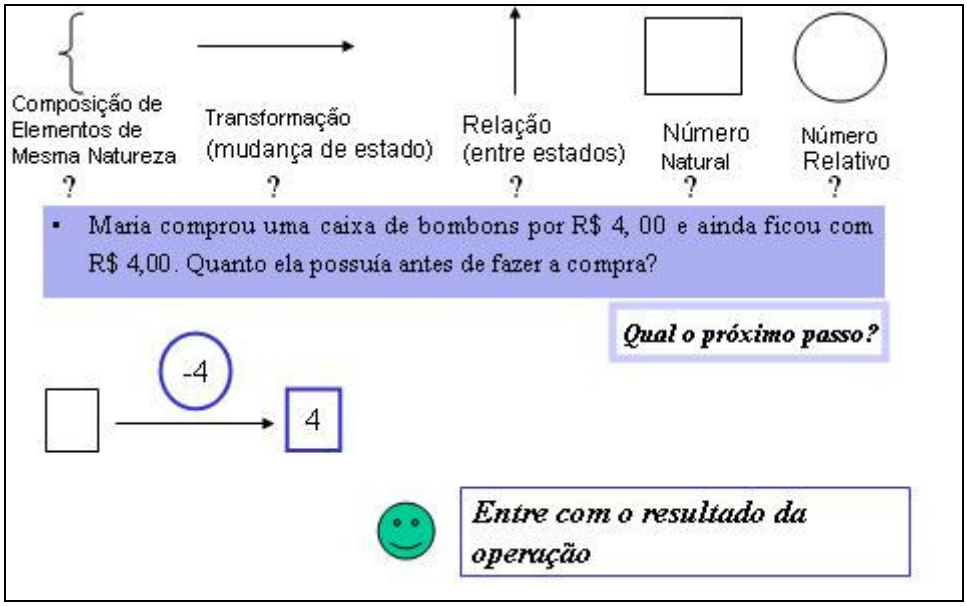


Figura 4.37. Inserção do resultado da operação de Transformação

Após fazer esta pergunta, Eva insere o resultado e erra, e o sistema exibe uma mensagem: "*Leia mais uma vez o problema ou veja a dica escondida. Eva escolhe ver a dica*".

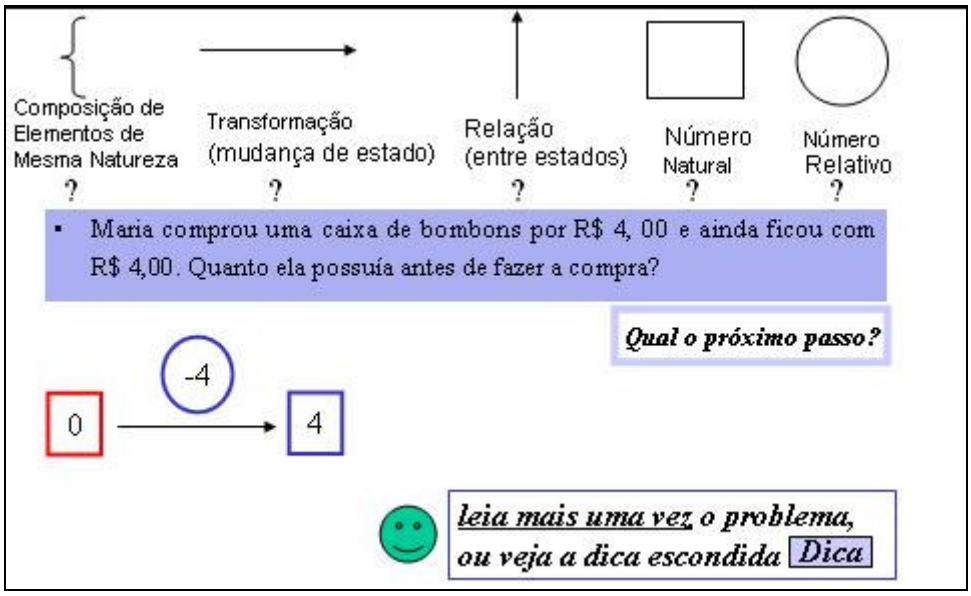


Figura 4.38. Erro na inserção do resultado na Transformação.

O sistema o conduz para uma ajuda com material concreto. A ajuda exibe uma mensagem dizendo, "*Oi, esta é a fabrica de quadradinhos, no galpão da fábrica existem quatro quadradinhos. Para criar um quadradinho novo escolha o botão criar. Crie a quantidade de quadradinhos igual ao preço que ele gastou na caixa de bombons*". A metáfora exibida contém o botão cujo rótulo é uma interrogação. Caso o usuário escolha esse botão, ele ouvirá uma mensagem de voz explicando a metáfora. [RF. 1.4].

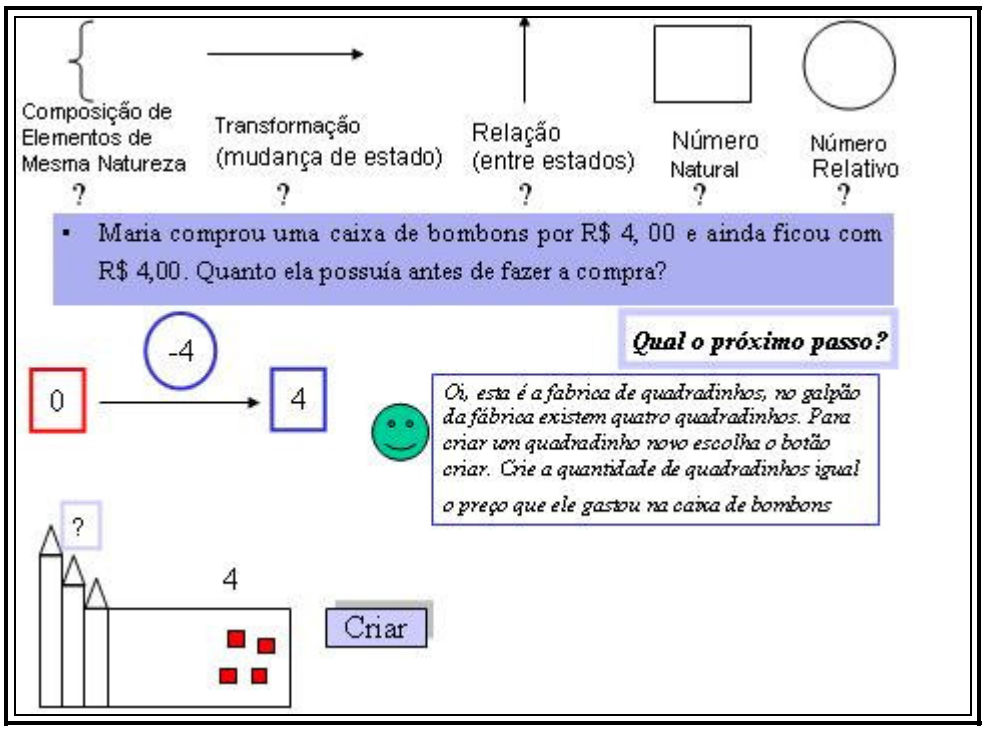


Figura 4.39. Ajuda para a tarefa de transformação negativa

Eva não entende muito bem a metáfora, mas ele escolhe o botão cujo rótulo é uma interrogação e, então, esclarece sua dúvida. Eva clica no botão criar uma vez e pára por alguns segundos. [NECESSIDADE 10], finalmente ele fala: "*Devo continuar? Acho que seria melhor se colocasse o número de quadradinhos que serão criados inicialmente; no caso, seriam quatro*". Eva cria quatro quadradinhos e o sistema exibe a seguinte mensagem: "*Quantos quadradinhos há agora no galpão da fábrica? Entre com a resposta*".

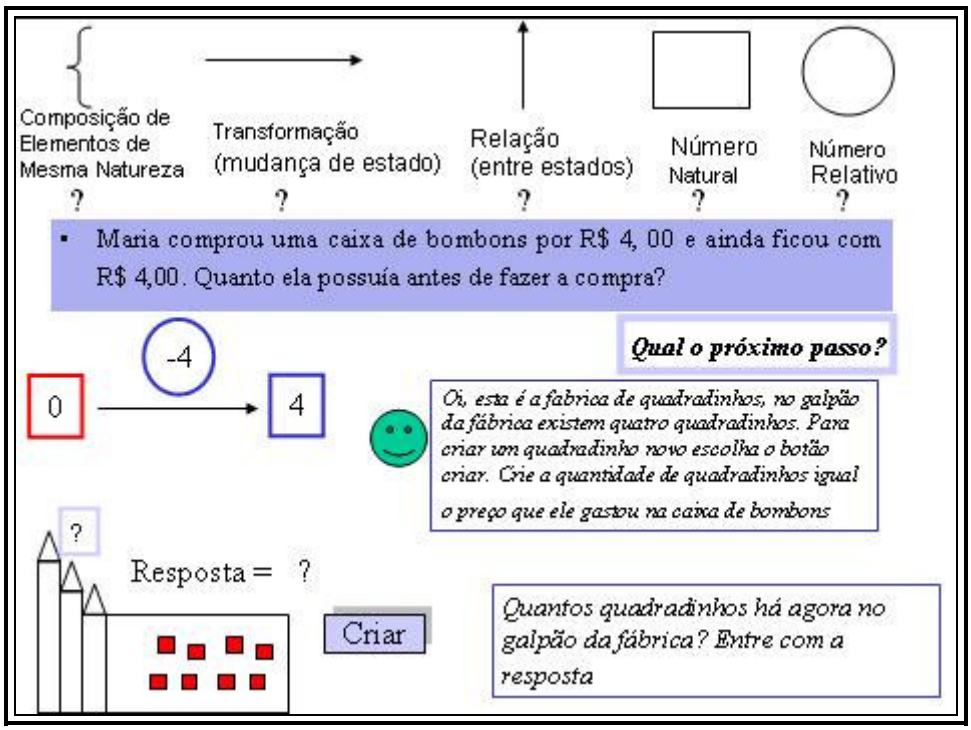


Figura 4.40. Conclusão da criação de quadradinhos.

Eva conta a quantidade de quadradinhos e insere a resposta: oito quadradinhos. O sistema exibe a mensagem: "*Parabéns, agora, você pode voltar e resolver o problema*". Em seguida, Eva clica no botão voltar, toda a ajuda desaparece, ficando apenas o modelo inicial com a seguinte mensagem: "*Entre com o resultado da operação*". Eva coloca o número oito na resposta e o sistema exibe a mensagem: "*Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa?"* Abaixo, a tabela com as necessidades dos usuários e uma breve discussão.

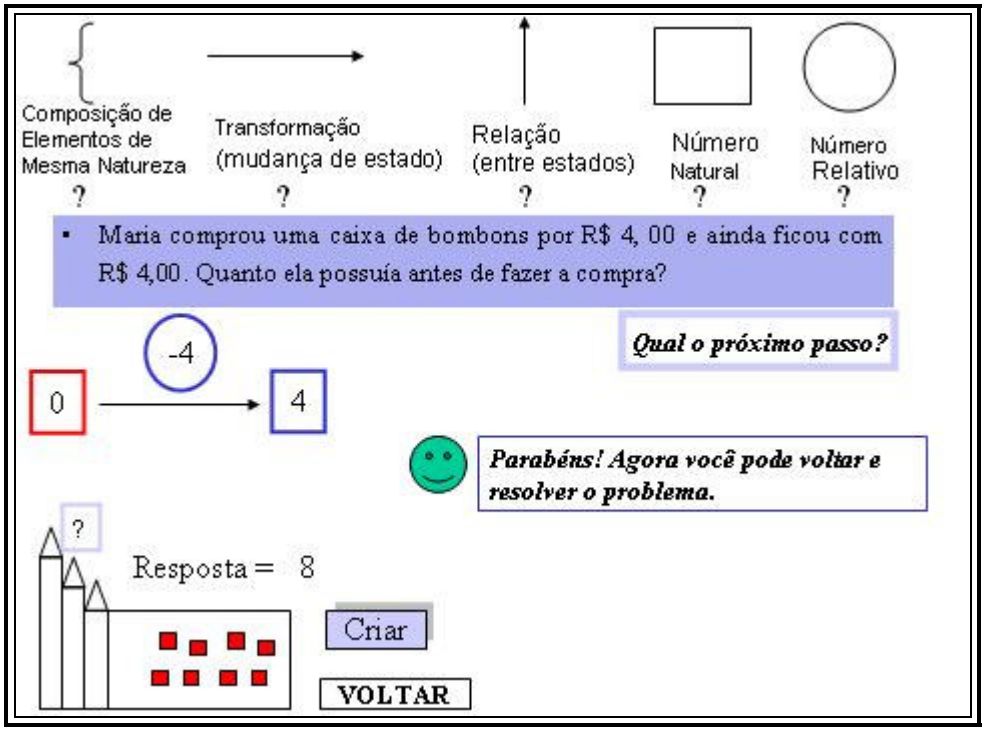


Figura 4.41. Conclusão da ajuda para a operação de transformação negativa.

Na Figura 4.41, o usuário conclui a operação da metáfora com sucesso. Nesse momento, espera-se que ele seja capaz de resolver a tarefa anteriormente proposta.

Quadro 4.43:Necessidades que emergiram do cenário futuro negativo.

Ações	Necessidades
O sistema exibe uma mensagem pedindo para o usuário arrastar os valores do texto para o modelo	[NECESSIDADE 7] O usuário não sabe posicionar os elementos no modelo.
Escolha do número relativo e determinação do sinal.	[NECESSIDADE 8] O usuário não sabe como informar o sinal do número relativo. Ele sugere que seja colocado uma opção de escolha, para ser positivo ou negativo.
Inserir o resultado numérico correspondente	[NECESSIDADE 9] Apesar de o modelo construído o usuário não sabe qual a operação numérica correspondente à operação relacional que acabara de modelar.
escolher o botão criar na fábrica de quadradinhos.	[NECESSIDADE 10] O usuário prefere inserir a quantidade de quadradinhos, que será criado, a escolher o botão criar várias vezes.

[RF 1.7] – A interface deve exibir um modelo contendo os locais, já especificado através do uso de figuras ou rótulos, para o estado inicial, estado final e número relativo.

[RF 1.8] _ A interface deve exibir um menu de opões próximo ao local do número relativo, contendo o sinal positivo e negativo.

[RF 1.9] – Ao final do processo de modelagem do problema a interface deve informar ao usuário qual o tipo de operação, que será executada, soma ou subtração.

[RF 1.10] – A metáfora de criação de quadradinhos deve conter o número de quadradinhos, que serão criados.

Cenário futuro

O cenário anteriormente apresentado foi construído a partir dos dados visuais coletados durante o teste de usabilidade. Continuando a construção dos cenários, apresentaremos agora um cenário futuro em que todos os requisitos acima listados já estejam implementados na interface.

Roteiro:

Eva inicia a utilização do protótipo. Em seguida, ela escolhe resolver uma tarefa de transformação. O sistema oferece para Eva uma tela, contendo a descrição da tarefa, e um menu superior contendo os artefatos, que podem ser utilizados em situações problemas sobre estruturas aditivas. A seguir, o sistema exibe a seguinte mensagem: "*Escolha no menu a legenda correspondente à operação*". Eva escolhe transformação, ele acerta na legenda. O sistema exibe na interface um modelo, contendo os locais, já especificados através do uso de figuras ou rótulos, para o estado inicial, estado final e número relativo, e um menu de opões junto ao local do número relativo, contendo o sinal positivo e negativo. [RF 1.7] [RF 1.8].

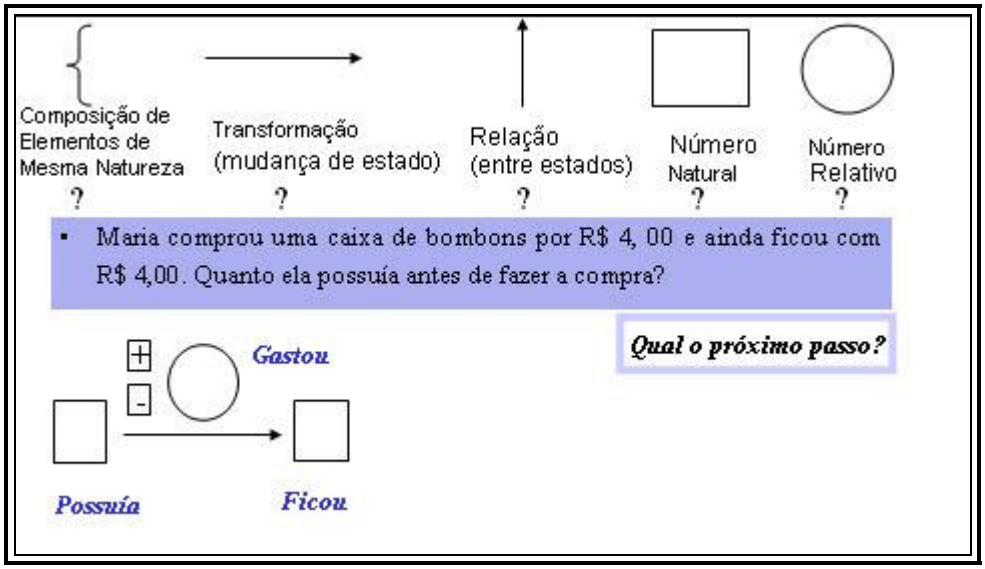


Figura 4.42. Interface contendo os RF 1.6 e 1.7

Com base nas informações constantes na interface, o usuário conclui a modelagem com sucesso e após a conclusão do processo de modelagem, o sistema exibe a seguinte mensagem: "*Entre com o resultado da operação*". Ao lado do modelo completo, o sistema exibe o tipo de operação, que deve ser executado, após a finalização do processo de modelagem [RF 1.9].

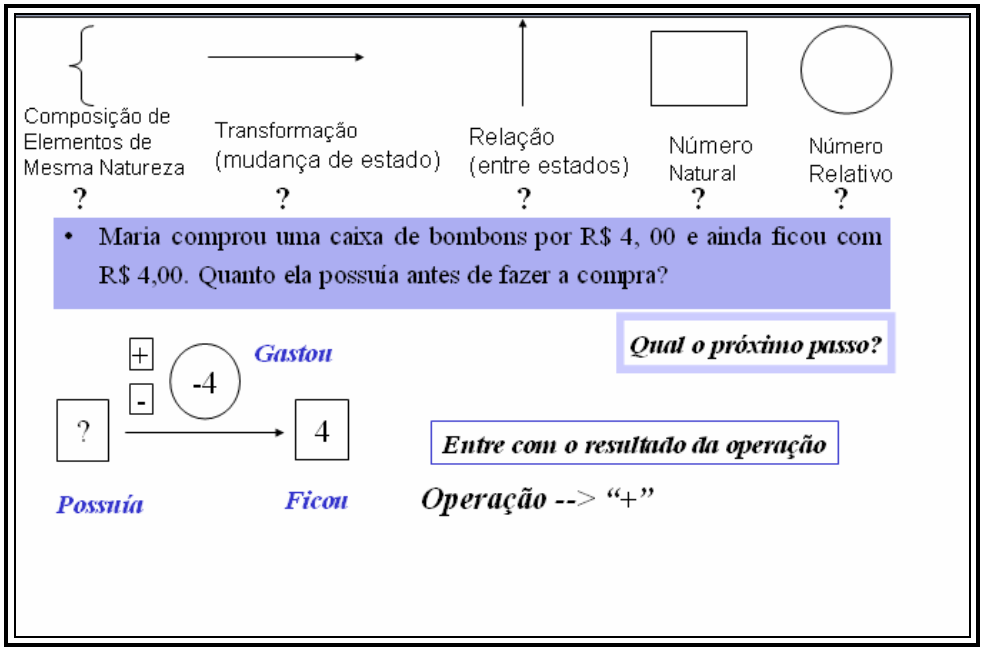


Figura 4.43. Tarefa 2 com RF 1.6, 1.7 e 1.8

Eva erra no valor do resultado, e o sistema exibe uma mensagem: "*Leia mais uma vez o problema ou veja a dica escondida. Eva escolhe ver a dica*". O sistema o conduz para uma ajuda com material concreto; toda metáfora possui um botão com o rótulo "?" no qual Eva pode apertar e ouvir uma explicação sobre o funcionamento da metáfora [RF 1.4]. A ajuda exibe uma mensagem dizendo, "*Oi, esta é a fabrica de quadradinhos; no galpão da fábrica, existem quatro quadradinhos. Para criar quadradinhos novos insira a quantidade que deseja criar e escolha o botão criar. Crie a quantidade de quadradinhos igual ao preço que ele gastou na caixa de bombons*". [RF 1.10].

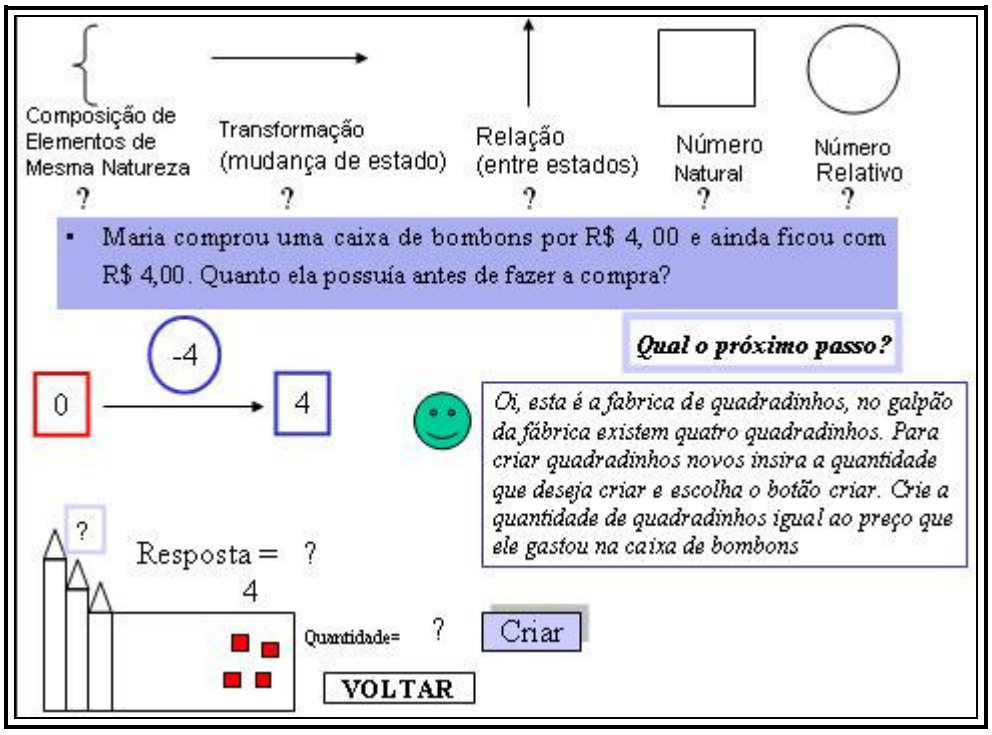


Figura 4.44. Tarefa 2 com todos os requisitos até 1.10.

Eva entra com a quantidade de quadradinhos que deseja criar. O usuário cria quatro quadradinhos e o sistema exibe a seguinte mensagem: "*Conte quantos quadradinhos há no galpão da fábrica*". Entre com a resposta. Eva conta os quadradinhos e insere a resposta: oito quadradinhos. O sistema exibe a mensagem: "*Parabéns, agora, você pode voltar e resolver o problema*". Em seguida, Eva clica no botão voltar, toda a ajuda desaparece, ficando apenas o modelo inicial com a seguinte mensagem: "*Entre com o resultado da operação*". Eva coloca o número oito na resposta e o sistema exibe a

mensagem: Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa?

Cenário futuro positivo

Apresentamos, anteriormente, dois cenários: um cenário construído a partir do teste e um cenário futuro, já com os requisitos implementados. Agora, construiremos um cenário futuro caricaturado positivo, no qual todas as ações são executadas com sucesso.

Roteiro:

Eva inicia a utilização do protótipo. Em seguida, ela escolhe resolver uma tarefa de transformação. O sistema oferece para Eva uma tela contendo a descrição da tarefa e um menu superior, contendo os artefatos que podem ser utilizados em situações- problema sobre estruturas aditivas. A seguir, o sistema exibe a seguinte mensagem: "*Escolha no menu a legenda correspondente à operação*". Eva escolhe transformação, acertando na escolha. O sistema exibe, na interface, um modelo, contendo as posições do estado final, do estado inicial e do número relativo, já especificadas, através do uso de figuras ou rótulos. Além dessa automatização, o sistema ainda exibe um menu de opões junto ao local do número relativo, contendo o sinal positivo e negativo.[RF 1.4] . Eva conclui o processo de modelagem com sucesso, e após a conclusão do modelo, o sistema exibe a seguinte mensagem: "*Entre com o resultado da operação*". Ao lado do modelo completo, o sistema exibe o tipo de operação, soma ou subtração, que deve ser executado após a finalização do processo de modelagem [RF 1.5]. Eva entra com o resultado. Eva coloca o número oito na resposta e o sistema exibe a mensagem: "*Parabéns. Podemos passar para a próxima tarefa?*".

Cenário do futuro negativo

Continuando nossa análise dos cenários, apresentaremos uma cenário futuro caricaturado negativo, no qual as tarefas não são executadas com sucesso. Nesse cenário pessimista, podem ser percebidas outras necessidades, que diferem das anteriormente encontradas.

Roteiro:

O sistema oferece para Eva uma tela, contendo a descrição da tarefa, e um menu superior, contendo os artefatos que podem ser utilizados em situações-problema

sobre estruturas aditivas. A seguir, o sistema exibe a seguinte mensagem: "*Escolha, no menu, a legenda correspondente a operação*". Eva não entende a mensagem e clica no botão cujo rótulo é "*qual o próximo passo*". Feito isso, o sistema emite uma mensagem de voz explicando o que deve ser feito. Após ouvir por algum tempo, Eva fica impaciente, pois não entendeu a mensagem e escolhe uma legenda qualquer para o problema. Eva erra, pois escolhe composição. Em seguida, o sistema exige uma mensagem dizendo "*Tem certeza de que se trata de uma junção entre duas quantidades*?". Em seguida, Eva tenta escolher outra legenda, lê as explicações, que constam em baixo de cada legenda, mas não entende as informações ali presentes [NECESSIDADE 11] Após algum tempo de tentativas e erros, o sistema exibe para o usuário dizendo: "*Gostaria de ver qual a legenda correta?*" [RF 1.5]. Mesmo com alguns passos sendo automatizados, Eva continua sem entender o processo de modelagem. Depois de algum tempo de tentativas infrutíferas o sistema exibe uma mensagem perguntando se ela quer que o modelo seja construído automaticamente. Em seguida, Eva escolhe sim e um modelo é mostrado na tela já com a resposta numérica [RF 1.6].

Quadro 4.44: Necessidades que surgiram a partir do cenário futuro negativo.

Ações	Necessidades
O sistema exibe uma mensagem explicando as legendas.	[NECESSIDADE 11] O usuário não entende a mensagem e pede para ver novamente.

A seguir os requisitos funcionais obtidos a partir das necessidades acima:

[RNF 1.1] – As mensagens devem ser claras e passar a mensagem completa

Análise da tarefa com aprendizagem conseqüente ao uso

Como foi descrito na Figura 4.2, um passo importante da metodologia adotada é a obtenção de resultados qualitativos sobre a aprendizagem de conceitos específicos. Em outras palavras, deseja-se verificar, para cada tarefa realizada, se houve a mobilização dos invariantes verdadeiros. Segundo Vergnaud (1986), a inferência sobre a mobilização dos invariantes permite avaliar e analisar, de maneira rigorosa, os conhecimentos do estudante, o que foi discutido na página 45. Também, deseja-se perceber se há relação entre o uso da interface e a aprendizagem de conceitos específicos, ou seja, será que a interface é capaz de estimular o usuário a mobilizar

invariantes verdadeiros em cada passo do processo de modelagem do problema?

Durante a identificação do contexto do uso, discutido na página 53, procedemos a uma análise da tarefa (Hackos e Redish, 2002), realizada com o propósito de entender todas as tarefas executadas durante o processo de modelagem do problema para as categorias presentes no. Essa análise foi feita com a ferramenta Euterpe, que utiliza a teoria GTA – Groupware tasky analysis (van der Veer, van Welie. ,1999). A ontologia do GTA pode ser vista em Figura 4.4. Todavia, sozinha, essa teoria não é suficiente para suportar o acompanhamento da aprendizagem relacionado-a com o uso da interface. Para tanto, utilizamos a análise instrumental, cujas fundamentações foram discutidas na página 46 e que é uma teoria de base piagetiana utilizada para fazer análise da tarefa, contemplando o acompanhamento da aprendizagem.

Análise instrumental

Para Gomes (2005) a Análise Instrumental é um modelo teórico utilizado para a realização de testes de usabilidade de interfaces de learnware visando avaliar o potencial de uma interface à aprendizagem de conceitos específicos, matemáticos e científicos, durante sua criação. Abaixo, segue a Figura 4.45 dos elementos constitutivos do referencial teórico e as relações entre eles.

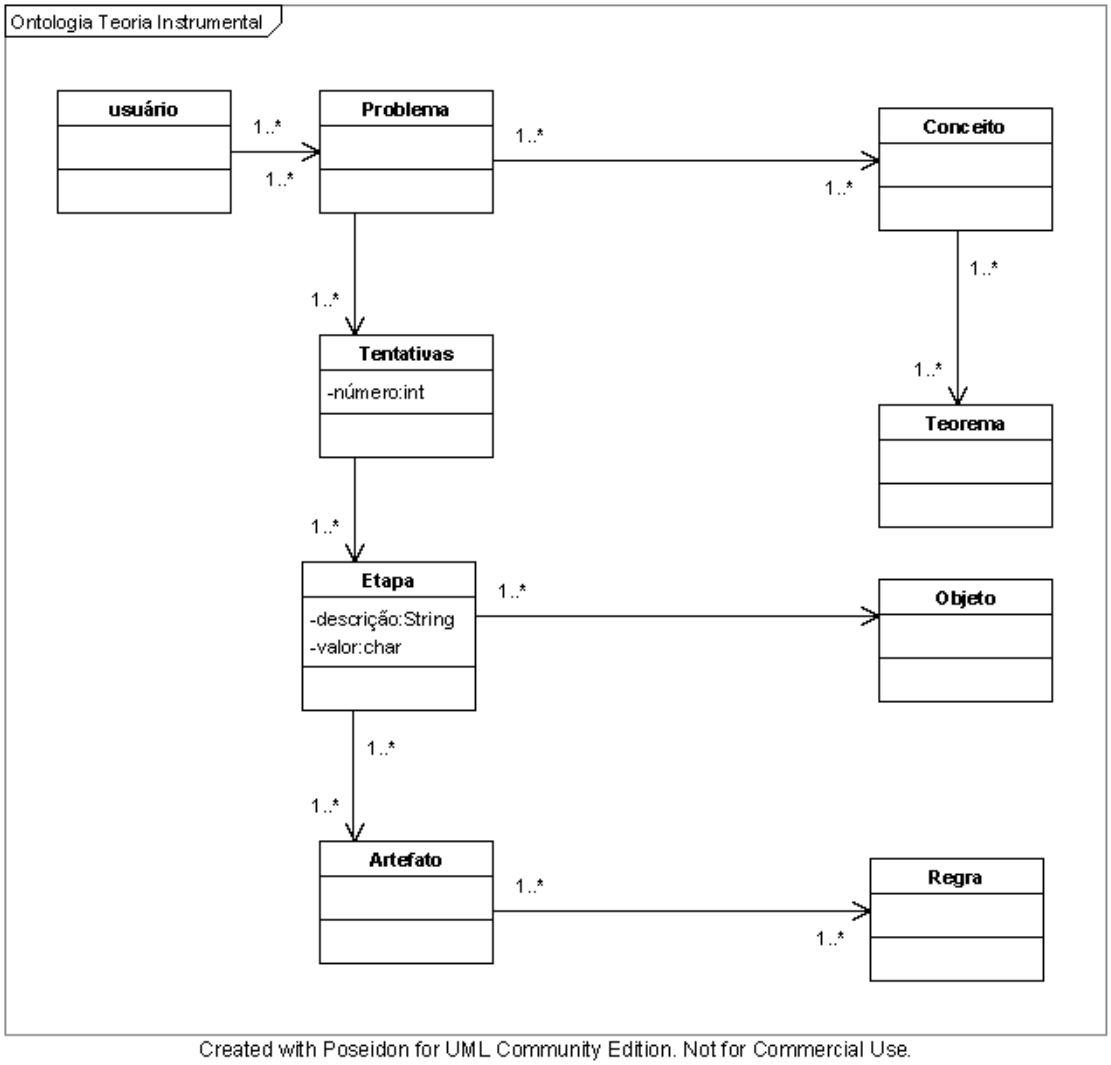


Figura 4.45. Ontologia da Teoria Instrumental.

De acordo com a Figura 4.45 acima, os elementos observados pelo referencial teórico são: (1) o usuário resolvendo o problema; (2) o problema em resolução; (3) Os conceitos representados metaforicamente pela interface. (4) Os teoremas-em-ato, mobilizados durante o uso da interface. (5) Os artefatos utilizados em cada etapa de resolução do problema. (6) Os objetos envolvidos na resolução do problema. O primeiro elemento é o usuário, identificado pelo critério de conhecimento do domínio(Nielsen, 1993), usando a interface para resolver uma situação problema proposta. O segundo elemento é o problema, que foi exemplificado na

Tarefa 1; um problema pode ser resolvido em várias tentativas, e cada tentativa pode ser executada em várias etapas. O terceiro elemento são os conceitos, utilizados na

resolução dos problemas e, metaforicamente, representados pelos artefatos da interface. O quarto elemento são os teoremas-em-ato, que são as propriedades matemáticas mobilizadas durante a resolução dos problemas, os quais podem ser falsos ou verdadeiros. Uma discussão mais completa sobre os teoremas-em-ato falsos e verdadeiros pode ser visto na página 45, e um exemplo de sua mobilização pode ser visto na página 101. O quinto elemento é o artefato, que corresponde a pedaços da interface, utilizados para representar, metaforicamente, um conceito. Cada artefato possui várias regras de utilização, e uma única regra pode ser atribuída a vários artefatos. O sexto elemento são os objetos, que são os elementos sobre os quais estão sendo realizadas operações relacionais ou numéricas.

O primeiro passo realizado na Análise Instrumental foi identificar as categorias para cada elemento constitutivo do referencial teórico, ou seja; encontrar todos os usuários; encontrar todos os problemas; encontrar todos os teoremas-em-ato, verdadeiros e falsos; encontrar todos os objetos, encontrar todos os artefatos e, finalmente, encontrar todas as regras dos artefatos, verdadeiras e falsas. Uma visualização gráfica dessa explicação pode ser vista na Figura 4.45. O processo, para encontrar os elementos acima listados aconteceu mediante a análise da tarefa, descrita na página 59 do teste de usabilidade, descrito na página 88. Abaixo, listamos para cada elemento acima listado suas categorias.

Categorias presentes na análise instrumental

Os elementos presentes na Figura 4.45 constituem os elementos da Análise Instrumental. Dentre os elementos presentes, está o elemento 'Etapa', que corresponde a uma unidade de análise da ação realizada com a interface durante o processo de modelagem do problema. Todas as ações podem ser visualizadas graficamente na Figura 4.5. Abaixo, segue uma representação tabular da etapa ou Ação Instrumental.

Quadro 4.45. Ação Instrumental.

Tarefa	Av.	Instrumento	Invariantes	Regra
		Organização	Artefato	

O Quadro 4.45, acima, contém todos os descritores da Ação Instrumental. O primeiro é a tarefa em execução, que corresponde ao elemento 'Etapa' da Figura 4.45. O

segundo é a avaliação, que será certa ou errada. O terceiro é o instrumento, o qual contém a organização, que corresponde a uma descrição de como foi realizada a etapa, e o artefato, utilizado na execução da tarefa. O quarto é o invariante, mobilizado durante a execução da tarefa. Ele pode ser falso ou verdadeiro. O último é a regra de utilização do artefato, que irá indicar se o usuário utilizou a regra correta ou incorreta. A seguir, procederemos com a identificação das categorias presentes em cada elemento da Análise Instrumental.

Tarefa

No Quadro 43, Apresentamos todas as tarefas realizadas com a interface. Na primeira coluna estão os identificadores. Na segunda coluna, está a descrição de cada ação. Iniciam-se com as letras 'AG' as tarefas executadas pelos agentes na interface, usando os artefatos disponíveis.

Quadro 4.46. Tarefas executadas durante a resolução dos problemas.

	Identificar a categoria de problema proposto pela interface
TA2:	Identificar o estado final
TA3:	Identificar o número relativo da transformação
TA4:	Contagem de quadradinhos
TA5:	Identificar a medida utilizada como o referente
TA6:	Identificar o número relativo da comparação
TA7:	Obter o referido a partir do referente e da relação existente entre o referido e o referente
TA8:	Identificar o cardinal relativo a uma das partes
TA9:	Identificar o cardinal relativo ao todo
TA10:	Identificar a parte
TA11:	Identificar o todo
TA12:	Identificar o estado inicial
TA13:	Associação do estado inicial da medida com o elemento que representa este conceito no modelo
TA14:	Associação do estado final da medida com o elemento que representa este conceito no modelo
TA15:	Obter a transformação que leva a medida do seu estado inicial ao estado final
TA16:	Associação da transformação aplicada à medida com o elemento que representa este conceito no modelo
TA17:	Associação da medida utilizada como referente com o elemento que representa este conceito no modelo
TA18:	Associação do número que representa a relação existente entre as duas medidas com o elemento que representa este conceito na legenda
TA19:	Obter o referido a partir do referente e da relação existente entre o referido e o referente
TA20:	Associação do referido com o elemento que representa este conceito no modelo
TA21:	Identificar o número que representa a transformação aplicada a uma medida
TA22:	Associação do número que representa a transformação aplicada a uma medida com o elemento que representa este conceito no modelo
TA23:	Obter o estado inicial da medida

TA24:	Escolher entre ver a dica ou tentar novamente. O usuário escolheu ver a dica
AG_EMLQ:	Exibir mensagens de questionamento
AG_EMS:	Exibir mensagem de sucesso
AG_EME:	Exibir mensagem explicativa
AG_EMCME:	Exibir material concreto e mensagem explicativa sobre o uso do material
AG_AC:	Automatizar a contagem
AG_AE:	Automatizar passos da modelagem do problema

Usuários

No critério de escolha dos usuários, observaram-se as orientações constantes em (Nielsen, 1993), com relação ao conhecimento do domínio. Todavia observou-se que os usuários tinham níveis de escolaridade diferentes. Como pode ver no Quadro 4.47, não aparecem nomes dos usuários, apenas um identificador único utilizado para possibilitar o acompanhamento de cada usuário individualmente.

Quadro 4.47. Características dos usuários.

Usuários	S1	S2	S3	S4	S5
Sexo	M	F	M	F	F
Idade	45	30	48	30	35
Escolaridade	Pós-graduação	2° Grau	Pós-graduação	Pós-graduação	Pós-graduação
Formação	Matemática	Magistério	Matemática	Matemática	Matemática
Séries em que leciona	Ensino Fundamental	Ensino Fundamental	Ensino Fundamental	Ensino Fundamental	Ensino Fundamental
Tipos de Escola	Privada	Pública	Privada	Privada	Privada

Problema

Um problema é um desafio, uma situação problema proposta ao usuário; por exemplo, uma tarefa sugerida pelo professor em sala de aula. Todos os problemas resolvidos pelos usuários dizem respeito ao campo conceitual das estruturas aditivas e já foram exemplificados em 0. Abaixo segue um quadro contendo todos os problemas, inclusive os problemas propostos para resolução com material concreto.

Quadro 4.48. Problemas utilizados na Análise Instrumental.

Identificação	Descrição
01	Ao redor da mesa estão sentados 4 garotos e 7 garotas. Quantas pessoas estão sentadas ao redor da mesa?
02	Ricardo saiu de casa com 6 bolas de gude. Ao voltar ele possuía duas bolas. O que aconteceu no jogo?
03	Maria comprou uma caixa de bombons por 4 reais e ainda ficou com 4 reais. Quanto ela possuía antes de fazer a compra?
04	Ricardo tem 6 anos, Carlos tem 4 anos a mais do que ele. Quantos anos tem Carlos?
05	Carlos tem 7 reais e Luiz tem 6 reais a menos do que ele. Quantos reais tem Luiz?
06.	Ricardo tem 9 brinquedos dos quais uma parte são carrinhos e a outra parte são bonecos. Sabendo que existem 4 bonecos, quantos são os carrinhos?
AJ01	Diagrama de Euler Vein
AJ02	Fábrica de quadradinhos
AJ03	Máquina de Refrigerante
AJ04	Pilha de Quadradinhos

O Quadro 4.48, acima contém, duas colunas, a primeira é um identificador utilizado para referenciar o problema que se encontra na coluna dois. Um exemplo da utilização do identificador é para armazenamento em bancos de dados.

Artefatos

Artefatos são partes da interface, que são utilizadas durante a resolução dos problemas. Segundo a ontologia da Análise Instrumental, graficamente representada na Figura 4.45, um artefato pode ser utilizado em várias tarefas, e uma mesma tarefa pode utilizar vários artefatos. Abaixo, segue um quadro contendo os artefatos identificados.

Quadro 4.49. Artefatos identificados na interface

Identificação	Descrição
AR01	Botão transformação no menu
AR02	Botão composição no menu
AR03	Botão comparação no menu
AR04	Parte da composição
AR05	Botão criar, da metáfora fábrica de quadradinhos
AR06	Botão comparação da barra de tarefas
AR07	Todo da composição
AR08	Quadrado com interrogação
AR09	Todo da composição
ART11	Modelo Completo da Transformação
ART12	Modelo Completo da Composição
ART13	Modelo Completo da Comparação
ART14	Círculo do diagrama
ART15	Cardinal do estado inicial
ART16	Cardinal do estado final
ART17	Quadrado estado inicial do diagrama
ART18	Cardinal do referente
ART19	Quadrado referido do diagrama.
ART20	Quadrado referente do diagrama
ART21	Cardinal do número relativo da comparação
ART22	Cardinal do número relativo da transformação
ART23	Quadrado estado final do diagrama
ART24	Rótulo para exibição de mensagens
ART25	Material concreto
ART26	Quadradinhos manipuláveis
ART27	Botão pagar, da metáfora Máquina de Refrigerante
ART28	Botão ‘OK’ presentes nas mensagens
ART29	Botão ‘Dica’ presente nas mensagens

O Quadro 4.49, contém a primeira coluna de identificadores e a segunda a descrição dos artefatos disponíveis. Alguns desses artefatos são utilizados nas ações executadas pelos agentes.

Regras em ação

Segundo Gomes (2005), as regras são conhecimentos acerca de: (i) aspectos da estrutura de problemas a serem resolvidos, (ii) características, funções e propriedades do artefato escolhido, (iii) aspectos subjacentes à escolha de um determinado artefato ou, ainda

(iv) aspectos subjacentes à interação social e ao contexto material. Elas permitem gerar a seqüência de ações do indivíduo; são regras de busca e controle da informação. Abaixo, segue um quadro contendo as regras identificadas. Na coluna VALOR, expressamos os valores da proposição em termos binários: V para verdadeiro ou F para falso.

Quadro 4.50. Regras de utilização dos artefatos.

Valor	Identificação	Descrição	Conceito
V	REGRA_0:	Os elementos presentes no menu podem ser acionados através de 'point and click'	
V	REGRA_1:	O clique em qualquer item do menu que contém a legenda de Vergnaud monta o modelo na tela	
V	REGRA_28:	A mensagem, exibida na interface, deve ser clara, legível, e construída segundo o modelo do usuário, e inserida em local da interface acessível ao usuário.	
V	REGRA_29:	O material concreto deve ser exibido na interface mediante uma solicitação do usuário.	
V	REGRA_21:	Os números que representam os objetos da tarefa podem ser arrastados do texto para o modelo.	
V	REGRA_4	A cada clique no botão, uma nova unidade é inserida no depósito da fábrica de quadradinhos.	
V	REGRA_9:	O resultado da operação é inserido no quadrado que contém a interrogação.	
V	RUC:	Representação da unidade para a contagem.	
V	RESULT:	Receber o resultado da operação.	
V	RT	A seta do menu representa da transformação	Transformação
V	REF:	Representação do cardinal do estado final	
V	REFM:	Representação do cardinal do estado final no modelo	
V	REI:	Representação do cardinal do estado inicial	
V	REIM:	Representação do cardinal do estado inicial no modelo	
V	RTM:	A seta do diagrama representa a transformação no modelo	
F	ERRADA04	O cardinal do estado final de uma transformação é posicionado no circulo do diagrama.	
V	REGRA_26:	No quadrado do referido deve ser inserido um valor positivo.	Comparação
V	RCRDO:	Representação do cardinal do referido.	
F	ERRADA05	O cardinal do referente deve ser posicionado no modelo no quadrado que corresponde ao referido	
V	RCO	A seta vertical para cima do menu representa a comparação	
V	RCOM:	A seta vertical para cima do diagrama representa a comparação no modelo	
V	RCRDOM:	Representação do cardinal do referido no modelo.	
F	ERRADA02	O cardinal que representa o referendo de uma comparação deve ser posicionado no circulo que representa o número relativo.	
F	ERRADA03	O cardinal do referente deve ser posicionado no modelo no quadrado que corresponde ao referido	

V	RCR:	Representação do cardinal do referente.	
V	RCRM:	Representação do cardinal do referente no modelo	
V	RRM:	O circulo do diagrama representa relação no modelo.	Número relativo
V	RR:	O circulo do menu representa um número relativo.	
V	RNR:	Representação do cardinal do número relativo.	
V	REGRA_13:	O número que representa o cardinal da transformação deve ser inserido acompanhado do sinal positivo ou negativo.	
V	RNRM:	Representação do cardinal do número relativo no modelo.	
V	REGRA_25:	Dentro do circulo do diagrama comparação deve ser inserido um valor com sinal, correspondente ao valor relativo da operação.	
V	RC:	A chave do menu representa a composição	Composição
V	RCP:	Representação do cardinal da parte	
V	RCPM:	Representação do cardinal da parte no modelo	
V	RCTM:	Representação do cardinal do todo no modelo	
V	RCT:	Representação do cardinal do todo.	
F	ERRADA01	O elemento desconhecido da composição deve ser sempre posicionado no quadrado que representa o todo da composição.	
V	RCM:	A chave do diagrama representa a composição no modelo	

O Quadro 4.50 acima contém duas colunas, a primeira é o identificador da regra, a segunda é a descrição textual da regra.

Teoremas-em-ato

Segundo Vergnaud (1986), o invariante é uma propriedade ou uma relação, que é conservada ao longo de um conjunto de transformações; já os teoremas-em-ato são invariantes contextualizados, ou seja, possuem uma validade local e são associados a um conjunto de valores e variáveis. Dessa forma, o autor sugere que existem muitos teoremas-em-ato, que podem ser identificados na resolução de problemas sobre adição e multiplicação. Utilizamos os teoremas-em-ato verdadeiros identificados por (Braga, 2006), presentes no Quadro 4.11 e procedemos à identificação dos teoremas-em-ato falsos. Esses resultados podem ser vistos na página 99. A seguir, um quadro que contém todos os teoremas-em-ato identificados no teste de usabilidade e extraídos da literatura sobre estruturas aditivas.

Quadro 4.51. Teoremas-em-ato identificados.

Valor	Identificação	Descrição	Conceito
V	Invariante_2:	O número representa o cardinal do conjunto.	Composição
V	Invariante_3:	A combinação das quantidades gera o todo.	
V	Invariante _4:	Uma medida inicial se transforma, dando origem a uma nova medida.	Transformação
V	Invariante_5:	O número representa o estado inicial da medida.	
V	Invariante_6	O número representa o estado final da medida.	
V	Invariante_7	O número representa a transformação aplicada a uma medida.	
V	Invariante_8	A transformação aplicada a uma medida é obtida pela diferença entre o estado final e o estado inicial da mesma.	
F	Invariante_21	O cardinal do estado final de uma transformação corresponde ao resultado da operação (Falso)	
F	Invariante_19	O estado inicial de uma transformação negativa é obtido através da composição entre o número relativo e o estado final. (Falso)	
V	Invariante_9	O estado inicial em um problema de transformação pode ser obtido a partir da aplicação da transformação inversa ao estado final da medida.	
V	Invariante_10	O valor de uma medida é especificado em relação ao valor de uma outra medida.	Transformação Comparação
V	Invariante_11	O número representa o referente da medida.	Comparação
V	Invariante_16	Quantidade do primeiro diferente da quantidade do segundo.	
V	Invariante_17	Quantidade de uma medida é menor que a quantidade da outra medida.	
F	Invariante_20	O cardinal do referendo é obtido pela composição entre o número relativo e o cardinal do referido. (Falso)	
V	Invariante_13	O referido em um problema de comparação é obtido a partir da soma do referente com a relação existente entre o referente e o referido.	
F	Invariante_18	Um número relativo pode ser representado sem sinal. (Falso)	Número relativo
V	Invariante_12	O número representa a relação existente entre as duas medidas.	
	Invariante_14	Contagem	Conceito de Número
	Invariante_15	Sentido de Número	

O Quadro 4.51, acima, está dividido em duas colunas: a primeira contém uma identificação e a segunda a descrição do invariante. Essa identificação é utilizada para identificar unicamente um invariante.

Objetos

Os objetos da tarefa são os elementos sobre são realizadas as tarefas. Por exemplo, todos os cardinais são exemplos de objetos em cada etapa da tarefa, pois sobre eles

estão sendo executadas, inicialmente, as operações relacionais e finalmente a operação numérica.

Quadro 4.52. Objetos identificados.

Identificação	Descrição
OBJ1	Cardinal do estado inicial
OBJ2	Cardinal do estado final
OBJ3	Cardinal do referente
OBJ4	Cardinal do número relativo da comparação
OBJ5	Cardinal do número relativo da transformação
OBJ6	Cardinal do referido
OBJ7	Cardinal do todo
OBJ8	Cardinal da parte

O Quadro 4.52, acima, contém duas colunas: na primeira, temos um identificador único do objeto e, na segunda coluna, temos uma descrição textual do objeto.

Segundo Gomes (2005), para realizar uma análise da aprendizagem a partir das ações instrumentais, faz-se necessário (1) inferir acerca dos INVARIANTES (teoremas-em-ato, T.E.A.) subjacentes às ações e as REGRAS de utilização dos artefatos. (1) A inferência dos invariantes pode ser vista na página 99 e nos resultados obtidos por (Braga, 2006). (2) A análise da relação, que existe entre o uso da interface e a mobilização dos teoremas-em-ato, acontece mediante a analisar da relação entre as REGRAS de utilização do artefato e os invariantes (teoremas-em-ato). Em outras palavras, queremos verificar se há um padrão na associação entre as regras de utilização do artefato corretas e os teoremas-em-ato verdadeiros mobilizados, ou ainda, será que, quando ele utiliza a regra correta, ele mobiliza o invariante verdadeiro? Ao responder essa pergunta, concluiremos que, de fato, há aprendizagem de conceitos relacionada ao uso da interface. A seguir, mostraremos a análise da tarefa e as tabelas geradas com a teoria instrumental. Nessas tabelas, algumas linhas iniciam com o usuário 06. Tais colunas correspondem às ações do agente.

Resultados

Usuário: 05. Problema: 05. A descrição do problema encontra-se no Quadro 4.48.

Quadro 4.53. Análise da tarefa. Usuário 05 e problema 03.

Usuário	Problema	Tentativa	Tarefa	C/E	Instrumento		Função do artefato		
					Organização	Artefato		Invariantes	REGRAS
04	05	01	Identificar o tipo de problema proposto pela interface	C	Escolha da legenda que representa a comparação entre duas quantidades	Botão comparação da barra de tarefas	Representação da comparação	Quantidade do primeiro diferente da quantidade do segundo.	O clique no botão comparação monta o modelo do problema na tela.
04	05	01	Identificar o cardinal do referente	C	Seleção do número que corresponde ao cardinal do referente	Número 7 do enunciado	Representação do cardinal do referente	O número representa o referente da medida.	O Número que representa o cardinal do referente pode ser arrastado do enunciado para a legenda.
04	05	1	Associação do cardinal do referente com o elemento que o representa no modelo	C	Após arrastar o número o usuário posiciona corretamente esse número no modelo	Quadrado inferior do modelo	Representar a referente no modelo	O número representa o cardinal do referente.	No quadrado inferior da comparação deve ser colocado um número positivo que representa o referente da comparação.
04	05	1	Identificar o cardinal do número relativo	C	Seleção do número que corresponde ao cardinal da relação entre as duas quantidades	Número 6 do enunciado	Representação do cardinal da relação entre o referente e o referido	O número representa o cardinal da relação	O Número que representa o cardinal da relação pode ser arrastado para o modelo
04	05	1	Associação do cardinal do número relativo no modelo	E	Após arrastar o número o cardinal que representa a relação o usuário posiciona corretamente, mas esquece de mencionar o sinal	Circulo do modelo	Representar a relação	O número representa a relação entre o referente e o referido	No circulo da comparação deve ser coloca do um número seguido de sinal positivo ou negativo.

06	05	1	Alerta o usuário que ele cometeu um erro causado pela omissão do sinal	C	Tem certeza de que Luiz possui 6 reais a mais do que Carlos ? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente.	Mensagem de alerta	Alertar ao usuário que houve um problema durante a modelagem	As mensagens alertam o usuário e faz pensar sobre a tarefa em execução.	As mensagens devem surgir mediante um erro de modelagem e devem ser inseridas em local facilmente visualizado pelo usuários
04	05	2	Associação do cardinal do número relativo no modelo	E	Após arrastar o número o cardinal que representa a relação o usuário posiciona no elemento que representa o cardinal do referido no modelo	Quadrado superior da comparação	Representar o número relativo	null	No quadrado superior da comparação deve ser colocado um número relativo ao cardinal da comparação.
06	05	1	Alerta o usuário que ele cometeu um erro causado pela omissão do sinal	C	Tem certeza de que o número relativo está na posição correta? O número relativo é representado da seguinte forma: +6 ou –6. Clique em Ok para tentar novamente.	Mensagem de alerta	Alertar ao usuário que houve um problema durante a modelagem	As mensagens alertam o usuário e faz pensar sobre a tarefa em execução.	As mensagens devem surgir mediante um erro de modelagem e devem ser inseridas em local facilmente visualizado pelo usuários
04	05	1	Desfazer operação	C	O usuário escolheu o botão em cujo rótulo está escrito ‘desfazer’ e o sete foi retirado do modelo	Botão de desfazer presente na interface	Permitir que o usuário volte no plano que estava executando	null	null
04	05	1	Identificação do referente no texto	C	O usuário escolhe o número sete no texto que equivale ao cardinal do referente	Cardinal do referente no texto	Representar o número	O número representa o cardinal de uma medida	Os números que representam cardinais de medida no texto podem ser arrastados.

04	05	1	Associação do referente no modelo	E	O usuário associa o cardinal do referente no elemento que representa o número relativo no modelo	Circulo do número relativo no modelo.	Representar o número relativo no modelo.	null	O número que representa o referente da composição pode ser posicionado no circulo do modelo.
06	05	1	Alerta o usuário que ele cometeu um erro de posicionamento	C	Tem certeza de que o referendo está na posição correta? Clique em ok para tentar novamente	Mensagem de alerta	Alertar ao usuário que houve um problema durante a modelagem	As mensagens alertam o usuário e faz pensar sobre a tarefa em execução.	As mensagens devem surgir mediante um erro de modelagem e devem ser inseridas em local facilmente visualizado pelo usuários
06	05	1	Mostrar ao usuário a forma correta de posicionar os elementos no modelo.	C	Veja as dicas (colocou as frases “Dinheiro de Carlos” no referendo, “Dinheiro de Luiz” no referido e “diferença” no número relativo)	Automatização de tarefas	Mostrar a forma correta dos passos da modelagem	A automatização de tarefas diminui as demandas cognitivas.	A automatização das tarefas pode ser feita usando rótulos ou figuras para indicar o posicionamento correto no modelo
04	05	2	Identificação do referente	C	O usuário identifica e arrasta o cardinal do referente para o modelo	Número que representa o cardinal do referente no texto	Representar o número o referente no texto	O número representa o cardinal de uma medida	O número que representa o referente da composição no texto pode ser arrastado para o problema.
04	05	1	Posicionamento do referente no modelo	C	O usuário associa o cardinal do referente no elemento que representa o número relativo no modelo.	Quadrado inferior do modelo.	Representar o referente no modelo	null	O número que representa o referente da composição deve ser posicionado no quadrado inferior da comparação

04	05	1	Identificação do referido	C	O usuário faz o cálculo numérico 7-6 que resulta 1.	Número que representa o cardinal do referido proveniente do cálculo numérico	Representar o referido	O número representa o cardinal de uma medida	O número que representa a solução do problema deve ser inserido no modelo, no local da interrogação.
04	05	1	Posicionamento do referido no modelo	C	O usuário associa o cardinal do referido no elemento que o representa no modelo	Quadrado superior do modelo.	Representar o referido no modelo.	null	O número que representa o referido da composição deve ser posicionado no quadrado superior da comparação
04	05	1	Identificação do número relativo	C	O usuário identifica o número relativo no texto e o arrasta para o modelo	Número que representa o cardinal do número relativo no texto.	Representar a relação entre o referente e o referido no texto	O número representa a relação existente entre as duas medidas.	O número que representa a relação entre o referente e o referido pode ser arrastado do texto para o modelo
04	05	1	Posicionamento do número relativo	E	O usuário posiciona o número relativo no modelo e omite o sinal.	O circulo do modelo.	Representar a relação entre o referente e o referido no modelo	O número representa a relação existente entre as duas medidas.	O número que representa a relação entre o referente e o referido deve ser posicionado no circulo do modelo sem o sinal
06	05	1	Alerta o usuário que ele cometeu um erro causado pela omissão do sinal	C	Tem certeza de que Luiz possui 6 reais a mais do que Carlos ? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente	Mensagem de alerta	Alertar ao usuário que houve um problema durante a modelagem	As mensagens alertam o usuário e faz pensar sobre a tarefa em execução.	As mensagens devem surgir mediante um erro de modelagem e devem ser inseridas em local facilmente visualizado pelos usuários

06	05	1	Alerta o usuário que ele cometeu um erro causado pela omissão do sinal	C	O número relativo é representado da seguinte forma: +2 ou –2. Clique em Ok para tentar novamente.	Mensagem de alerta	Alertar ao usuário que houve um problema durante a modelagem	As mensagens alertam o usuário e faz pensar sobre a tarefa em execução.	As mensagens devem surgir mediante um erro de modelagem e devem ser inseridas em local facilmente visualizado pelos usuários
04	05	2	Posicionamento do número relativo	C	O usuário posiciona o número relativo no modelo informando o sinal	O circulo do modelo.	Representar a relação entre o referente e o referido no modelo	O número representa a relação existente entre as duas medidas.	O número que representa a relação entre o referente e o referido deve ser posicionado no circulo do modelo sem o sinal

Representação gráfica

No Quadro 4.53 nos mostra que o usuário teve bastante dificuldade para resolver o problema. A partir das transcrições da interação (think aloud) e da observação do vídeo gerado, percebeu-se um problema de falta de atenção muito grave neste usuário, o que dificultou tanto o oferecimento da ajuda, quanto a posterior análise da tarefa. Os resultados demonstram que embora tenha ocorrido o problema de atenção, ele conseguiu resolver o problema proposto com sucesso. Abaixo, mostraremos uma representação gráfica do Quadro 4.53

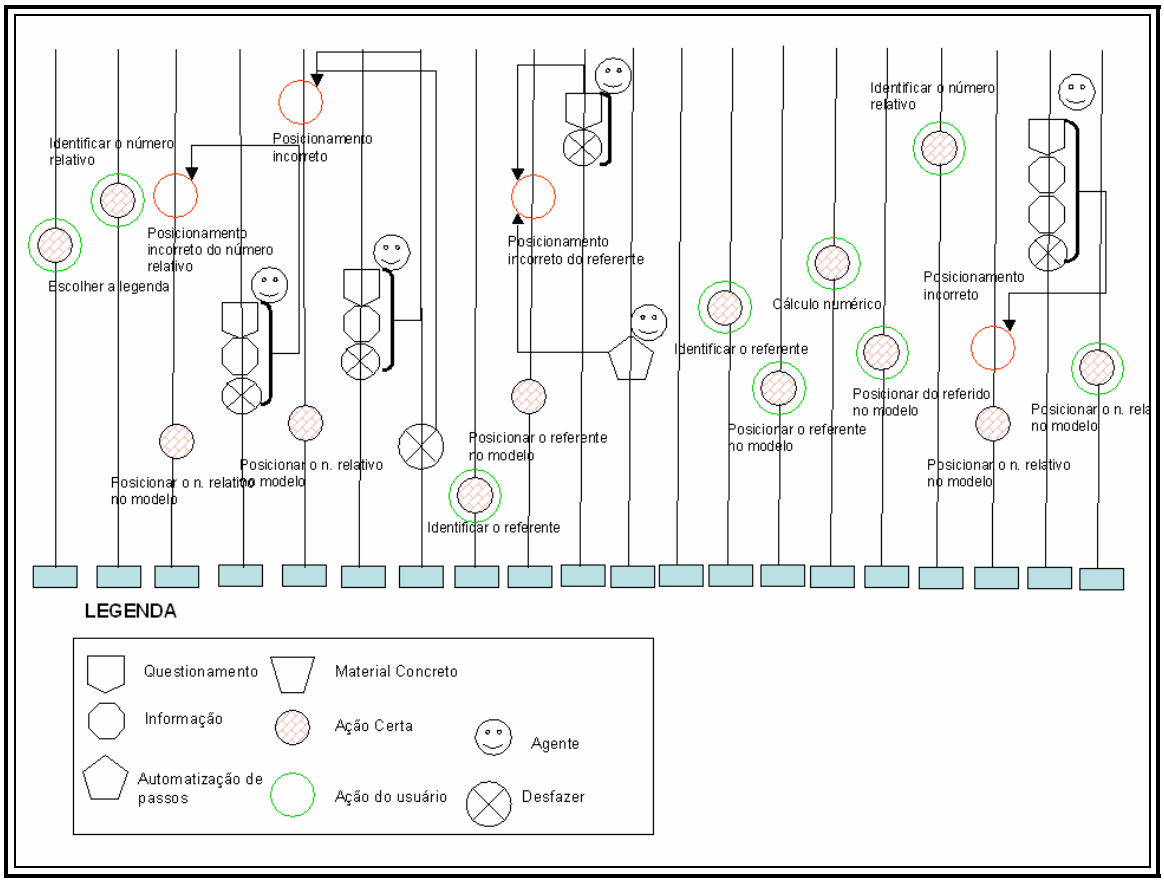


Figura 4.46. Usuário 05 resolvendo o problema 05.

A Figura 4.46 contém uma representação gráfica das tarefas descritas no

Quadro 4.53 . Nessa figura, encontram-se uma legenda de representações para as diferentes ações do agente, e o plano parcialmente ordenado, representado por bolinhas rosas distribuídas na tela. Caso o usuário siga as bolinhas rosas, ele estará executando o plano corretamente e a conclusão será a resposta do problema proposto. Caso ele erre alguma ação, a interface oferece para ele alguns tipos de ajuda. Nesse caso, estamos usando: questionamentos, informação, automatização de tarefas e material concreto. A bolinha sem preenchimento, com a borda verde, representa a ação correta executada pelo usuário, a bolinha sem preenchimento com borda vermelha, representa a ação errada executada pelo usuário. Conforme vemos, esse usuário recebeu muita ajuda durante a resolução da tarefa, e concluiu com sucesso. Ainda pode ser visto na figura que a automatização de passos da modelagem fez com que ele iniciasse um fluxo de ações corretas, voltando novamente a errar no momento do posicionamento do número relativo.

Usuário: 01; problema: 02. A descrição do problema encontra-se no Quadro 4.48.

Quadro 4.54. Usuário 01 resolvendo problema 02.

Problema	usuário	Tentativa	Tarefa	C/E	Instrumento		Função do artefato		
					Organização	Artefato		Invariantes	Regra
02	1	1	Identificar o tipo de problema proposto pela interface	C	Escolha da legenda que representa uma transformação de uma medida, tendo como resultado uma nova medida.	Botão transformação da barra de tarefas	Definição da categoria da situação aditiva tratada no problema	Uma medida inicial se transforma, dando origem a uma nova medida.	O clique no botão transformação monta o modelo do problema na tela.
02	1	1	Identificar o estado inicial da medida.	C	Seleção do número que corresponde a medida antes de sofrer a transformação.	Estado final	Representação de uma medida	O número representa o estado inicial da medida.	O número que representa o estado inicial da medida pode ser arrastado do enunciado para o modelo
02	1	1	Associação do estado inicial da medida com o elemento que representa este conceito na legenda.	C	Associação do número correspondente ao estado inicial da medida com o elemento do diagrama que representa este conceito.	Quadrado estado inicial do diagrama	Representação do estado inicial em problemas de transformação.	O quadrado da esquerda em um diagrama de transformação representa o estado inicial da medida.	Deve ser inserido n quadrado da esquerda do modelo um número positivo correspondente ao estado inicial da transformação

02	1	1	Identificar o estado final da medida.	C	Seleção do número que corresponde a medida após sofrer a transformação.	Estado inicial	Representação de uma medida	O número representa o estado final da medida.	O Número que representa o estado final da medida pode ser arrastado no enunciado do problema.
02	1	2	Associação do estado final da medida com o elemento que representa este conceito na legenda.	F	Associação do número correspondente ao estado final da medida com o elemento do diagrama que representa este conceito	Círculo (número relativo) do diagrama	Representação do número relativo	O círculo em um diagrama de transformação representa o estado final da medida (F).	Deve ser inserido no circulo um valor com sinal representando o número relativo da operação
02	06	1	Enviar Mensagem alerta	c	Tem certeza de que o número relativo está correto ? O número relativo é apresentado da seguinte forma: +2 ou –2. Clique em ok para tentar novamente.	Mensagens de texto	Informar ao usuário que ele cometeu um erro de modelagem	As mensagens chamam a atenção dos usuário e fazem refletir sobre a tarefa em execução	As mensagens devem ser claras e inseridas na tela em local facilmente visualizado pelo usuário.
02	1	2	Associação do estado final da medida com o elemento que representa este conceito na legenda.	F	Associação do número correspondente ao estado final da medida com o elemento do diagrama que representa este conceito	Círculo (número relativo) do diagrama	Representação do número relativo	O círculo em um diagrama de transformação representa o estado final da medida (F).	Deve ser inserido no circulo um valor com sinal representando o número relativo da operação.

02	06	1	Enviar Mensagem alerta	c	Tem certeza de que o estado final está na posição correta? Veja o exemplo. Estado inicial (mostra o primeiro quadrado), número relativo (aponta o círculo), estado final (aponta o segundo quadrado). Clique em Ok para tentar novamente.	Mensagens de texto	Informar ao usuário que ele cometeu um erro de modelagem	As mensagens chamam a atenção dos usuário e fazem refletir sobre a tarefa em execução	As mensagens devem ser claras e inseridas na tela em local facilmente visualizado pelo usuário.
02	1	3	Associação do estado final da medida com o elemento que representa este conceito na legenda.	C	Associação do número correspondente ao estado final da medida com o elemento do diagrama que representa este conceito	Quadrado estado final do diagrama	Representação do estado final em problemas de transformação.	O quadrado da direita em um diagrama de transformação representa o estado final da medida.	Deve ser inserido n quadrado da direita do modelo um número positivo correspondent e ao estado final da transformação
02	1	1	Obter a transformação que leva a medida do seu estado inicial ao estado final	C	Subtração da medida inicial da medida final para obter a transformação ocorrida.	Modelo Completo da Transformação	Representar o cálculo relacional envolvido na operação	A transformação aplicada a uma medida é obtida pela diferença entre a quantidade final e a quantidade inicial.	O Modelo completo deve conter todos os passos correspondent es às operações relacionais.

02	1	1	Associação da transformação aplicada a medida com o elemento que representa este conceito no modelo. Omitiu o sinal	F	Associação do módulo do número correspondente a transformação aplicada à medida com o elemento do diagrama que representa este conceito	Círculo do diagrama	Representação do número relativo	O círculo em um diagrama de transformação representa a transformação aplicada à medida.	Deve ser inserido no circulo um valor com sinal representando o número relativo da operação.(Regra violada)
02	06	1	Enviar Mensagem alerta	c	Tem certeza de que ele ganhou 4 bolas ? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente	Mensagens de texto	Informar ao usuário que ele cometeu um erro de modelagem	As mensagens chamam a atenção dos usuário e fazem refletir sobre a tarefa em execução	As mensagens devem ser claras e inseridas na tela em local facilmente visualizado pelo usuário.
02	1	2	Associação da transformação aplicada à medida com o elemento que representa este conceito no modelo.	C	Associação do número correspondente à transformação aplicada à medida com o elemento do diagrama que representa este conceito	Modelo Completo da Transformação	Representar o cálculo relacional envolvido na operação	O círculo em um diagrama de transformação representa a transformação aplicada à medida.	Deve ser inserido no circulo um valor com sinal representando o número relativo da operação

Representação gráfica

Como visto no Quadro 4.54 acima o usuário tem dificuldade em dois pontos da tarefa, o primeiro foi para encontrar a posição do estado final, e o segundo foi para inserir o sinal do número relativo. Esse erro de sinal foi uma regularidade durante o teste. Muitos usuários relataram não saber que precisava mencionar o sinal. Abaixo mostraremos a Figura 4.47, que é a representação gráfica do Quadro 4.54.

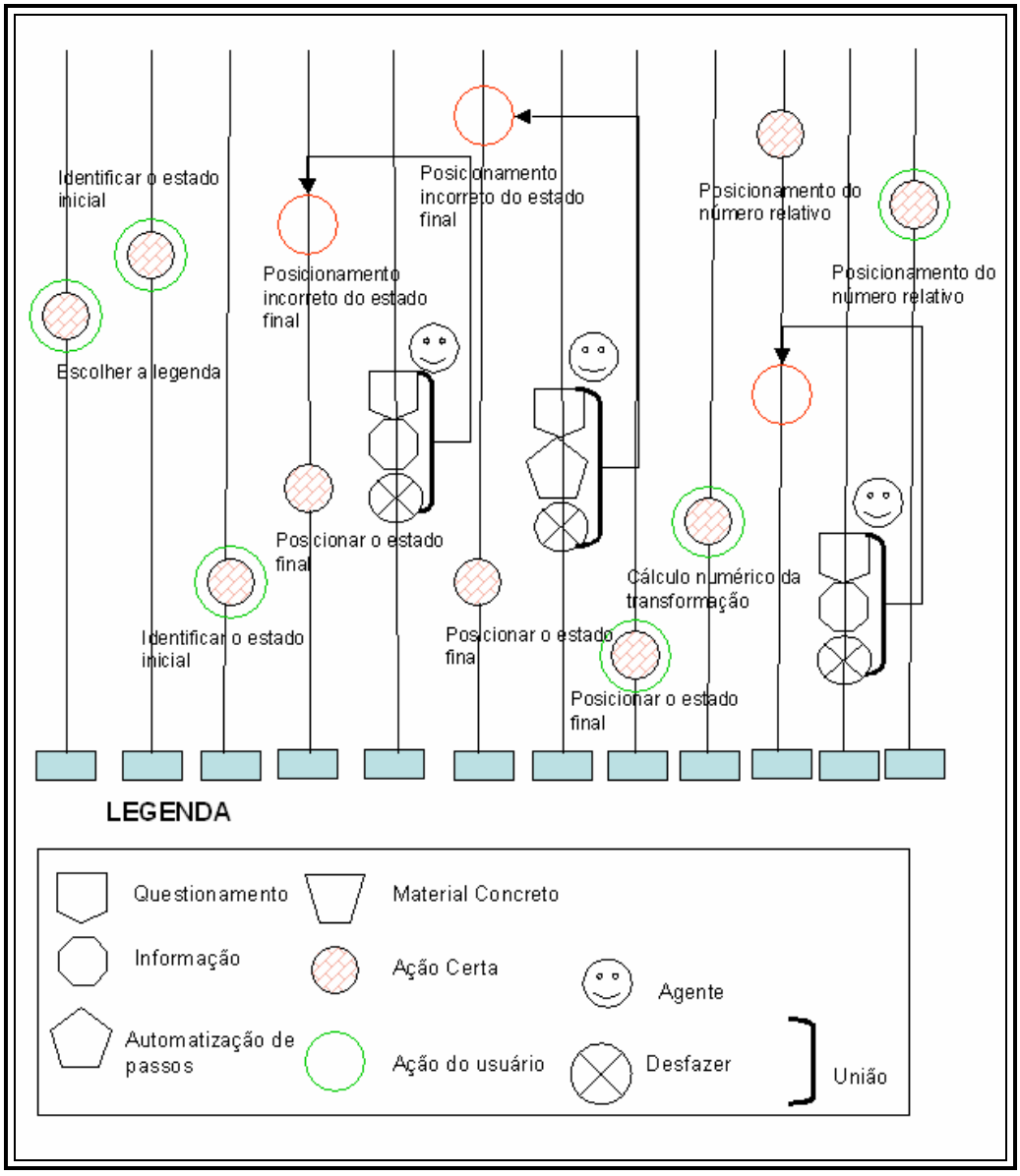


Figura 4.47. Plano executado pelo usuário 01 na execução do problema 02

Figura 4.47 contém o plano parcialmente ordenado das ações que o usuário realizou em colaboração com o agente para resolver o problema 02, descrito no Quadro 4.54. Essa figura contém uma legenda com os elementos representativos. Durante a execução das tarefas, o usuário foi ajudado em três oportunidades, em cada uma delas, o agente usou um tipo de ajuda ou uma associação de tipos de ajuda. Finalmente, o usuário conseguiu terminar a tarefa com sucesso.

Usuário: 01; problema: 04. A descrição do problema encontra-se no Quadro 4.48.

Quadro 4.55. Usuário 01 resolvendo problema 04.

Problema	Usuários	Tentativa	Tarefa	C/E	Instrumento		Função do artefato		
					Organização	Artefato		Invariante	Regra
04	01	01	Identificar o tipo de problema proposto pela interface	C	Escolha da legenda que representa uma comparação entre duas medidas	Botão comparação da barra de tarefas	Definição da categoria da situação aditiva tratada no problema	O valor de uma medida é especificado em relação ao valor de uma outra medida.	O clique no botão comparação monta o modelo do problema na tela.
04	01	01	Identificar a medida utilizada como o referente.	C	Seleção do número que corresponde ao referente da comparação.	Referente	Representação de uma medida	O número representa o referente da medida.	O Número que representa o referente da medida pode ser arrastado no enunciado do problema.
04	01	01	Associação da medida utilizada como referente com o elemento que representa este conceito na legenda.	F	Associação do número correspondente ao referente com o elemento do diagrama que representa este conceito.	Quadrado referido do diagrama(Artefato incorreto)	Representação do referido em problemas de comparação.	O quadrado superior em um diagrama de comparação representa o referente da medida.Falso	Dentro do quadrado superior da comparação deve ser inserido um valor positivo correspondente ao referido.
02	06	1	Enviar Mensagem alerta	C	Tem certeza de que o referente está na posição correta? Clique em Ok para tentar novamente.	Mensagens de texto	Informar ao usuário que ele cometeu um erro de modelagem	As mensagens chamam a atenção dos usuários e fazem refletir sobre a tarefa em execução	As mensagens devem ser claras e inseridas na tela em local facilmente visualizado pelo usuário.

04	01	02	Associação da medida utilizada como referente com o elemento que representa este conceito na legenda.	C	Associação do número correspondente ao referente com o elemento do diagrama que representa este conceito.	Quadrado referente do diagrama	Representação do referente em problemas de comparação.	O quadrado inferior em um diagrama de comparação representa o referente da medida.	Dentro do quadrado inferior da comparação deve ser inserido um valor positivo correspondente ao referente.
04	01	01	Identificar o número que representa a relação existente entre as duas medidas.	C	Seleção do número que corresponde a relação da comparação.	Número +4 do enunciado	Relação entre duas medidas	O número representa a relação existente entre as duas medidas.	O Número que representa a relação entre as duas medidas pode ser arrastado no enunciado do problema.
04	01	01	Associação do número que representa a relação existente entre as duas medidas com o elemento que representa este conceito na legenda.	C	Associação do número correspondente a relação existente entre as duas medidas com o elemento do diagrama que representa este conceito.	Círculo do diagrama	Representação da relação existente em problemas de comparação.	O círculo em um diagrama de comparação representa a relação existente entre as duas medidas.	Dentro do circulo do diagrama comparação deve ser inserido um valor com sinal, correspondente ao valor relativo da operação
04	01	01	Obter o referido a partir do referente e da relação existente entre o referido e o referente.	C	Soma do referente e da relação existente entre o referido e o referente para obter o referido.	Modelo completo da comparação	Representar o cálculo relacional envolvido na operação	O referido em um problema de comparação é obtido a partir da soma do referente com a relação existente entre o referente e o referido.	O Modelo completo deve conter todos os passos correspondentes às operações relacionais.

04	01	01	Associação do referido com o elemento que representa este conceito no modelo	C	Associação do número correspondente ao referido com o elemento do diagrama que representa este conceito	Quadrado do referido no modelo	Representação do referido.	O quadrado superior em um diagrama de comparação representa o referido.	No quadrado do referido deve ser inserido um valor positivo

Representação gráfica

No Quadro 4.55, o usuário foi ajudado apenas uma oportunidade, para ao posicionamento de um elemento no modelo, A seguir, uma representação gráfica da análise da tarefa.

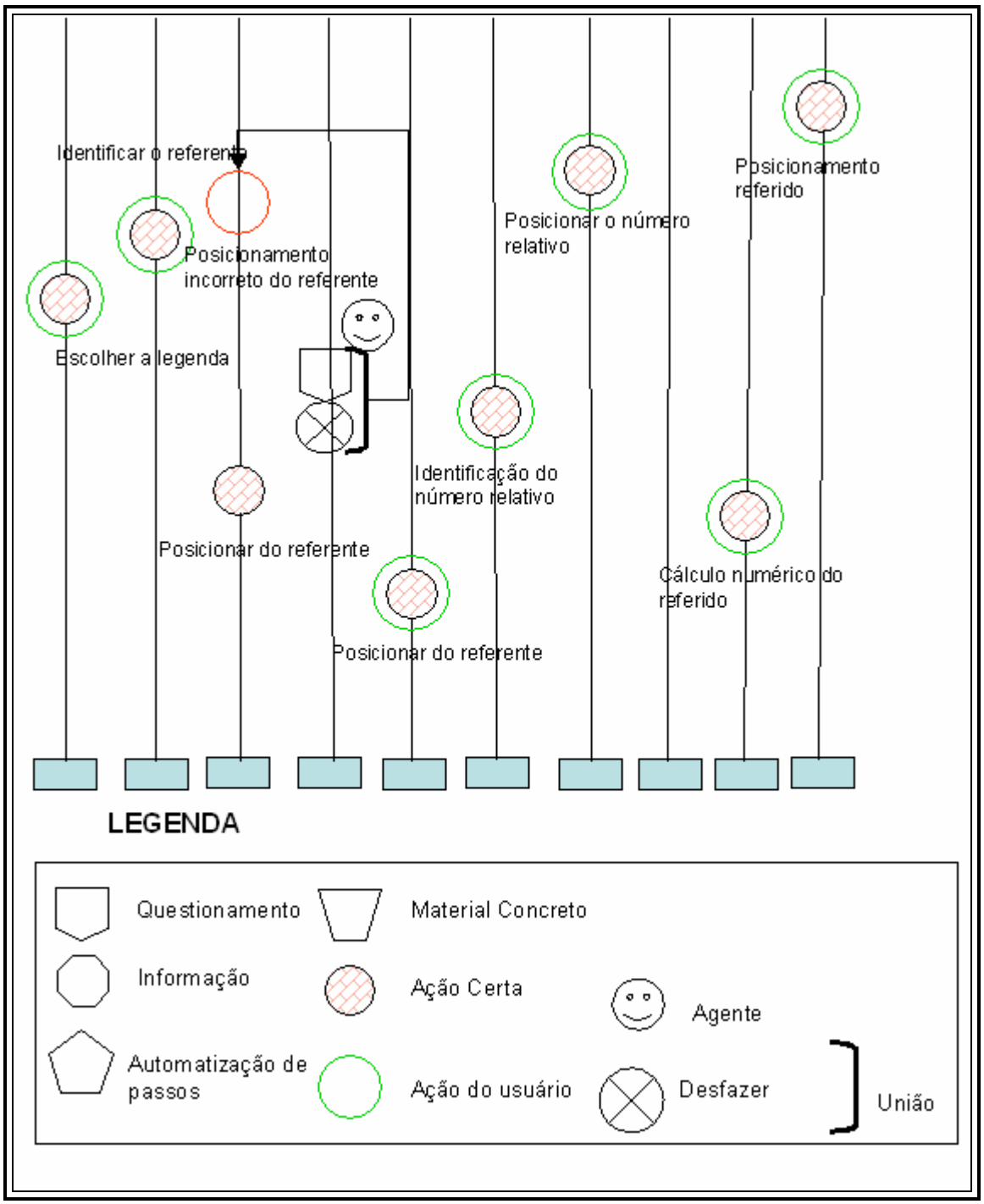


Figura 4.48. Plano executado pelo usuário 01 na resolução do problema 04.

A Figura 4.48 acima contém uma representação gráfica do Quadro 4.55. O usuário comete apenas um erro de posicionamento do referente. Em seguida, ele recebe uma mensagem de questionamento, que o faz corrigir o problema. Esse usuário já havia cometido um erro de sinal e foi ajudado. Agora, no Quadro 4.55, ele não comete mais o mesmo erro. Além disso, é interessante ver o comentário desse usuário após ter recebido a ajuda, informando-lhe, que o posicionamento estava correto. Este comentário se encontra no Quadro 4.23.

Usuário: 02; problema: 01. A descrição do problema encontra-se no Quadro 4.48

Quadro 4.56. Usuário 02 resolvendo problema 01.

usuário	Problema	Tentativa	Tarefa	C/E	Instrumento		Função do artefato		
					Organização	Artefato		Invariantes	Regra
2	01	1	Identificar o tipo de problema proposto pela interface	C	Escolha da legenda que representa a união de dois ou mais conjuntos, formando um novo conjunto.	Botão composição da barra de tarefas	Definição da categoria da situação aditiva tratada no problema	As quantidades pertencem a cada conjunto e ao todo	O clique no botão composição monta o modelo do problema na tela.
2	01	1	Identificar o cardinal do conjunto formado pelos garotos	C	Seleção do número que corresponde ao cardinal do conjunto de garotos.	Número 4 do enunciado	Representação do cardinal da coleção de garotos	O número representa o cardinal do conjunto.	O Número que representa o cardinal do conjunto pode ser arrastado do enunciado para a legenda.
2	01	1	Associação do cardinal da parte com o elemento que o representa no modelo	C	Após arrastar o número o usuário posiciona corretamente esse número no modelo	Quadrado inferior do modelo	Representar a parte no modelo	O número representa o cardinal do conjunto.	No quadrado da composição deve ser coloca do um número positivo que representa o cardinal da parte.
2	01	1	Identificar o cardinal do conjunto formado pelas garotas	C	Seleção do número que corresponde ao cardinal do conjunto de garotas.	Número 7 do enunciado	Representação do cardinal da coleção de garotas	O número representa o cardinal do conjunto.	O Número que representa o cardinal do conjunto pode ser arrastado do enunciado para a legenda.

2	01	1	Associação do cardinal da parte com o elemento que o representa no modelo	C	Após arrastar o número o usuário posiciona corretamente esse número no modelo	Quadrado superior do modelo	Representar a parte no modelo	O número representa o cardinal do conjunto.	No quadrado da composição deve ser coloca do um número positivo que representa o cardinal da parte.
2	01	1	Identificar o cardinal do novo conjunto formado pelas garotas e pelos garotos	C	Soma dos cardinais de cada coleção para obter o cardinal da união dos dois conjuntos	Modelo Completo da composição	Representação do cardinal da coleção formada por garotas e garotos.	A combinação das quantidades gera o todo.	O cálculo numérico é proveniente do cálculo relacional representado pelo modelo.
2	01	1	Inserção do cardinal correspondente a soma das partes no modelo	C	Soma dos cardinais de cada coleção para obter o cardinal da união dos dois conjuntos	Quadrado da direita do modelo	Representação do cardinal da coleção formada por garotas e garotos.	A combinação das quantidades gera o todo.	O cálculo numérico é proveniente do cálculo relacional representado pelo modelo deve ser inserido no quadrado da direita do modelo.

Usuário: 02; problema: 03. A descrição do problema encontra-se no Quadro 4.48.

Quadro 4.57. Usuário 02 resolvendo problema 03

usuario	Problema	Tentativa	Tarefa	C/E	Instrumento		Função do artefato	Invariantes	Regra
					Organização	Artefato			
2	03	1	Identificar o tipo de problema proposto pela interface	C	Escolha da legenda que representa a transformação de uma medida	Botão transformação no menu	Definição da categoria da situação aditiva tratada no problema	Uma medida inicial se transforma, dando origem a uma nova medida.	O clique no botão transformação monta o modelo do problema na tela.
2	03	1	Pedir Dica	C	O usuário pediu uma dica para continuar resolvendo o problema	null	null	null.	null
06	03	1	Automatizar tarefas	c	Colocou as dicas indicando o que cada elemento do diagrama representa no caso “Maria possuía” para o primeiro quadrado da transformação (estado inicial), “Maria ficou com” para o segundo quadrado da transformação (estado final)	Rótulos de posicionamento	Mostrar ao usuário a maneira correta de efetuar o posicionamento	A automatização das tarefas diminui demandas cognitivas	A automatização de tarefas pode ser feita com rótulos ou figuras
2	03	1	Identificação do número relativo	C	O usuário escolhe no texto o cardinal referente ao número relativo	Número que representa o cardinal da relação entre o estado final e o estado inicial	Representar a relação da transformação	O número representa o cardinal da relação	No texto os números podem ser arrastados
2	03	1	Associação do cardinal da relação ao modelo	E	O usuário posicionou corretamente, sem informar o sinal.	Círculo do modelo	Representação do cardinal da relação no modelo	A transformação aplicada a uma medida pode ser expressa por um número.	No circulo do modelo deve ser colocado um número seguido de sinal positivo ou negativo

06	03	1	Enviar Mensagem alerta	c	Tem certeza de que ela ganhou 4 reais? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho. Clique em ok para tentar novamente.	Mensagens de texto	Informar ao usuário que ele cometeu um erro de modelagem omitindo o sinal	As mensagens chamam a atenção dos usuários e fazem refletir sobre a tarefa em execução	As mensagens devem ser claras e inseridas na tela em local facilmente visualizado pelo usuário.
2	03	2	Associação do cardinal da relação ao modelo	C	O usuário posicionou corretamente, informando o sinal.	Círculo do modelo	Representação do cardinal da relação no modelo	A transformação aplicada a uma medida pode ser expressa por um número.	No circulo do modelo deve ser colocado um número seguido de sinal positivo ou negativo
2	03	1	Identificação do estado final	C	O usuário arrastou o cardinal do estado final para o modelo	Número que representa o cardinal do estado final no texto	Representação do cardinal do estado final no texto	Um número pode representar o estado final da medida.	Os números que representam os cardinais envolvidos na operação podem ser arrastados para o modelo
2	06	1	Associação do cardinal do estado final no modelo	C	Após arrastar o número o usuário posiciona de corretamente no modelo	Quadrado da direta do modelo	Representar o estado final da transformação no modelo	O número representa o cardinal do conjunto.	No quadrado da direta do modelo de transformação deve ser colocado um numero

2	03	1	Cálculo mental para o estado inicial	C	De posse do estado final e do número relativo o usuário calcula mentalmente o estado inicial	Null	Null	O estado inicial em um problema de transformação pode ser obtido a partir da aplicação da transformação inversa ao estado final da medida.	null
2	06	1	Associação do estado inicial no modelo	C	O usuário posicionou corretamente o número que representa o cardinal do estado inicial no modelo	Quadrado da direita no modelo	Representação do cardinal do estado inicial	O estado inicial em um problema de transformação pode ser obtido a partir da aplicação da transformação inversa ao estado final da medida.	No quadrado da direta do diagrama de transformação deve ser colocado um número

Representação gráfica

No Quadro 4.57, o usuário, antes mesmo de iniciar o problema, deseja pedir ajuda. Em seguida, o sistema emite uma ajuda que automatiza alguns passos da modelagem e ele conclui com sucesso. A seguir, pode ser vista uma representação gráfica do Quadro 4.57.

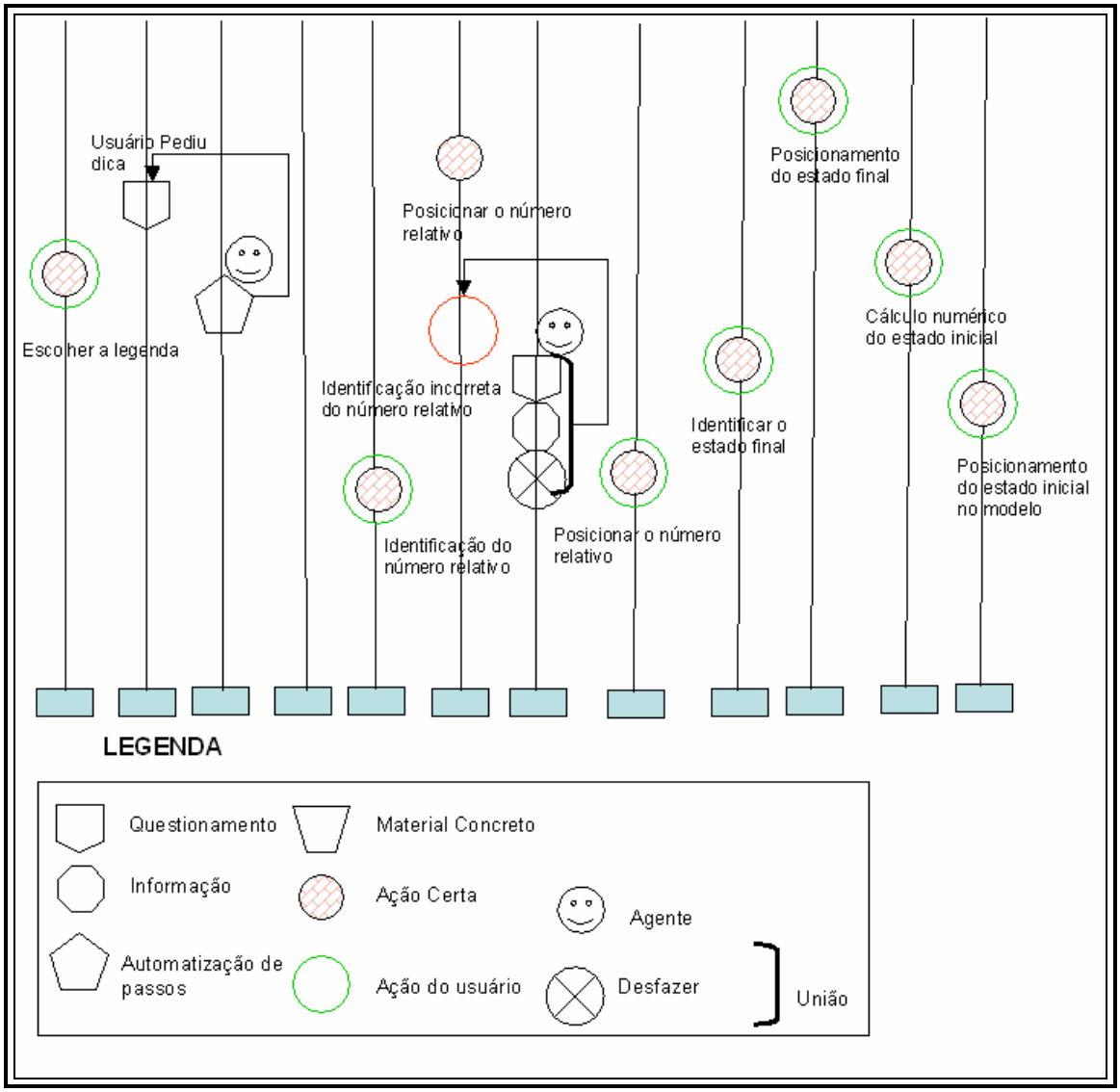


Figura 4.49. Plano parcialmente ordenado do Quadro 59

Na Figura 4.49, o usuário, antes mesmo de iniciar o processo de modelagem, já pediu

ajuda. Esse é um exemplo da emergência de uma necessidade de comunicabilidade identificada nos resultados da análise da comunicabilidade, que pode ser visto na página 114. Uma vez que o sistema atendeu seu pedido, ele prosseguiu no processo de modelagem, errando apenas na inserção do valor relativo.

Resultados sobre a adaptação dos usuários à interface

Como foi dito na página 46, quando explicamos os fundamentos da análise instrumental, o acompanhamento da aprendizagem relacionada ao uso da interface é feito através da verificação da adaptação dos usuários aos artefatos da interface. Aqui, deveriam ser apresentados resultados que demonstram essa adaptação. Todavia, com apenas uma sessão de teste de usabilidade, foi possível fazer: as inferências dos teoremas-em-ato, das regras em ação, e refinar o processo de ajuda. Fica para um trabalho futuro a análise da adaptação, pois para isso é necessário realizar mais de um teste, com os mesmos usuários, para encontrar as regularidades entre as regras em ação e os invariantes, o que, segundo Gomes, (2005), permite acompanhar a aprendizagem relacionada ao uso da interface.

5. Proposta do protótipo

Uma vez concluída a execução das etapas de nossa metodologia (graficamente representada na Figura 4.2, discutiremos as formas de ajuda, o modelo do usuário proposto e a sociedade de agentes, que foram concebidas a partir de todas as técnicas apresentadas até o momento.

Formas de ajuda

Em nossa proposta, existem quatro formas de ajuda: mensagens, automatização de passos da modelagem, ajuda com material concreto e exibição do modelo completo. Abaixo, discutiremos cada uma, ressaltando o seu papel no *Scaffolding* oferecido pela interface.

Mensagens

Explicações sobre a legenda: A maioria dos usuários sentiu necessidade de mais explicações sobre cada legenda. Em (de Souza, 2001), a autora já havia enfatizado que os menus devem ser auto-explicativos. Os protocolos verbais relativos a essa necessidade podem ser vistos na página 121.

Presença de um botão contendo o rótulo, 'Mais dica'. A partir dos protocolos verbais presentes na página 115, alguns usuários apresentaram a necessidade de iniciar o pedido de ajuda. Alguns perguntaram claramente se havia mais dica para a tarefa em execução; outros apenas diziam que estavam em dúvida na tarefa em execução.

Mensagens de questionamentos: As mensagens adotadas pelo *AnimalWatch* e pelo Agente Diagnóstico foram utilizadas como um método para chamar a atenção do usuário para pontos que ele não leu, ou se os leu, não os entendeu corretamente. A partir do uso dessas mensagens, a interface faz com que o usuário leia mais uma vez a tarefa que estava tentando realizar e reflita sobre os passos anteriores e futuros. Um exemplo da reavaliação de planos executada pelo usuário pode ser visto nos protocolos verbais

presentes a partir no Quadro 4.15.

Mensagens de sucesso: Surgiu, no discurso de alguns usuários, a necessidade de receber mensagens indicativas de sucesso. Percebemos que, no momento em que não houve resposta, os usuários ficaram em dúvida se havia feito correto ou não[2]. Sendo assim, incorporamos aos nossos tipos de ajuda mensagens indicativas de sucesso, que informam ao usuário que ele está indo pelo caminho certo. Essa necessidade faz lembrar o fato de que o *Scaffolding* é um reforço e, como tal, pode ser oferecido no momento que for necessário, não estando condicionado a uma situação de erro ou acerto.

Mensagens informativas: Outro ponto percebido durante a análise qualitativa e que apareceu em todos os discursos dos usuários foi a necessidade de mensagens informativas sobre o processo de modelagem enquanto ele está ocorrendo. Em outras palavras, informar ao usuário qual o próximo passo a ser dado em direção à finalização da modelagem[3]. Essa necessidade foi percebida em diversos pontos em que os usuários faziam o seguinte comentário: "*E, agora, o que devo fazer?*". Esse comentário surgiu em todas as situações de dúvida, mesmo quando eles haviam acertado a tarefa.

Explicações sobre as metáforas: Além das mensagens de sucesso e de explicações sobre o processo de modelagem, percebeu-se, durante o uso das metáforas de ajuda, a saber, "Máquina de refrigerantes e a fábricas de quadradinhos", que era necessário inserir uma opção para explicar melhor a metáfora como ela funcionava[4]. Embora todas as metáforas venham seguidas de explicações, algumas vezes, eles não liam a explicação e perguntavam ao computador como a metáfora funcionava. O computador, por sua vez, exibia novamente a mensagem explicativa, mas, ainda assim, era insuficiente. Logo, resolvemos inserir, em todas as metáforas, um botão, contendo um *link* sonoro, que, no momento em que o usuário passar o mouse em cima do *link*, ouvirá uma explicação sobre a metáfora, na qual conterá a função da metáfora dentro da interface, e como ela será manipulada.

---

[2] Na página 118 pode ser visto os protocolos verbais relativos a esta necessidade.
[3] Os protocolos verbais relativos a esta necessidade se encontram na página 119.

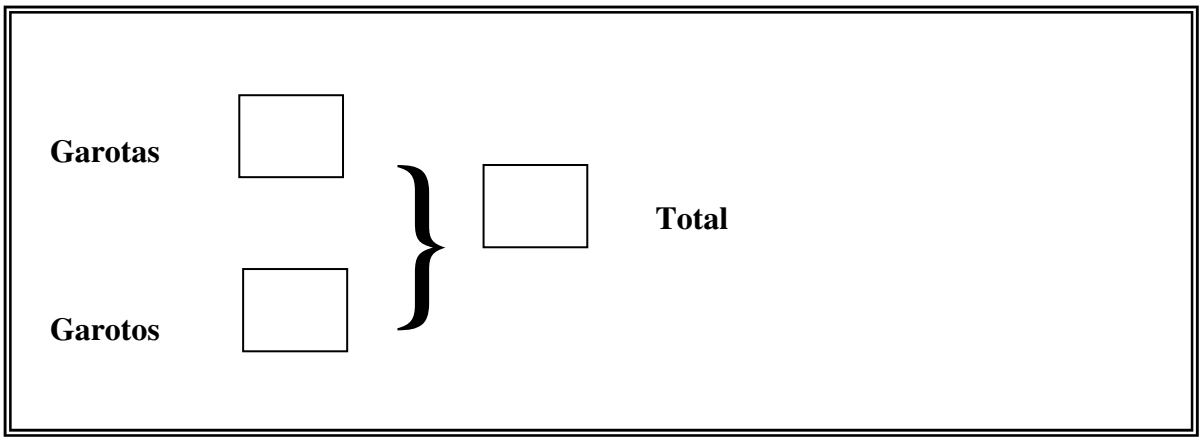
[4] Os protocolos verbais relativos a essa necessidade se encontram na página 121.

Automatização de passos da modelagem

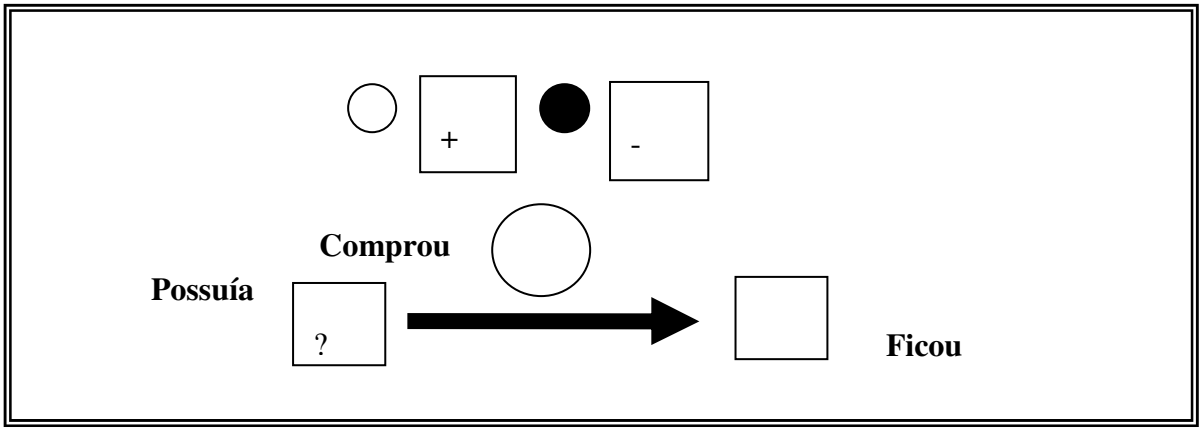
Durante o teste de usabilidade, percebemos, que alguns usuários tinham extrema dificuldade em posicionar os elementos no modelo. Essas necessidades foram identificadas na página 105, em que houve a mobilização de uma proposição incorreta sobre o sinal do número relativo. Além dessa necessidade, alguns usuários demonstraram dificuldade por não conhecerem as regras de utilização dos artefatos. Esse problema foi identificado na página 105. A partir dessas necessidades, resolvemos automatizar alguns passos da tarefa, de modo que o usuário tivesse sua tarefa simplificada. A seguir, oferecemos alguns exemplos de automatização utilizados.

- Inserção de um modelo de composição quase pronto, contendo o posicionamento de cada parte, uma legenda ao lado da representação dos números naturais e relativos no diagrama, indicando que parte do texto deve ser arrastada para lá. Avaliemos as tarefas a seguir:

"Ao redor da mesa existem 4 garotas e 5 garotos. Quantos pessoas têm ao redor da mesa?"



"Maria comprou uma caixa de bombons por 4 reais e ainda ficou com 4 reais. Quanto ela possuía antes de fazer a compra"



Na página 105, encontram-se os protocolos verbais, que demonstram a efetividade dessa estratégia, além dos protocolos. Na página 167, encontram-se as representações gráficas das ações. Nessas figuras, é possível ver claramente o impacto que a automatização de tarefas tem sobre o processo de modelagem do problema.

Mostrar modelo completo

A alternativa oferecida pelo Ecolab, na página 65, foi incorporada em nossa solução para os casos em que nenhum tipo de ajuda for efetivo. Percebemos que, em alguns casos, por exemplo, como visto na página 137, que o usuário, embora tenha recebido muita ajuda, continuava errando. Nesse cenário negativo, propomos a construção e exibição do modelo para que o usuário possa inspecionar os relacionamentos criados. Dessa forma, ele pode ter acesso à forma correta de resolução e evitar as tentativas infrutíferas.

Ajuda utilizando metáforas de materiais concretos

A utilização de material concreto, no ensino da matemática, é muito discutida na literatura. Segundo Kamii (2001), no processo de aprendizagem, acontece a formação de conceitos abstratos, os quais também são obtidos a partir da utilização de materiais concretos. Os mesmos autores discutem que o uso de materiais concretos tem sua aplicação condicionada. Às vezes funciona; outras vezes, não. Depende da maneira como é colocado e do estágio de desenvolvimento em que o aprendiz está. Isso acontece porque os conceitos aprendidos não estão nos materiais; eles apenas favorecem a sua formação. Segundo Vygotsky, (2001), Meira (1998) *apud* Da Rocha Falcão, (2005), o

poder de representação dos materiais concretos utilizados como ferramentas didáticas não são heranças destes dispositivos; contrariamente, são construídos em um contexto de uso social.

No que diz respeito à aprendizagem conseqüente do uso dos materiais, segundo Vygotsky, (2001), Meira (1998) *apud* Da Rocha Falcão, (2005), a formação de conceitos abstratos, lógicos e matemáticos e de relações, não surge do conhecimento empírico. Eles se originam na mente de cada aprendiz individualmente. Apesar de os materiais concretos serem largamente utilizados, Kamii (2001) conclui que sua utilidade depende do tipo de pensamento, que irá estimular no aprendiz, e que seu uso deve incentivar os aprendizes a resolverem problemas. Complementando (Da Rocha Falcão e Selva, 2002) dizem que a utilização combinada de múltiplas formas de representação, metáforas de material concreto, gráficos e representações textuais contribui para o desenvolvimento de conceitos no campo conceitual das estruturas aditivas.

Segundo Hebenstreint (1987) *apud* Gravina (1998) "*o computador permite criar um novo tipo de objeto - os objetos 'concreto-abstratos'. Concretos porque existem na tela do computador e podem ser manipulados; abstratos por se tratarem de realizações feitas a partir de construções mentais*". Neste trabalho, o material concreto é representado por quadrados manipuláveis de mesmo tamanho, cada um deles corresponde a uma unidade. Além desses quadradinhos, foram criadas metáforas com o propósito de oferecer ao usuário um problema concreto similar ao que ele estava tentando resolver.

Os pensamentos que pretendemos estimular com o uso do material concreto Kamii (2001) são as proposições verdadeiras, tanto sobre os conceitos quanto sobre o uso da interface, que emergiram durante o teste de usabilidade. Essas proposições podem ser vistos na97.

O uso do material concreto, utilizado no *AnimalWatch*, foi incorporado no nosso projeto como uma alternativa para fazer a reconstrução do conhecimento, ou seja, fazê-lo construir as abstrações que precisa para resolver o problema proposto. Neste trabalho, a manipulação dos quadradinhos ajuda aos usuários a entender a correspondência um-a-um. (Magina, Campos, Nunes e Gitirana, 2000). Cada quadradinho corresponde um

número e este número não pode se repetir. Estes quadradinhos representam as unidades que formam os cardinais dos conjuntos envolvidos no problema proposto e, se o usuário colocar o *mouse* em cima de qualquer um deles, verá um *tooltip* informando que o quadradinho pode ser arrastado. Além dos quadradinhos, criamos algumas brincadeiras com o propósito de simular uma situação concreta semelhante à situação abstrata em resolução. Abaixo, se seguem as metáforas de ajuda propostas.

Metáfora utilizando diagrama de Euler Vein

Na metáfora usando diagrama de Euler Vein o usuário é convidado a resolver um problema abstrato para unir dois conjuntos em um só. A seguir, na Figura 5.1, apresenta-se a metáfora.

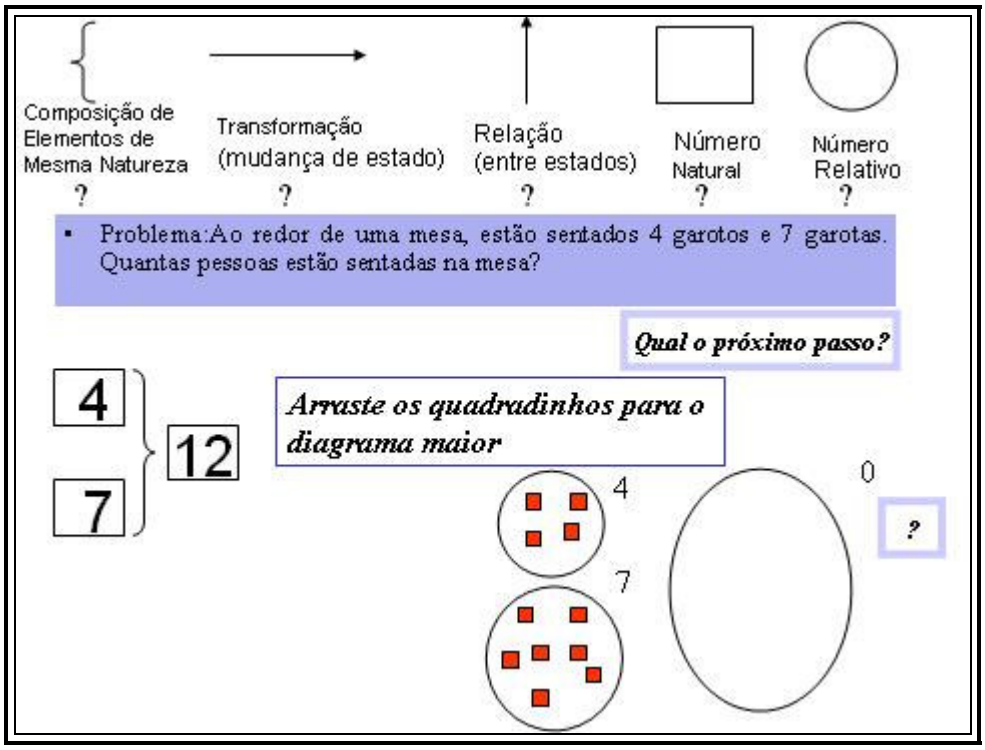


Figura 5.1. Exemplo do digrama de Euler Vein.

Na Figura 5.1, o usuário é convidado a manipular os quadradinhos, utilizando '*drag and drop*' para o circulo maior. Tendo em vista a resolução desse problema concreto, esperamos que o usuário seja capaz de resolver o problema abstrato proposto.

Metáfora para transformação negativa

Na metáfora da transformação negativa, imaginamos uma máquina de refrigerantes, através da qual o usuário irá fazer uma compra de refrigerante. Inicialmente, ele tem um valor em dinheiro disponível; após a compra, ele tem o valor inicial, que se transformou devido a uma perda em um valor final.

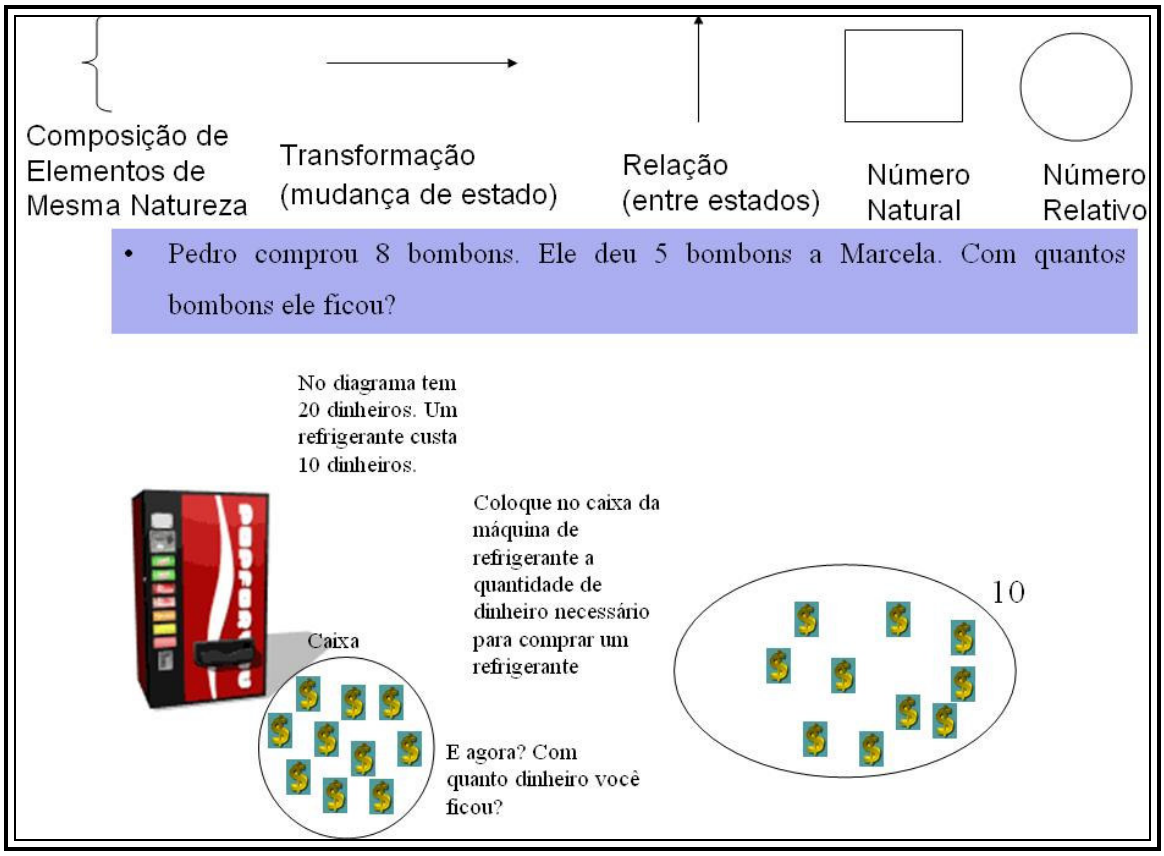


Figura 5.2. Ajuda concreta para transformação negativa.

A Figura 5.2 contém um exemplo de ajuda concreta para a transformação negativa. Nosso objetivo foi propor uma situação em que fosse percebida uma perda de dinheiro em relação à quantidade inicial, acarretando um novo valor, que é o valor final. Novamente, nossa idéia foi conduzir o usuário para uma tarefa de contagem. O sistema exibe a metáfora para o usuário. Em seguida, convida-o para manipular os dinheiros usando '*drag and drop*'. À medida que o dinheiro for retirado do digrama maior, o cardinal ao lado do diagrama será diminuído para refletir a quantidade existente dentro

do diagrama. Nessa metáfora, podem ser questionados, o valor final, o inicial, ou o número que representa o cardinal da relação. Os três elementos da transformação podem ser questionados ao usuário.

Metáfora para transformação positiva

Na transformação positiva, pensamos em uma fábrica, em uma metáfora que fizesse o usuário perceber que uma quantidade estava se transformando em outra, por meio de um ganho. Como estávamos trabalhando com os quadradinhos manipuláveis, imaginamos uma fábrica de quadradinhos.

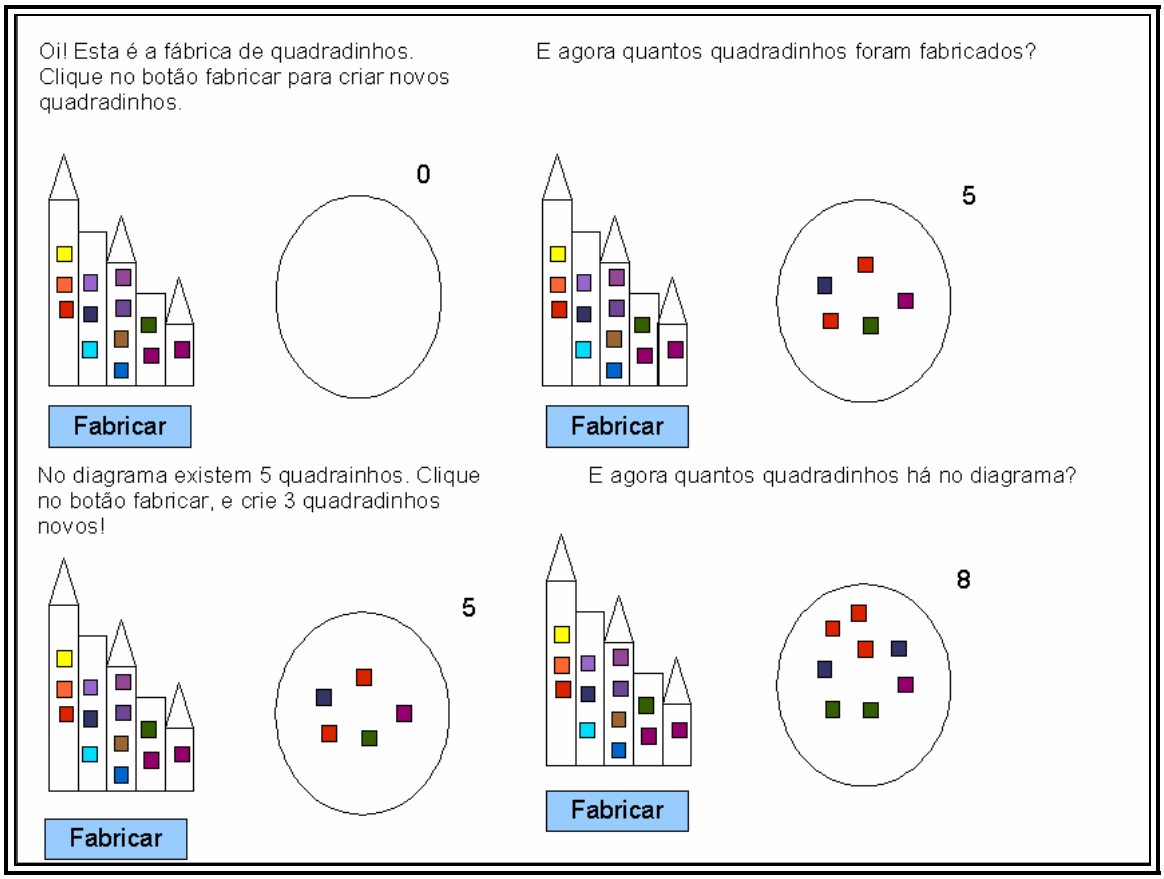


Figura 5.3. Ajuda concreta para transformação positiva

Na Figura 5.2, acima, existem 4 quadrantes. No lado superior esquerdo, existe uma explicação da metáfora; no lado inferior esquerdo está a descrição da tarefa; no lado superior direito apresenta o resultado após o usuário escolher o botão ‘Fabricar’ 5 vezes.

Finalmente, no lado inferior direito, fazemos a pergunta e, novamente, o usuário é conduzido a efetuar uma contagem. Em todos os casos, ao lado do diagrama está o número que representa o cardinal da quantidade de quadradinhos existentes dentro de cada diagrama.

Metáfora para comparação

Na metáfora de comparação, quisemos fazer perceber ao usuário que havia uma diferença inicial entre as duas quantidades, uma era maior que a outra, e que, além disso, existia uma comparação entre as duas quantidades. A metáfora escolhida foi, portanto, foi a metáfora da régua, que pode ser vista graficamente na figura abaixo.

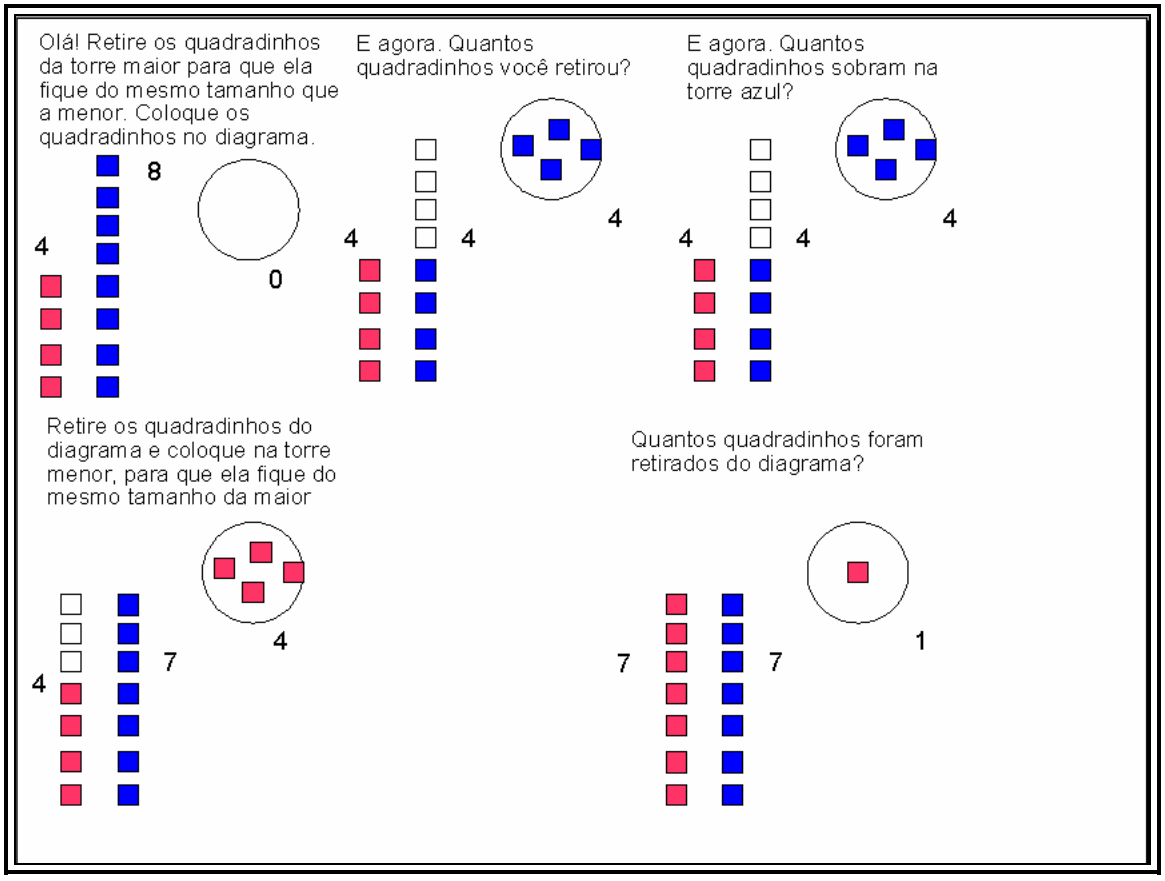


Figura 5.4. Ajuda para comparação.

Na Figura 5.4, acima, tem quatro quadrantes: no primeiro quadrante, encontra-se o problema proposto juntamente com uma tarefa. A tarefa sugere ao usuário que ele

perceba que as duas torres de quadradinhos são de tamanhos diferentes e que, portanto, ele pode retirar quadradinhos de maneira a torná-las iguais. Em seguida, ainda no primeiro quadrante, vem a primeira pergunta, que motiva o usuário a contar quantos quadradinhos foram retirados. No segundo quadrante, o usuário é motivado a contar quantos quadradinhos sobraram. No terceiro quadrante, temos o processo inverso. Nesse caso, o usuário é convidado a inserir quadradinhos na torre menor, de modo que as duas fiquem do mesmo tamanho. Novamente, nos dois casos, o usuário é conduzido para uma tarefa de contagem.

Modelo de Usuário Proposto

A partir dos resultados presentes no Quadro 4.10, substituímos o campo 'nome da tarefa' da dimensão diagnóstico da tarefa, pelo campo 'tarefa', construído segundo uma Ação Instrumental, como foi descrito no Quadro 4.45. Dessa forma, o Quadro 4.10 foi substituído pelo quadro abaixo com as novas dimensões do modelo do usuário.

Quadro 5.1. Dimensões para o modelo do usuário.

Dimensões	Fonte	Utilização no modelo
Nível de tarefas: complexidade das tarefas	Ecolab	As tarefas podem ser desde as mais fáceis, até as mais complexas. Dentro das categorias de estruturas aditivas aqui utilizadas. Em (Magina et al.,. 2000) as autoras fazem uma organização das tarefas por grau de complexidade.
Partes do conhecimento e fases	Ecolab	Dentre as categorias de estruturas aditivas aqui estudadas, em qual categoria o usuário tem maior domínio e qual a categoria que ele domina menos.
Perfil do aluno: Nome, id idade, sexo.	Agente Diagnóstico	Estes dados identificam unicamente o usuário e podem ser utilizados para mandar mensagens privativas, usando seu nome como parte integrante da mensagem.
Perfil da aprendizagem: Mídia preferida (Som, gráfico, ling. natural.) Nível de escolaridade (1 grau, 2 grau, graduação e pós-graduação.)	Agente Diagnóstico	Estes dados orientam o projetista na construção das mensagens e na forma como o estilo de interação pode ser utilizado. As mensagens poderão ser exibidas com deferentes níveis de abstração; usuários com maior grau de instrução podem receber mensagens mais abstratas e usuários com menor grau de instrução podem receber mensagens mais contextualizadas com o problema em resolução.

Diagnóstico da tarefa Tarefa(Ação Instrumental) Suporte (nenhum|parcial|total) Internalização (0|1) Probabilidade de saber o conteúdo	Agente Diagnóstico Cenários AnimalWatch	Estes dados podem ser utilizados para avaliar a evolução do usuário. O nome da tarefa indica a tarefa que estava sendo realizada. O suporte recebido pelo usuário anteriormente quando tentava realizar a mesma tarefa. Queremos diminuir essa ajuda e quando o atributo internalização estiver com valor 1, a ajuda será removida totalmente. A probabilidade de saber o conteúdo é obtida através do teorema de Bayes Dependendo da probabilidade, o atributo internalização irá para 1 ou 0.

De acordo com o quadro acima, as dimensões 'perfil do aluno ' e 'perfil da aprendizagem' serão coletadas mediante um questionário proposto antes de iniciar a resolução dos problemas na interface. Os valores correspondentes às outras dimensões serão armazenas à medida que o usuário iniciar o uso do sistema.

Uma dificuldade encontrada na construção do modelo do usuário inicial foi a coleta das proposições sobre regras e invariantes. Essa coleta aconteceu através de uma entrevista semi-estruturada focal com os usuários após a resolução de cada problema. Numa situação de uso da interface, sem a aplicação do questionário, esse problema surge novamente, pois segundo Gomes (2005) na inferência dos teoremas-em-ato, mobilizados durante o uso da interface, faz-se necessária à presença de um especialista em educação, ou que seja feita através de uma entrevista com o usuário.

A partir do exposto, assumimos duas condições iniciais:

O usuário não tem nenhuma proposição inicial formada, nem acerca da tarefa, nem sobre os conceitos veiculados na interface. Pela limitação inicial de inferência das proposições, assumimos, nesse ponto, que todos os usuários não possuem nenhuma proposição inicial.

A aprendizagem será acompanhada a partir da adaptação do usuário aos artefatos presentes na interface (Gomes, 2005). À medida que o usuário iniciar o processo de resolução de problemas usando a interface, serão observadas as proposições erradas sobre o uso da mesma. Logo após, essas proposições serão inseridas no modelo do usuário. Para fazer o processo de manutenção do modelo, serão aplicados algoritmos de aprendizagem de máquina para encontrar regularidades de associação entre o uso da

interface – REGRA em ação - e a mobilização de invariantes – Teoremas-em-ato – pois, segundo Gomes (2005), a adaptação do usuário à interface ocorre mediante a mobilização das regras de ação verdadeiras sobre a utilização da interface e essa adaptação acarreta na aprendizagem dos conceitos específicos veiculados pela interface. A Figura 5.5 abaixo, contém uma representação gráfica da adaptação.

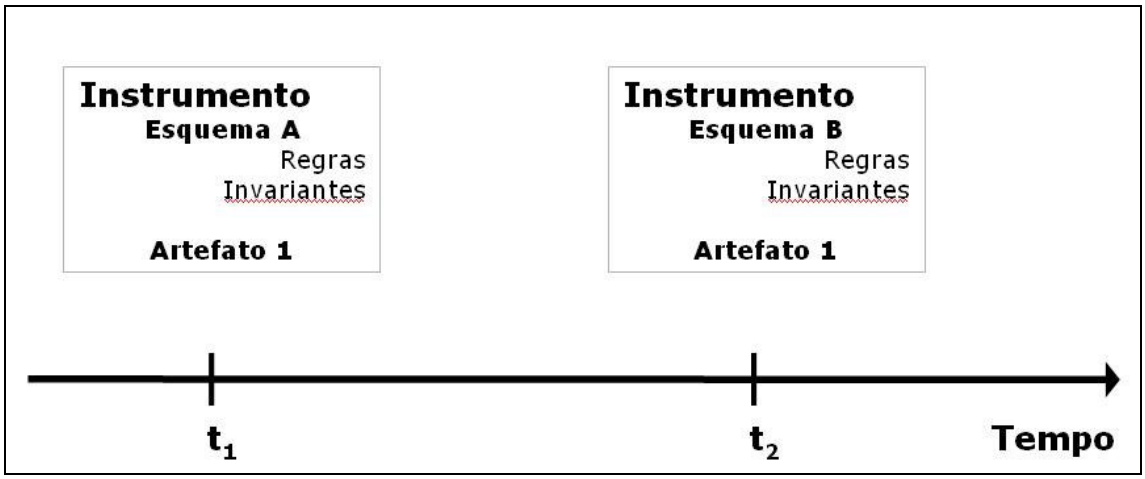


Figura 5.5. Adaptação do usuário à interface.

A Figura 5.5 demonstra, ao longo do tempo, a adaptação do usuário à interface. Para estabelecer uma relação coerente entre a realização seqüencial de tarefas e a aprendizagem de conceitos específicos, Gomes (2005) adotou o conceito de instrumento presente na teoria da gênese de instrumentos (Mounoud, 1970; Ra-bardel, 1995 *apud* Gomes, 2005). Para os mesmos autores, um instrumento existe quando um esquema mental se adapta a uma parte de uma interface e organiza ações específicas com esse artefato. Os Artefatos são partes da interface e meios para conseguir um objetivo (Gomes, 2005). Para encontrar regularidades que comprovem a adaptação usaremos algoritmos de aprendizagem de máquina. Um estudo sobre a aplicação de algoritmos de aprendizagem de máquina, em ações instrumentais, pode ser encontrado em (Queiroz, 2002).

Modelos estatísticos preditivos: Construção e Manutenção

De acordo Rosatteli e Tedesco (2003), um dos métodos utilizados para modelagem de usuário é o uso de modelos estatísticos preditivos. Segundo as mesmas autoras a Aprendizagem de Máquina e o raciocínio, sob incerteza, geram uma variedade de técnicas que, juntas, formam o que se denominam modelos estatísticos preditivos, tais como Árvores de Decisão, Redes Neurais e Redes Bayesianas. O uso de modelos estatísticos preditivos para o MU – Modelo de Usuário - é relativamente recente e foi

estimulado pelas grandes quantidades de dados disponíveis eletronicamente e pelos avanços na AM (*Ibid.*). A função preditiva faz a predição do desempenho do aluno e suas possibilidades de aprendizagem. Ela pode ser aplicada, também, para investigar os efeitos das ações didáticas dos tutores, Por intermédio de predição de estratégias adequadas a serem aplicadas pelo tutor (Andrade, 2003).

Em nossa interface, os modelos de usuário são modelos estatísticos preditivos, criados através da indução de regras de decisão, obtidas a partir da aplicação de algoritmos de Indução de Regras, como, por exemplo, o (1) J48.PART e o (2) *Apriori,* que é usado para inferir regras de associação. (1) O j48. PART é uma versão mais recente do algoritmo de árvore de decisão C4.5 (Quinlan, 1993). Seus resultados são regras utilizadas para aprender o atributo identificado como atributo classe. A Figura 5.6 exemplifica uma àrvore de decisão. (2) No processo de extração de regras de associação estamos interessados em predizer qualquer atributo e não apenas o atributo classe. Dessa forma, existe uma liberdade para escolher algumas combinações de atributos, que seja interessante para o contexto. Queremos observar a regularidade de associações entre a mobilização de regras sobre o uso da interface e os invariantes que emergiram no teste de usabilidade. Em (Gomes *et al.*, 2003), os autores já haviam proposto a criação de modelos de usuário a partir das ações instrumentais, usando como estudo de caso, conhecimentos sobre geometria presentes no *Cabri Géomètre*.

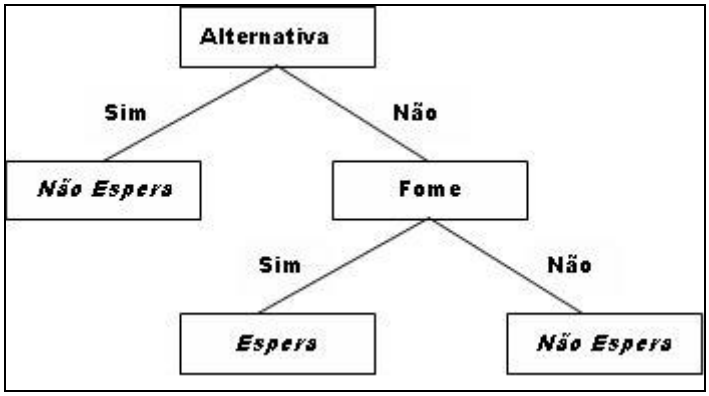


Figura 5.6. Exemplo de arvore de decisão.

A Figura 5.6 corresponde a um cenário de espera em um restaurante. Deseja-se aprender quando iremos esperar por uma mesa e quando não iremos esperar por ela. Dessa forma,

o atributo chamado classe é o atributo ‘espera’. Os ramos da árvore são convertidos em regras, que juntas, fazem uma aproximação de função, a partir da observação dos valores presentes nos outros atributos para inferir o valor do atributo classe.

Fizemos a análise da tarefa com aprendizagem detalhadamente discutida na página 167, porém obtivemos apenas informações qualitativas. Um trabalho futuro é aplicar o mesmo processo descrito em (Gomes *et. al.*, 2003; Queiroz, 2002) para obter resultados quantitativos da aprendizagem e construir o modelo do usuário agora, contemplando, além das Ações Instrumentais, também as dimensões presentes no Quadro 4.6.

Agentes Inteligentes

Ao longo desta pesquisa, procurou-se responder a pergunta elaborada da página 6. A metodologia adotada nos possibilitou encontrar evidências da influência que o estilo de interação tem sobre a mobilização de proposições verdadeiras, tanto sobre teoremas-em-ato, quanto sobre regras em ação, como foi descrito por Gomes (2005). Sendo assim, propomos aqui a sociedade de agentes que será utilizado para oferecer o *feedback* instrucional acerca do processo de modelagem do problema. Esses *feedbacks* são as formas de ajuda propostas na página 196. No total, temos quatro formas de ajuda: mensagens; automatização de tarefas; mostrar modelo completo, e exibição de material concreto.

De acordo com Andrade (2003), a justificativa para a utilização da abordagem multiagente deve-se a vários fatores, dentre eles, o peso computacional, através da distribuição de funções entre os diversos agentes; a modularidade, a qual permite que outros agentes possam ser inseridos ou excluídos da sociedade, além das propriedades, que definem um agente como sua habilidade de comunicação, autonomia e interação.

Os agentes presentes, na interface, irão atuar de maneira colaborativa (Wooldridge, 2002), com o objetivo de oferecer ajuda durante a resolução de problemas do campo conceitual das estruturas aditivas. O primeiro passo para a proposição dos agentes foi entender os objetivos presentes na resolução de problemas. Para tanto, construímos um cenário, que nos permitiu derivar tanto a quantidade de agentes, quanto os objetivos de

cada um.

Cenário de atuação dos agentes

Tarefa 1

Maria comprou uma caixa de bombons por R$ 4, 00 e ainda ficou com R$ 4,00. Quanto ela possuía antes de fazer a compra?

Atores

Os atores envolvidos nesse cenário são: o usuário e o monitor, o aluno bolsista, que ajuda ao usuário durante a resolução de problemas.

Contexto

Sarah, uma professora da rede pública, aluna da disciplina de Matemática, é convidada a testar uma ferramenta para o ensino das estruturas aditivas. Ela é avisada de que, durante a resolução de problemas, um tutor, estudante de especialização em educação irá auxiliá-la.

Ambiente

A interface do Gerard utilizada por um usuário durante a resolução de um problema de estruturas aditivas. O estilo de interação da interface é WIMP. Na interface, existe um menu, contendo a legenda de Vergnaud (1986). Um problema, escrito em linguagem natural, botões de abrir, editor, novo, selecionar, desfazer. O Ambiente pode ser visto na Figura 4.14.

Roteiro (*Plot*)

Ela aceita o convite e inicia o uso do sistema. Em seguida, o sistema oferece uma nova situação-problema. Imediatamente o tutor ao lado dela, começa a observar suas ações [NEC 1]. Partindo-se dessa observação, o tutor perceberá quando ajudá-la. Sarah realiza, com sucesso, os primeiros passos da modelagem do problema, porém, durante o posicionamento do número relativo, Sarah erra, e o tutor percebe que o erro foi devido

ao esquecimento do sinal [NEC 2]. Em seguida, o tutor explica a forma correta do posicionamento do número relativo, mas Sarah não entende e continua errando. O tutor pensa um pouco e se pergunta como poderia ajudá-la de forma que ela pudesse entender [NEC 3]. Depois de algumas tentativas infrutíferas para auxiliar Sarah, o tutor resolve pedir ajuda ao professor de Sarah, que está lecionando a disciplina e conhece suas dificuldades [NEC 4]. O professor resolve ajudar o monitor e, em seguida, sugere ao monitor que utilize a tática pedagógica de automatização de passos [NEC 5]. Sarah fica impaciente e, antes mesmo de receber alguma ajuda, modifica a interface (ambiente) escolhendo o botão 'desfazer'. Embora o tutor tenha recebido uma dica do professor sobre como ajudá-la, não houve tempo para isso, pois ela executou outra tarefa [NEC 6]. O tutor tenta fazer a sugestão dada pelo professor, mas percebe que Sarah usou o botão 'desfazer' e iniciou a tarefa novamente. O tutor, então, não exibe a dica dada pelo professor e continua o processo de observação do usuário.

Quadro 5.2. Necessidades do tutor.

Ações	Necessidades
O usuário inicia a resolução de problemas	[NEC 1] O tutor deve observar o usuário.
O usuário erra	[NEC2] O tutor deve conhecer a forma correta de resolução.
Embora tenha recebido uma ajuda o usuário continua errado	[NEC 3] O tutor deve deliberar sobre como oferecer ajuda.
O tutor não sabe o que fazer e pede ajuda ao professor de Sarah	[NEC 4] O tutor deve conhecer as necessidades do usuário.
O professor sugere que seja feita uma automatização de passos	[NEC 5] O tutor deve possuir um conjunto de conteúdos .pedagógicos.
O usuário não espera pela ajuda e modifica o ambiente enquanto o tutor está deliberando e recebendo informações para oferecer uma ajuda efetiva.	[NEC 6] O tutor deve ser capaz de tratar o não determinismo do ambiente.

O Quadro 5.2 contém as necessidades que emergiram durante o cenário de 'tutoramento'. Essas necessidades serão transformadas em requisitos e, a partir de então, faremos a proposição da arquitetura de agentes.

Requisitos

RFA 1.1 Deve haver um agente responsável por observar o usuário.

RFA 1.2 O agente deve conhecer a forma correta de resolução do problema.

RFA 1.3 O agente deve deliberar sobre a melhor forma de ajuda.

RFA 1.4 O agente deve conhecer o que o usuário sabe, e o que ele não sabe.

RFA 1.5 O agente deve possuir um conjunto de conteúdos pedagógicos.

RFA 1.6 O agente deve ser capaz de tratar situações em que o próximo estado do ambiente não é totalmente determinado pelo estado atual e pela ação executada pelo agente.

Tendo em vista os requisitos acima, se percebeu que o objetivo principal é aprendizagem de conceitos sobre o campo conceitual das estruturas aditivas. A partir desse primeiro, deriva-se outros objetivos os quais podem ser melhor visualizados na Figura 5.7.

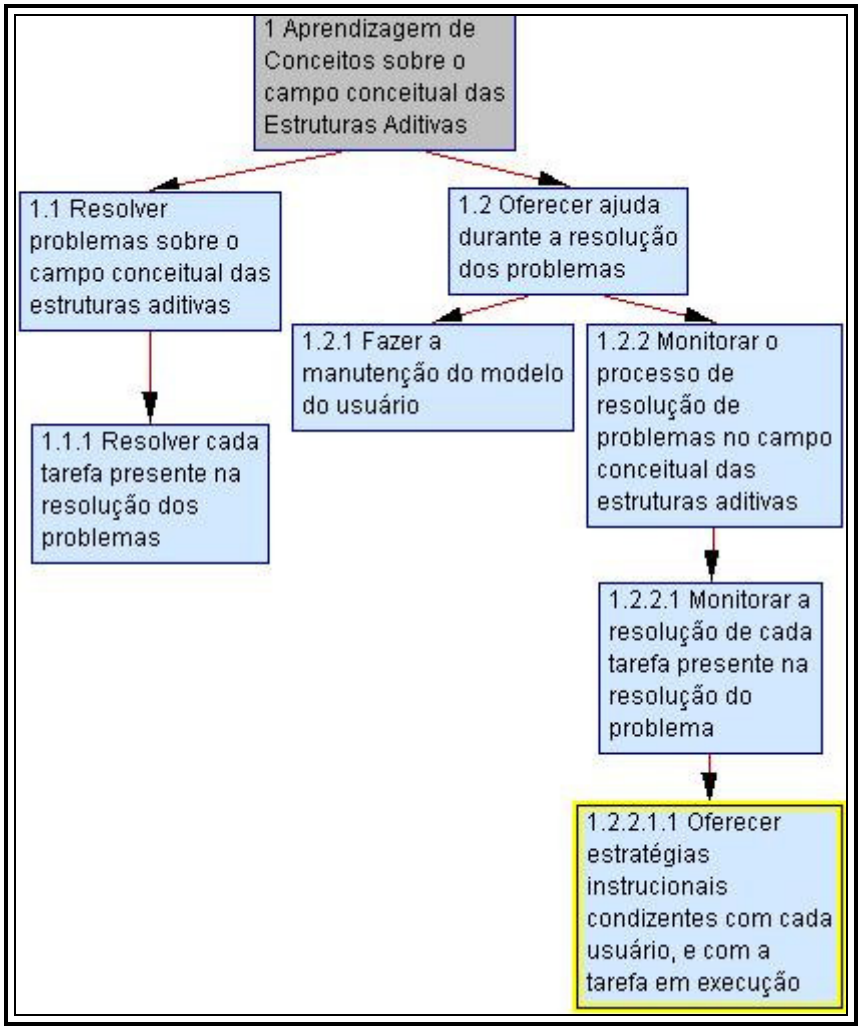


Figura 5.7. Objetivos na resolução de problemas.

A Figura 5.7 contém a hierarquia de objetivos associada ao processo de resolução de problemas. O objetivo 1.1 pertence ao usuário que, para aprender necessita resolver um grande número de situações-problema (Vergnaud, 1986). O objetivo 1.2 pertence à interface que, durante a resolução dos problemas, pode oferecer ajuda, de maneira que possa conduzir o usuário à construção de hipóteses e à verificação das mesmas. Para oferecer ajuda durante a resolução dos problemas, a interface precisa monitorar o processo de resolução dos problemas através do objetivo 1.1.2 e fazer o acompanhamento da evolução do usuário na aprendizagem de conceitos por meio da construção e manutenção do modelo do usuário. Finalmente, a interface precisa

encontrar a estratégia instrucional mais apropriada à tarefa em execução e ao usuário. Além dos objetivos aqui discutidos, a interface deve ser capaz de tratar o não determinismo (Russel e Norvig, 2004, p. 41). Para alcançar esses três objetivos, diferentes modelou-se uma sociedade de agentes composta de três agentes.

Tipos de Conhecimento e Raciocínio

Baseando-se nos os requisitos encontrados no cenário descrito na página 211, o tutor deve possuir dois tipos de conhecimento: (1) conhecimento sobre as regras da tarefa em execução, (2) conhecimento sobre o usuário que está executando a tarefa. No primeiro caso, será construída uma ontologia composta de todos os elementos do domínio das estruturas aditivas com a legenda de (Vergnaud, 1986) e todas as regras em ações verdadeiras, como descritas na página 112. No segundo caso, será construído um modelo de usuário com as informações presentes no Quadro 5.1 e usando os algoritmos descritos na página 208. Para o processo de inferência nas bases de conhecimentos acima, os agentes utilizaram o raciocínio dedutivo, pois, a partir do conhecimento representado pelas regras presentes no modelo do usuário, deseja-se aplicá-los aos casos particulares, ou novos casos vindos da interface. A construção da ontologia, do modelo do usuário e os tipos de raciocínio serão refinados em um trabalho futuro. A seguir, uma representação gráfica dos agentes propostos.

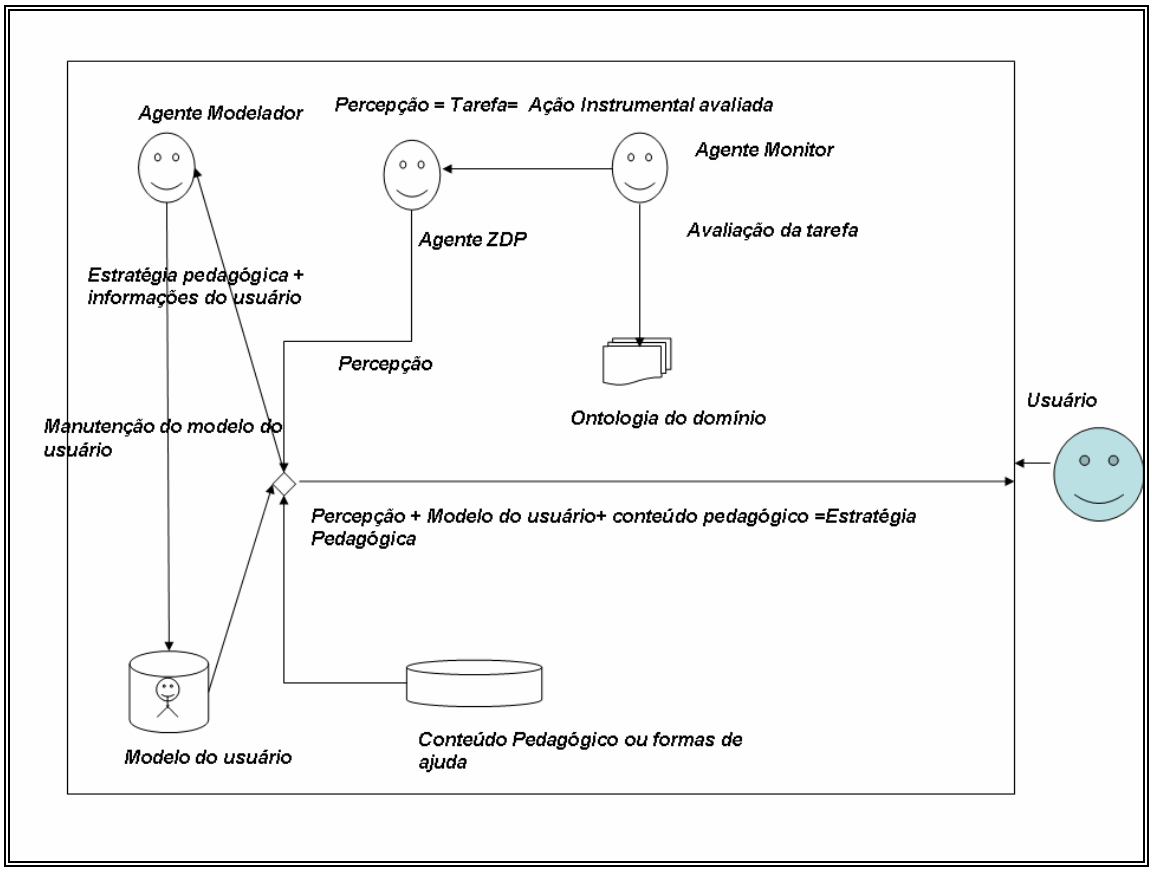


Figura 5.8. Arquitetura de Agentes.

De acordo com a Figura 5.8, o usuário inicia o uso da interface e, logo em seguida, o agente monitor iniciar o processo de monitoração das ações realizadas pelo usuário. As percepções montadas pelo Agente Monitor contêm informações relacionadas às tarefas presentes no processo de modelagem do problema e descritas no Quadro 43 Apresentamos todas as tarefas realizadas com a interface. Na primeira coluna estão os identificadores. Na segunda coluna, está a descrição de cada ação. Iniciam-se com as letras 'AG' as tarefas executadas pelos agentes na interface, usando os artefatos disponíveis.

Sendo assim, ele recebe as informações, cria uma ação instrumental, e em seguida, insere a avaliação da ação no campo 'Av', presente no Quadro 4.45, como sendo verdadeira ou falsa. Essa avaliação será feita mediante a comparação da ação realizada, com as ações corretamente descritas na ontologia do domínio. Depois o Agente Monitor repassa a percepção para o Agente ZDP, este, por sua vez, de posse da tarefa

em execução, recupera as informações constantes no modelo do usuário e, em seguida, consulta o conteúdo pedagógico disponível para sugerir a estratégia instrucional. Uma vez sugerida a estratégia instrucional, ela terá dois destinos. No primeiro, a estratégia será enviada para a interface, sendo visualizada pelo usuário. No segundo destino a estratégia será enviada para o Agente Modelador, que é responsável para fazer o processo de manutenção do modelo do usuário. Esse processo envolve a inserção de um novo caso na base de conhecimento do Agente Modelador e a aplicação periódica de algoritmos de aprendizagem de máquina como descritos na página 208.

Segundo Russel e Norvig (2004), antes de iniciar a construção dos agentes, devemos analisar o ambiente da tarefa, para cada agente, o qual é composto por Percepções, Ações, Objetivos e Ambiente. Finalmente, escolheremos a arquitetura de cada agente em função das características do ambiente e definiremos o protocolo de comunicação entre eles.

Agente Monitor

Esse agente é responsável para fazer o monitoramento das ações executadas na interface, compor uma percepção, e em seguida enviar para o Agente ZDP. A seguir, a Figura 5.9 representativa do Agente Monitor e suas ações dentro da interface.

Cenário

Roteiro (*Plot*): O Agente Monitor observa o usuário e captura uma ação de '*drag and drop*' executada na interface. Em seguida, ele compara a ação executada com as ações corretamente descritas na ontologia do domínio. Feita avaliação, o Agente passará a ação avaliada para o Agente ZDP. A figura abaixo exemplifica esse cenário.

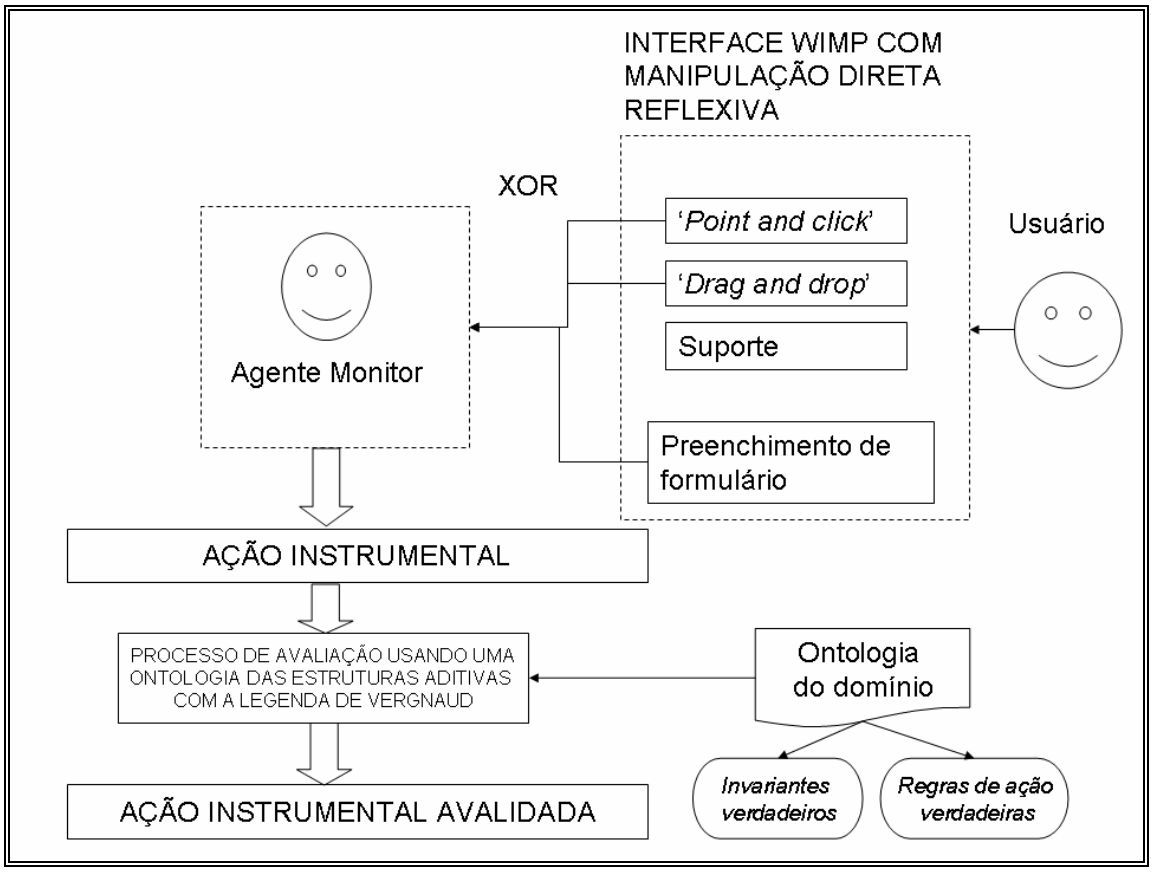


Figura 5.9. Ações do Agente Monitor.

PAGE

Percepções: Ações realizadas na interface, frutos de '*point and click*', '*drag and drop*', ou entrada de dados em campos texto. Por exemplo, na tarefa de identificar os cardinais do conjunto, o usuário utiliza o '*point and click*' em cima do número que representa o cardinal identificado. Para posicioná-lo no modelo, o usuário faz um '*drag and drop*' e leva o número identificado até o modelo. Esse processo se repete até que, finalmente, o usuário entre com o resultado da operação com a inserção de um número em um campo texto. Mais objetivamente, temos que as percepções do Agente Monitor são:

Número identificado através de "*point and click*";

Posicionamento de número realizado através de "*drag and drop*";

Número inserido: através de preenchimento de formulário.

Cada percepção será modelada segundo uma ação instrumental, como descrita no Quadro 4.45. Feito isso, o Agente Monitor irá comparar a ação recuperada da interface com as ações corretamente descritas na ontologia do domínio. Após a comparação, o campo Av será preenchido com o valor certo ou errado. Concluída a avaliação a Ação Instrumental será, então, repassada para o Agente ZDP. Suas ações são montar a percepção para o Agente ZDP, e seus objetivos são monitorar as ações na interface.

Ambiente

Estratégico: Segundo Russel e Norvig (2004), é dito estratégico quando ele é sempre determinístico, exceto pelas ações de outros agentes. No ambiente, que ora discutimos, alem do Agente ZDP, que exibe as formas de ajuda na interface, o próprio usuário pode modificar a interface, tornando o ambiente estratégico.

Completamente Observável: Os sensores do Agente Monitor permitem acesso completo ao estado do ambiente. O estado é a configuração atual do ambiente, composta por: situação-problema a resolver, ação executada, modelo em construção e presença ou não de ajuda. Abaixo, temos a Figura 5.10, que representa um estado do ambiente.

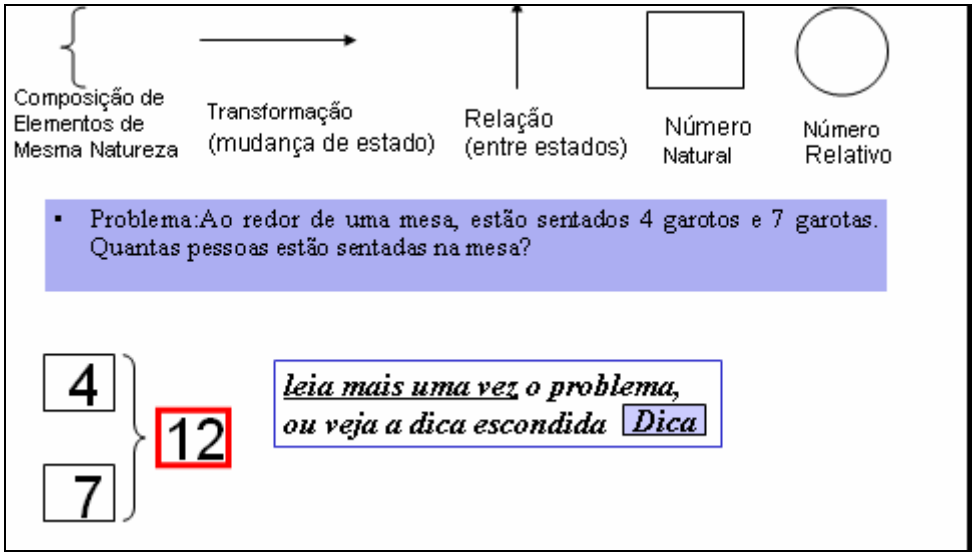


Figura 5.10. Exemplo de estado do ambiente.

Na Figura 5.10, encontra-se um exemplo de estado do ambiente composto pela configuração atual da interface, que contém: uma situação-problema em resolução, o modelo em construção, a ultima ação realizada, que, nesse caso, foi errada, e uma dica exibida para o usuário.

Episódico: Pois a experiência do Agente Monitor é dividida em episódios atômicos. Cada episódio consiste na percepção do agente e, depois, na execução de uma ação.

Dinâmico: Enquanto o agente está avaliando uma ação, o usuário pode executar outra ação, por exemplo, desfazer a ação anterior.

Discreto: O ambiente possui um número finito de estados possíveis, o agente possui um conjunto discreto de percepções e ações. A quantidade de estados é formada pela cardinalidade de todas as possíveis configurações do ambiente. A figura, abaixo, contém a explicação e os resultados para a quantidade de estados possíveis no ambiente.

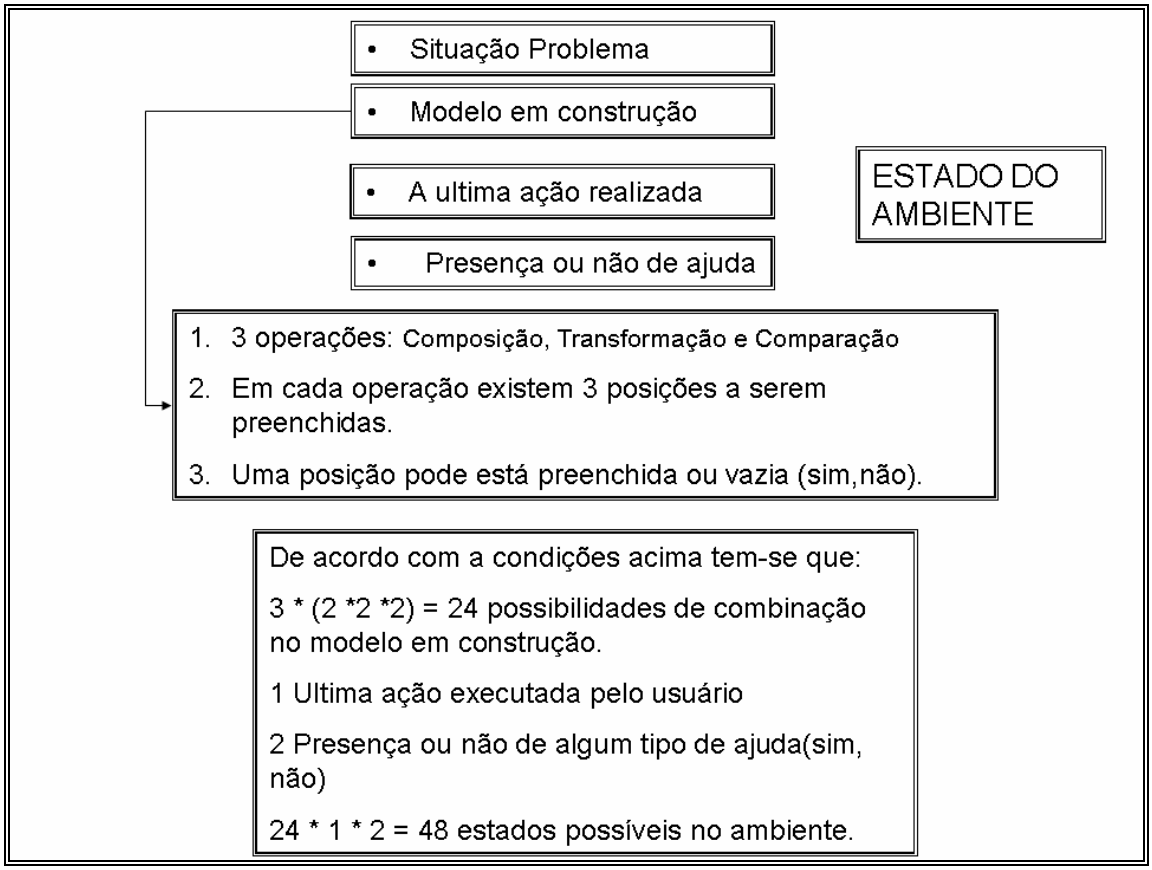


Figura 5.11. Quantidade de estados possíveis no ambiente do Agente Monitor.

Como se observou na Figura 5.11, existem quarenta e oito estados possíveis do ambiente. Além disso, como as ações são discretas, pois são as formas de ajuda descritas na página 196, e as percepções também são discretas, conforme descrição na página 218. Por tais motivos o ambiente foi categorizado como discreto.

MultiAgente: Pelo Cenário descrito acima na página 211 , percebe-se a divisão de tarefas no processo de 'tutoramento', além da distribuição de informações.

Arquitetura

De acordo com os requisitos extraídos do cenário descrito na página 211, vemos que o ambiente pode ser modificado enquanto o agente está deliberando para avaliar a ação como verdadeira ou falsa. Porém, nesse momento, é irrelevante para o Agente Monitor esse fato. Ele só precisa avaliar as ações executadas pelo usuário como certas ou erradas e, em seguida, disponibilizar para o Agente ZDP. Dessa forma, a arquitetura escolhida foi o agente reativo simples.

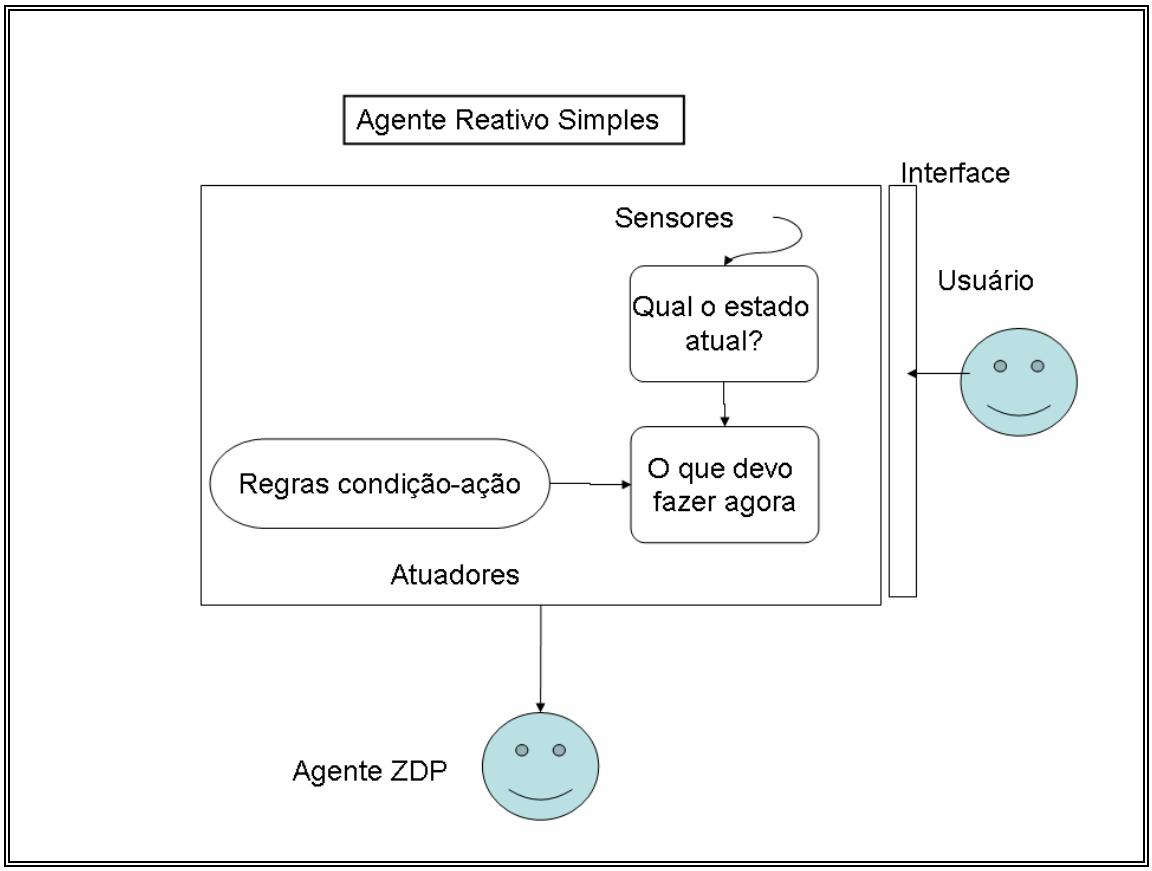


Figura 5.12. Arquitetura de Agente Reativo Simples

Na figura acima, o Agente Monitor possui apenas o estado atual do mundo, as regras condição-ação descritas na ontologia do domínio e o módulo que verifica qual a ação que deve ser executada.

Agente ZDP

O Agente ZDP utiliza o conceito de zona de desenvolvimento proximal defendida por Vygotsky, visando transformar habilidades potenciais em habilidades reais e buscando expandir a capacidade de desenvolvimento sociocognitiva do aluno (Andrade, 2003). Nesta pesquisa, o objetivo descrito na página 6 visa ao design de uma sociedade de agentes para o ensino de estruturas aditivas. O conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal é utilizado para denotar que a intenção da ajuda é que ela seja efetiva. Para tanto, realizamos uma metodologia centrada no usuário. No entanto, fica, para um trabalho futuro, a operacionalização da ZDP e o uso de dados quantitativos que indiquem que a instrução está na ZDP que pode emergir da interação entre o estudante e a interface.

Após receber a percepção avaliada do Agente Monitor, o Agente ZDP consulta a base de conteúdos pedagógicos e o modelo preditivo do usuário para saber qual a instrução mais apropriada. De posse da tarefa em execução, das informações inferidas do modelo do usuário e do conteúdo pedagógico, o Agente ZDP cria a estratégia instrucional, a qual é construída em função dessas três informações. Concluída a construção da estratégia, ela é direcionada à interface e disponibilizada para que o Agente Modelador possa inseri-la juntamente com a tarefa em execução. A seguir, a Figura 5.13, que representa as ações realizadas pelo Agente ZDP.

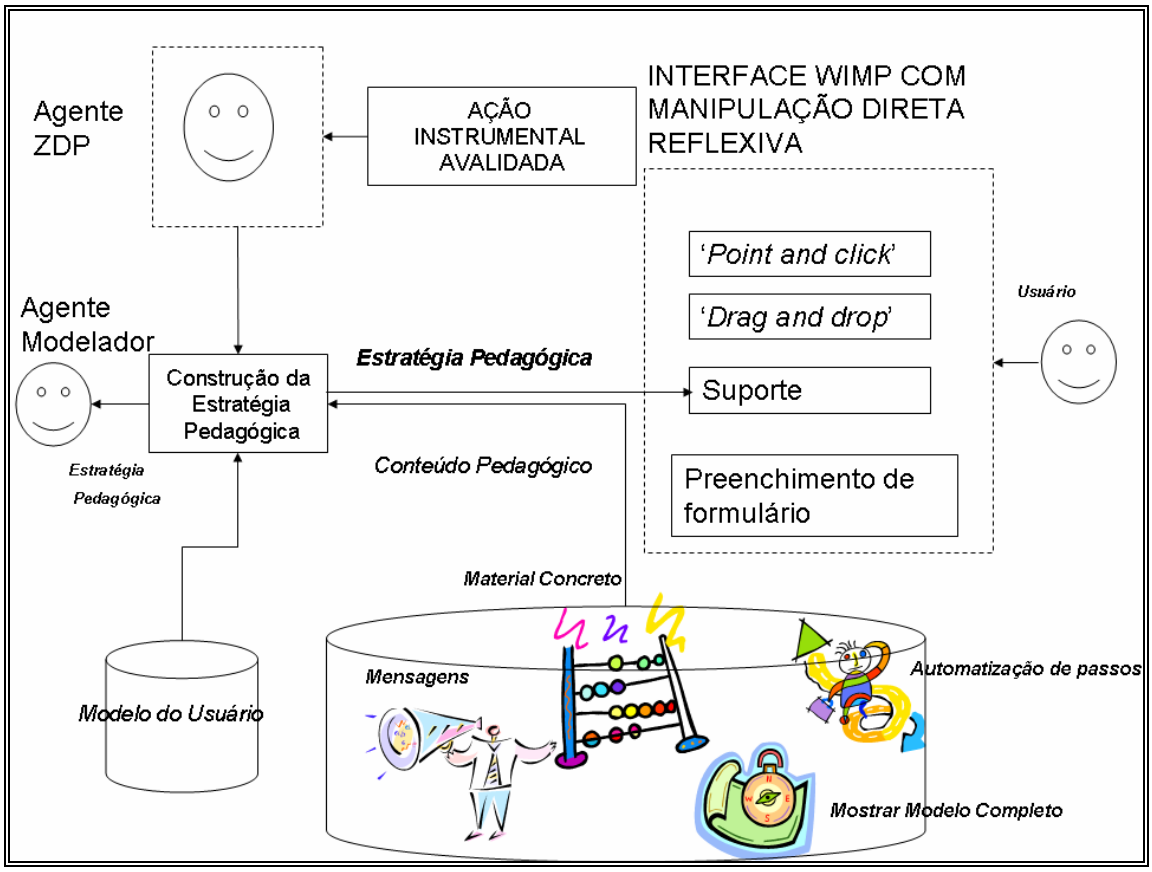


Figura 5.13. Ações do Agente ZDP.

PAGE

Percepções: As percepções do Agente ZDP são ações instrumentais avaliadas juntamente com o estado atual do ambiente. Mais objetivamente, uma percepção desse Agente é composta por:

- Ação Instrumental avaliada;
- Estado Atual do ambiente, que está representado na Figura 5.11.

Ações: Consultar as regras presentes no modelo do usuário, consultar os conteúdos pedagógicos disponíveis, construir a estratégia pedagógica e, finalmente, disponibilizar essa estratégia tanto para o usuário quanto para o Agente Modelador.

Objetivos: Conduzir o usuário à mobilização de proposições verdadeiras, tanto sobre o

uso da interface, quanto sobre os conceitos veiculados na interface. A verificação de que o conteúdo pedagógico utilizado pelo agente faz com que o usuário modifique seus planos iniciais pode ser visto nos protocolos verbais da análise qualitativa.

Ambiente:

O ambiente do Agente ZDP é o mesmo descrito para o Agente Monitor, apenas com uma diferença. Como o ambiente é estratégico, o Agente ZDP precisa verificar, antes de oferecer ajuda, se a configuração do ambiente continua a mesma, ou seja, se o estado atual é igual ao estado que ele tem armazenado. Essa necessidade foi identificada no cenário descrito na página 211. Sendo assim, propomos para esse Agente uma arquitetura de agente baseado em modelos.

Arquitetura

O Agente ZDP precisa tratar situações em que o estado atual é diferente do estado que ele tem armazenado, ou seja, o ambiente é dinâmico e muda enquanto o agente está deliberando. Para resolver esse problema, utilizamos uma arquitetura de agente com estado interno e, informações sobre a evolução do mundo independente das ações executadas pelo agente. Tal arquitetura é chamada baseada em modelos (Russel e Norvig, 2004). Abaixo, na Figura 5.14, apresenta-se a arquitetura.

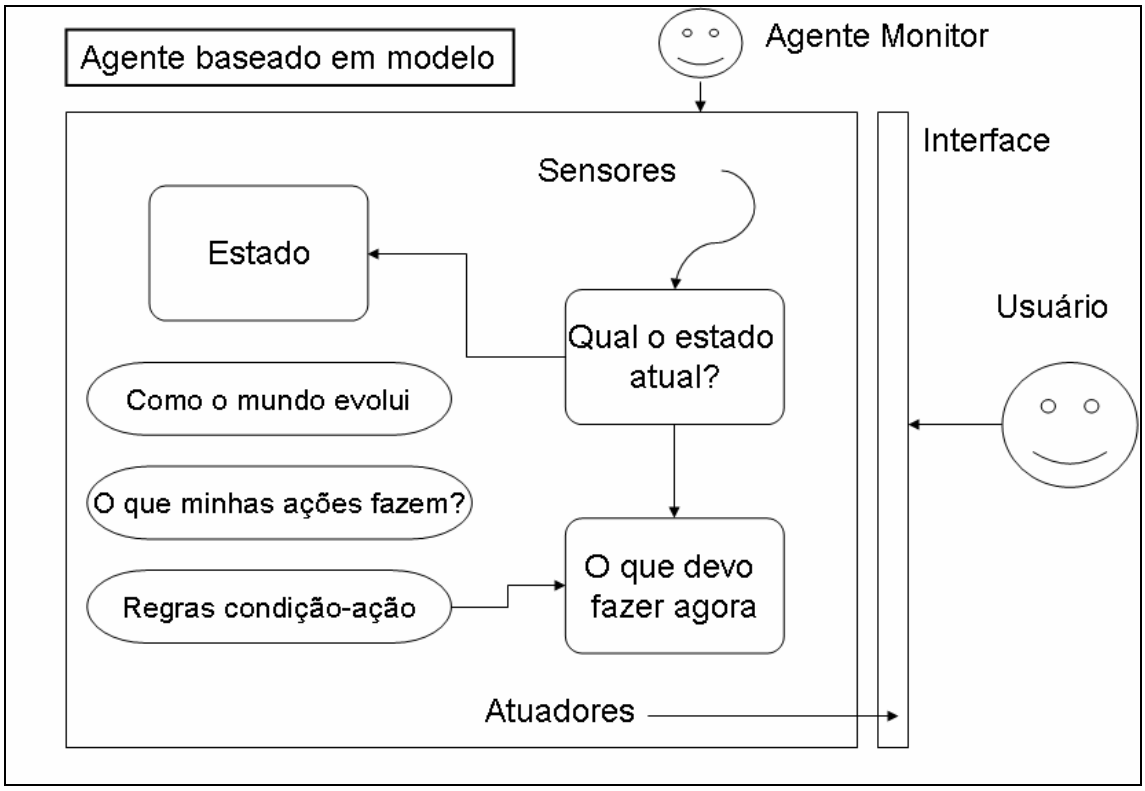


Figura 5.14. Arquitetura de Agente baseada em modelo.

Na Figura 5.14, o Agente ZDP recebe a percepção formatada pelo Agente Monitor e, em seguida, armazena essa percepção como o estado atual do mundo. Além disso, ele armazena os estados anteriores e possui informações sobre a evolução do ambiente independente de suas ações. Na interface que ora propomos o ambiente possui quarenta e oito estados diferentes. O impacto que as ações ou as formas de ajuda têm sobre o ambiente é a inserção de uma estratégia pedagógica na interface, porém o impacto que tal estratégia tem sobre o usuário pode ser visto nos resultados da análise qualitativa, descritos na página 95. As regras condição-ação são aquelas presentes no modelo do usuário, a partir das quais será inferido o tipo de ajuda mais adequado para o usuário e a tarefa em execução.

Agente Modelador

Ao Agente Modelador foi atribuída a responsabilidade de fazer a manutenção do modelo do usuário, recebendo as informações vindas do Agente ZDP e, em seguida, armazenando o novo caso na base de dados, dentro de um período previamente

estabelecido, ele aplicará novamente os algoritmos de aprendizagem de máquina para inferir as regras baseados nos novos casos que estão sendo inseridos a cada tarefa realizada. A seguir, a Figura 5.15, que representa as ações do Agente Modelador.

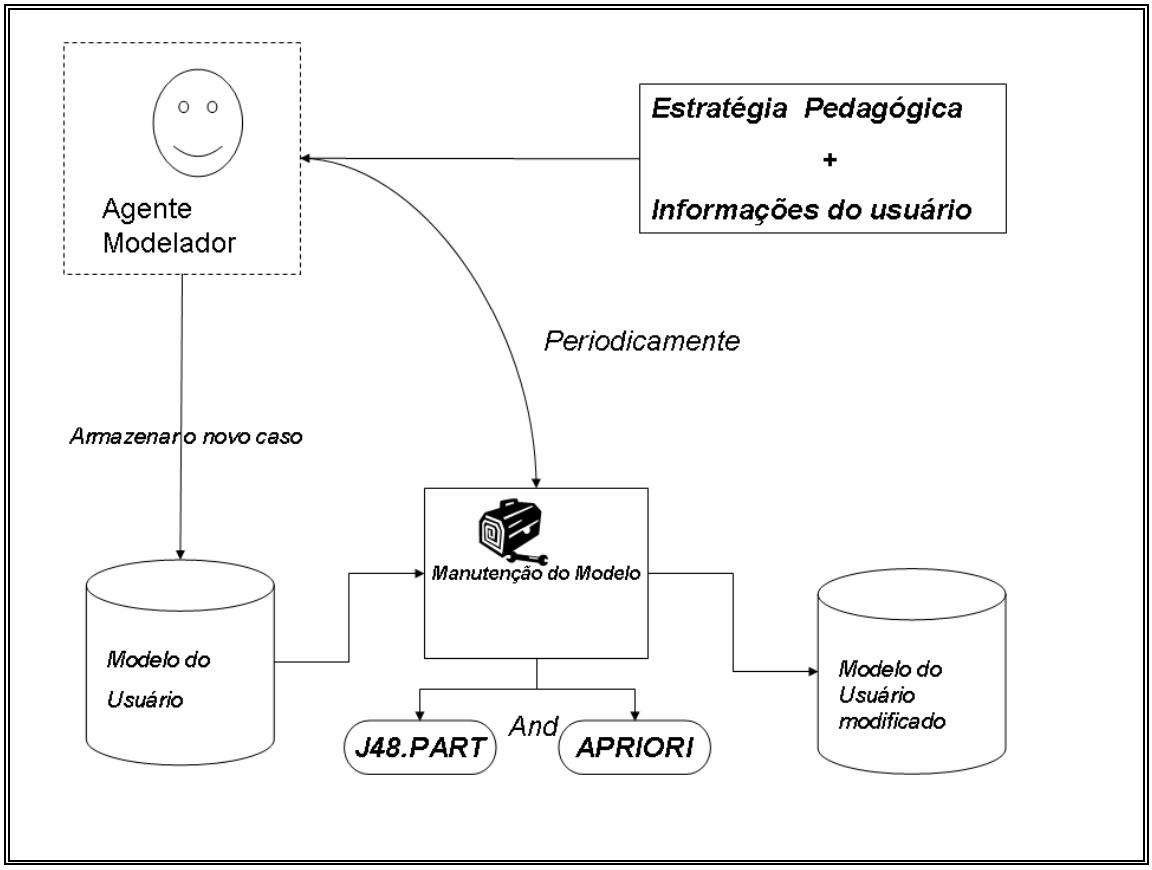


Figura 5.15. Ações do Agente Modelador.

PAGE

Percepções: As percepções do Agente Modelador são as estratégias pedagógicas oferecidas e a identificação do usuário. Mais objetivamente uma percepção desse Agente é composta por:

Estratégia pedagógica. Na Figura 5.8, a estratégia pedagógica é derivada partindo da percepção, do modelo do usuário e do conteúdo pedagógico disponível, e da identificação do usuário. Essa identificação será armazenada junto com o novo caso.

Ações:

Armazenar o novo caso recebido, e periodicamente fazer a manutenção no modelo do usuário. Seus objetivos são: Manter o modelo do usuário atualizado.

Ambiente:

O ambiente do Agente Modelador é o mesmo descrito para o Agente Monitor. Ele não precisa tratar a mesma imprevisibilidade do Agente ZDP, pois ele apenas recebe armazena e periodicamente modifica o modelo do usuário.

Arquitetura

A arquitetura escolhida foi a de uma de agente reativo simples.

Comunicação entre os agentes

Os agentes, que ora propomos, são agentes colaborativos; juntos, eles executam a tarefa de ajuda durante a resolução de problemas. Sendo assim, eles utilizam um mecanismo concorrência cooperativa. Cada agente será operacionalizado como uma *Thread* produtor consumidor. Nesse momento, não se identificou a necessidade de nenhum protocolo de comunicação direta entre os agentes.

6. Conclusões

Dentre os resultados desta pesquisa, está um protótipo para uma interface educativa, considerando os aspectos construtivistas de aprendizagem, obtidos mediante o uso de um estilo de interação capaz de conduzir o aprendiz fazer questionamentos acerca de suas idéias, levantar e testar suas hipóteses.

Dentro da perspectiva construtivista, um software, para ser educativo, deve ser um ambiente interativo, que proporcione ao aprendiz investigar, levantar hipóteses, testá-las e refinar suas idéias iniciais, dessa forma o aprendiz estar construindo o seu próprio conhecimento (Vieira, 1999). Na interface proposta, o estudante aprende conceitos sobre estruturas aditivas, utilizando a legenda proposta por (Vergnaud, 1986). A resolução de situações problema acontece mediante um processo de modelagem do problema. Durante o mesmo, o estudante pode receber algum *feedback* da interface, o qual é utilizado para ajustar as suas idéias (Gravina, 1998), mostrando, assim, a forma correta de modelar o problema desde as operações relacionais até a obtenção do resultado numérico.

Para oferecer um *feedback* capaz de ajudar de maneira efetiva, condizente com o estudante e com a tarefa em execução, foi realizada uma metodologia de projeto centrada nos usuários representativos a qual orientou na forma como esses *feedbacks* podiam ser oferecidos. Os momentos oportunos para oferecer os *feedbacks*, juntamente com a adequação dos mesmos, ao usuário e a tarefa em execução, são percebidos por uma sociedade de agentes colaborativos, que juntos, analisam o momento oportuno para oferecer ajuda, escolhendo a estratégia apropriada e a disponibilizando-a ao estudante. Para oferecer esse mecanismo de 'tutoramento', os agentes se utilizam o modelo de usuário proposto e das formas de ajuda, ambos derivados da metodologia adotada.

Além dos resultados acima discutidos, foi inserido, como uma das fases da metodologia, o processo de avaliação do potencial da interface para promover aprendizagem. Os referenciais teóricos que possibilitaram tal avaliação foi a teoria dos campos conceituais proposta por (Vergnaud, 1986), que avalia a aprendizagem a partir das proposições

verdadeiras sobre os conceitos mobilizados pelo estudante, e a análise instrumental (Gomes, 2005), que avalia a aprendizagem relacionando-a ao uso de uma interface.

Assim a metodologia adotada possibilitou encontrar as necessidades dos usuários, ainda durante a fase de desenvolvimento, e testar seu potencial para aprendizagem. Como resultados, foram apresentados:

- Um conjunto de formas de ajuda ou *Scaffolds*, que podem ser oferecidas em interfaces para o ensino de estruturas aditivas;
- Um modelo de usuário;
- A arquitetura de uma sociedade de Agentes para oferecer a ajuda.
- Os resultados qualitativos sobre aprendizagem.
- Além desses, a própria metodologia pode ser reaplicada para desenvolvimento de outras interfaces educativas.

Contribuições

Muito se discute na literatura sobre interfaces de sistemas colaborativos, sobre meios que podem favorecer a reflexão durante a interação humano-comutador. Particularmente no que concerne a concepção de interfaces educativas, a promoção da reflexão é utilizada como um critério de qualidade (Gravina, 1988). Sendo assim, buscamos, em nossa pesquisa, conceber formas de ajudar capazes de promover de reflexão. Tais ajudas foram derivadas a partir de um contexto de uso real.

Os requisitos obtidos aqui orientam como oferecer ajuda efetiva para o ensino das estruturas aditivas na interface de um protótipo para o ensino de estruturas aditivas. Ajudas que de fato conduzam o usuário à revisão de seus planos iniciais de ação. A partir dos protocolos verbais, ficou claro identificar a influência que o estilo de interação teve sobre ações do usuário e sobre a mobilização de proposições verdadeiras e falsas sobre as regras de utilização da interface e sobre os conceitos veiculados na

interface.

Outro ponto importante como contribuição foi o acompanhamento de resultados sobre aprendizagem ainda na fase de design. Os resultados aqui apresentados demonstram que é possível construir uma interface educativa e inserir em seu ciclo de desenvolvimento fases específicas para a verificação da aprendizagem conseqüente do uso

Uma terceira contribuição é o processo de construção de modelos do usuário com base em um paradigma qualitativo de pesquisa e cujos resultados nos orientaram no sentido de como conceber uma forma de ajuda eficaz. Segundo (Self, 1990) os modelos do usuário não servem para evitar os erros, mas sim para armazenar informações que possibilitem fazer ao estudante um questionamento eficaz, uma provocação, uma dica, ou seja, provocá-lo direcionando-o para outro tipo de pensamento acerca da tarefa realizada. Em nossa pesquisa, os modelos de usuário são utilizados com o propósito de inferir os tipos de ajuda mais adequados, responsáveis por conduzir o usuário a uma revisão de planos iniciais.

Trabalhos futuros

Durante a execução da metodologia identificamos alguns pontos em que pode haver uma maior exploração com a geração de mais resultados. Dessa forma discutiremos desdobramento de trabalhos futuros tendo em vista a identificação de alguns pontos de nossa metodologia. Para cada ponto identificado, faremos uma discussão sobre como ele pode ser melhorado, e qual o seu impacto para a pesquisa.

- Teste de Usabilidade: Durante a análise qualitativa identificamos pontos que podem ser melhorados tanto nos (1) procedimentos quanto no (2) questionário da entrevista focal aplicada após a resolução de cada problema. No primeiro caso, podemos inserir um maior número de situações-problema e de usuários, de modo a inferir novos invariantes, verdadeiros e falsos. No segundo caso, podemos inserir perguntas sobre:
    - As regras em ação utilizadas pelo usuário.

- Um processo de resolução alternativo ao que está sendo proposto, ou seja, perguntar ao usuário se ele teria alternativa para resolver o problema.

- Avaliação de resultados sobre aprendizagem: A partir de um número maior de usuários, será possível fazer a análise da tarefa e aplicar algoritmos de aprendizagem de máquina para obter dados quantitativos sobre a aprendizagem dos conceitos veiculados na interface.

- Modelo do usuário: Tendo em vista da construção do modelo, será testado seu desempenho e verificada a necessidade da inserção de mais dimensões.

- Construção da ontologia sobre estruturas aditivas, usando a legenda de Vergnaud (1986). Essa ontologia é a base de conhecimento do Agente Monitor.

- Construção da sociedade de agentes: Uma vez construída a sociedade de agentes, pode ser feito um novo teste com os usuários, refinando objetivos, quantidade de agentes, arquiteturas, e comunicação entre eles.

- Refinamento do Agente ZDP: Em nossa pesquisa, só temos dados qualitativos, que indicam que a ajuda foi eficaz. Em um trabalho futuro, pretende-se oferecer dados quantitativos sobre a zona de desenvolvimento proximal dos usuários. Vale ressaltar que os sistemas discutidos na análise de competidores fazem a operacionalização da ZDP e oferecem dados quantitativos que indicam os conhecimentos presentes no nível de desenvolvimento real e no nível de desenvolvimento potencial.

- Inserção de outras formas de representação, tais como, operações aritméticas, gráficos cartesianos, planos cartesianos e a coordenação de vários deles numa interface com múltiplas representações do mesmo conceito.

7. Referências Bibliográficas

ANDRADE, A. F. Uma Aplicação da Abordagem Sociointeracionista de Vygotsky para a Construção de um Ambiente Computacional de Aprendizagem. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, BR-RS, 2003.

ANDRADE, A.F., GIRAFFA, L. M. M., AND VICARRI, R. M. Uma Aplicação da Teoria Sociointeracionista de Vygotsky para Construção de um Modelo de Aluno. In: XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, 2003, Rio de Janeiro. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. 2003.

ARROYO, I. JOSEPH E. BECK, CAROLE R. BEAL, BEVERLY P. WOOLF . Learning within the ZPD with the AnimalWatch intelligent tutoring system. University of Massachusetts, Amherst. 2003.

BENYON D. Accommodating Individual Differences through an Adaptive User Interface. Presented by Alison Nichols, October 21 st 1994.

BEVAN, N., AZUMA, M. (1997). Quality in Use: Incorporating Human Factors into Software Engineering Lifecycle. In Walnut Creek (Ed), Proceedings of the 1997 International Software Engineering Standards Symposium (pp. 169-179), California: IEEE Computer Society.

BEVAN N . (1999) Quality in use: meeting user needs for quality. In: Journal of Systems and Software,49(1), 89-96.

BØDKER, S. Scenarios in user-centred design - setting the stage for reflection and action. In Interacting with Computers, number 13, pages 61–75. Elsevier Science B.V. 2000.

BOLETIN-INEP. Documentação Qualidade da Educação: uma nova leitura do desempenho dos estudantes da 4ª série do Ensino Fundamental em: http://www.inep.gov.br/download/saeb/2003/boletim_4serie.pdf

BORGES, M.K. (1994) EDUCAÇÃO E TECNOLOGIAS DIGITAIS: UMA PROPOSTA DE INCLUSÃO DIGITAL DESTINADA A PROFESSORES EM FORMAÇÃO - Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Disponível em < http://www.virtual.udesc.br/DAPE/Pesquisa/relat_edutec.pdf >. Acessado em 26 de junho de 2006.

BRAGA, 2006 Maurício da Motta Braga. Design de software educacional baseado na Teoria dos Campos Conceituais. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) - Universidade Federal de Pernambuco. Orientador: Alex Sandro Gomes.

CARNEIRO, 2003. Marcelo Medeiros Carneiro. Interfaces Assistidas para Deficientes Visuais Utilizando Dispositivos Reativos e Transformadas de Distância. 2003. Tese de Doutorado - Dep. de Informática, PUC-Rio Orientador: Prof. Luiz Velho, IMPA Co-orientador: Prof. Marcelo Gattass, PUC-Rio

CARROLL, J. Five reasons for scenario-based design. In Interacting with Computers, number 13, pages 43–60. Elsevier Science B.V. 2000.

COMPETIDORES, 2006. Competitive Analysis: Understanding the Market Context disponível em < http://www.boxesandarrows.com/view/competitive_analysis_understanding_the_market_context> . Acesso em: quatro de junho de 2006.

COLL, C.; PALACIOS, J. ; MARCHESI, A. Desenvolvimento psicológico e educação: psicologia da educação. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

DA ROCHA FALCÃO, J.T; SELVA, A.C. 2002. Representation, addictive structures and algebraic activity among pre-school and second graders in elementary school. In: 32nd Annual Meeting of the Jean Piaget Society, 2002, Philadelphia. Proceedings of 32nd Annual Meeting of the Jean Piaget Society, 2002.

DE SOUZA, C.S.;PRATES, R.O.; BARBOSA, S.D.J. (1999) *A Method for Evaluating Software Communicability* IHC'99 Proceedings. Campinas, SP, Brazil. October, 1999. (CD-ROM).

DE SOUZA, C. S. de; LEITE, J. C.; PRATES, R. O. *Projeto de Interfaces de Usuário – Perspectivas Cognitivas e Semióticas*. Rio de Janeiro, 2001.

DIAS P. Hipertexto, hipermédia e media do conhecimento: representação distribuída e aprendizagens flexíveis e colaborativas na Web. Journal: Revista Portuguesa de Educação Year 2000 Vol: 13 Issue: 001.

FISCHER, G. (2001). User modeling in human-computer interaction. User Modeling and User-Adapted Interaction 11(1-4), 65-86.

Flash MX 2004. Disponível em < http://www.adobe.com/products/flash/flashpro/ > Acessado em janeiro de 2005.

FLICK, U. Uma introdução à pesquisa qualitativa. Porto Alegre, Bookman, Cap. 8 (p. 89-94), 2004

GIRAFFA, L.M.M. Uma arquitetura de tutor utilizando estados mentais. Porto Alegre: CPGCC/UFRGS, 1999. (Tese de Doutorado)

GOMES, A. S.; ALVES, F. J. A. ADeCUI: sistema de análise da qualidade da interface de softwares educativos baseado em modelo construtivista de cognição. In: Simpósio Brasileiro de Informática na Educação SBIE´2001, 2001, Vitória (ES). 2001. v. 1.

GOMES, A. S. ; CASTRO FILHO, José Aires de ; GITIRANA, Verônica ; SPINILLO, A. ; ALVES, M. ; MELO, M. ; XIMENES, J. . Avaliação de software educativo para o ensino de matemática. In: WIE 2002 Workshop Brasileiro de Informática Educativa, 2002, Florianópolis. Convergências Tecnológicas Redesenhando as Fronteiras da Ciência e da Educação: Anais. Florianópolis: SBC, 2002. v. 5.

GOMES, A.S; QUEIROZ, A.E; CARVALHO, F.A.T. et al. User learning Modeling in learnware design- Case Study with Dynamic Geometry Software. In: JULIE A. JACKO (ED.) AND CONSTANTINE STEPHANIDIS (ED.) HCI INTERNATIONAL 2003, 2003, Creta, Grécia,. Human Computer Interaction, International Proceedings, 2003. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2003. p. 380-384.

GOMES, A.S; WANDERLEY, E. G, 2003. Elicitando requisitos de software educativo. In: WIE 2003 WORKSHOP BRASILEIRO DE INFORMÁTICA EDUCATIVA, 2003, Convergências Tecnológicas - Redesenhando as Fronteiras da Ciência e da Educação:

Anais. Campinas: SBC, 2003. v. v.;

GOMES, A. S. Avaliação da aprendizagem com software educativo no projeto interativo. In: 5o Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interface Humano Máquina, 2005, Rio de Janeiro. Anais do 5o Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interface Humano Máquina. Rio de Janeiro, 2005.

GRAVINA, M. A.; SANTAROSA L. M. A Aprendizagem da Matemática em Ambientes Informatizados. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 4, 1998, Brasília.

LIEBERMAN H., SELKER T. Agents for the User Interface, Handbook of Agent Technology, Jeffrey Bradshaw, ed.,MIT Press, 2003

INKPEN, K.M. *Drag-and-Drop versus Point-and-Click*: Mouse Interaction Styles for Children. In ACM Transactions on Computer Human Interaction, 8(1), 1-33, March 2001.

HACKOS, J., REDISH, J., User and Task Analysis for Interface Design, Wiley computer publishing, www.wiley.com/compbooks/, [09.03.2002].

HOLST, S. Directing learner attention with manipulation style. ACM CHI 96 Doctoral Consortium, Vancouver, CA, 1996.

HUTCHINS, E. L. HOLLAN, J.D, AND NORMAN. Direct manipulation interfaces. Human-Comput. Interact. 1, 4, 311-338. 1985

INEP. Qualidade da Educação: uma nova leitura do desempenho dos estudantes da 4ª série do Ensino Fundamental. 2003. Disponível em: http://www.inep.gov.br/download/saeb/2003/boletim_4serie.pdf. Acesso em 06 de junho de 2006:

JACOBSON, M. J., MAOURI, C., MISHRA, P., & KOLAR, C. (1996). *Learning with hypertext learning environments*: Theory, design, and research. Journal of Educational Multimedia and Hypermedia, 5(3/4), 239-281.

JAQUES, P. A.; JUNG, J. L.; ANDRADE, A. F.; BORDINI, R. H.; VICARRI, R. M. Using Pedagogical Agents to Support Collaborative Distance Learning in Computer Supported Collaborative Learning 2002 (CSCL 2002). Boulder, Colorado – EUA, Janeiro 7-11. Poster.

KAMII, C., LEWIS, B. A., E KIRKLAND, L. (2001) Manipulatives: When are they useful? Journal of Mathematical Behavior, 20, 21 – 31.

KOBSA A., User Modeling: Recent Work, Prospects and Hazards, Adaptive User Interfaces: Principles and Practices (Schneider-Hufschmidt, T. Khme, U. Malinowski, eds. 1993).

KUJALA, S., KAUPPINEN, M., AND REKOLA, S. Bridging the gap between user needs and user requirements. In Avouris, N. and Fakotakis, N., editors, Advances in Human-Computer Interaction I (Proceedings of the Panhellenic Conference with International Participation in Human-Computer Interaction PC – HCI 2001), pages 45–50. Typorama Publications.

LUCKIN, R; DU BOULAY, B. Ecolab: the development and evaluation of a

Vygotskian design framework. International Journal of Artificial Intelligence in Education. Volume 10. Number 2. pp. 198-220, 1999.

HAMMERTONAND L. E LUCKIN R. How to help? Investigating children's opinions on help Louise Hammerton and Rosemary Luckin COGS, University of Sussex, Falmer, Brighton, BN1 9QH, UK

MAES, P. (1994) Agents that Reduce Work and Information Overload. Communications of the ACM, Vol. 37, No.7,pp. 31-40, 146, ACM Press, July 1994. Disponível em:http://pattie.www.media.mit.edu/people/pattie/CACM-94/CACM-94.p1.html

MAGINA, S., CAMPOS, T., NUNES, T. E GITIRANA, V. Repensando a Adição e aSubtração: contribuições da Teoria dos Campos Conceituais, São Paulo,2000.PROEM-PUC/SP.

MAGUIRE M. Methods to support human-centered design, International journal of human-computer studies, vol. 55, pp. 587–634, 2001.

MERTON R.K., KENDALL P.L. The Focused Interview. American Journal of Sociology 51: 541-557., 1946. Apud FLICK, U. Uma introdução à pesquisa qualitativa. Porto Alegre, Bookman, Cap. 8 (p. 89-94), 2004.

NIELSEN , J. Usability Engineering. Boston, 1993: Academic Press.

NORMAN, D. Cognitive Engineering. In NORMAN, D & DRAPER, S (eds.) *User Centered System Design*. Hillsdale, NJ. Lawrence Erlbaum. pp.31-61, 1986. *Apud* DE SOUZA, C. S. de; LEITE, J. C.; PRATES, R. O. *Projeto de Interfaces de Usuário – Perspectivas Cognitivas e Semióticas*. Rio de Janeiro, 2001.

O'HARA, K.P. PAYNE, S.J. *The effects of operator implementation cost on planfulness of problem solving and leaming*. Cognitive Psychology, 35, 34-70, 1998.

OGBORN, J. Modeling Clay for Thinking and Learning, pre-print, 1997. Apud Gravina, M. A.; Santarosa L. M. A Aprendizagem da Matemática em Ambientes Informatizados. In: Congresso Ibero-Americano de Informática na Educação, 4, 1998, Brasília.

PAAP, K.R. e ROSKE-HOFSTRAND, R.J (1988). *Design of Menus* In Helander (ed.) Handbook of Human-Computer Interaction. Amsterdam: North-Holland. *Apud* DE SOUZA, C. S. de; LEITE, J. C.; PRATES, R. O. *Projeto de Interfaces de Usuário – Perspectivas Cognitivas e Semióticas*. Rio de Janeiro, 2001.

PAPERT, S. (2001). Logo Philosophy and Implementation, chapter What is Logo and Who needs it ?

PANSANATO, L.T.E.; NUNES, M.G.V. Autoria de Aplicações Hipermídia para o Ensino. REVISTA BRASILEIRA DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, nro.5. Setembro 1999, p.103-124.

PIRES, 2003 Relações entre aprendizagem e desenvolvimento: A abordagem de Jerome Bruner, Patrícia Vasconcellos Pires Ferreira. Disponível em <http://www.psicopedagogia.com.br/artigos/artigo.asp?entrID=413>. Acesso em 09 de abril de 2006

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, E.; BENYON, D.; HOLLAND, S.; CAREY, T. *Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley, 1994.

PUNTAMBEKAR, S., AND HÜBSCHER, R. Tools for scaffolding students in a complex environment: What have we gained and what have we missed? Educational Psychologist. Vol. 40 (1), 1-12, 2005.

QSR International. Non-Numerical Unstructured Data Indexing Searching and Theorizing (Nud*ist). Disponível em: http://www.qsr.com.au/software.htm (07/02/06)

QUEIROZ, A. E. M. ; GOMES, A. S. ; CARVALHO, F. A. T. . Mineração de Dados de IHC para Interface Educativas. Revista Eletrônica de Iniciação Científica, www.sbc.org.br/reic/revista.ht, v. II, n. IV, p. 1-10, 2002.

QUINTANA, C., KRAJCIK, J., AND SOLOWAY, E. Exploring a Structured Definition for Learner-Centered Design. In B. Fishman and S. O'Connor-Divelbiss (Eds.), Fourth International Conference of the Learning Sciences (pp. 256-263). Mahwah, NJ: Erlbaum, 2000.

QUINTANA, C., REISER, B., DAVIS, E. A., KRAJCIK, J., GOLAN, R., KYZA, E., EDELSON, D., AND SOLOWAY, E. Evolving a Scaffolding Design Framework for Designing Educational Software. In P. Bell, R. Stevens, & T. Satwicz (Eds.), Keeping Learning Complex: The Proceedings of the Fifth International Conference of the Learning Sciences (ICLS)(pp. 359-366). Mahwah, NJ: Erlbaum.2002.

TEJEDA, C.2003 Expanding Notions of the Zone of Proximal Development, disponível em http://www.gseis.ucla.edu/courses/ed229/ColeGriffin.ppt. Acesso em 15 de abril de 2004.

RAPPIN, N., GUZDIAL, M., REALFF, M., AND LUDOVICE, P. Balancing usability and learningin an interface. In Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97, Atlanta, GA, Mar. 22–27), S. Pemberton, Ed. ACM Press, New York, NY, 1997,479–486.

REALIDADE VIRTUAL disponível em http://www.cin.ufpe.br/~if124/conceito.htm. Acesso em 23 de junho de 2006.

REISER, B. J. Why Scaffolding Should Sometimes Make Tasks More Difficult for Learners In Stahl, G. (ed.) Computer support for collaborative learning foundations for a CSCL community. Proceedings of CSCL 2002, Boulder, Colorado, USA (January 7-11, 2002), 255-264. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc

SAEB, 1999. Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica disponível em <http://www.inep.gov.br/download/saeb/1999/resultados/saeb99_relatorio.doc> Acesso em 26 de junho de 2006.

SAEB, 2001. Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica. Disponível em < http://www.inep.gov.br/download/saeb/2001/relatorioSAEB_matematica.pdf > Acesso em 26 de junho de 2006.

RICH, E. (1989). User modelling via stereotypes. Cognitive Science 3, 329-354

ROSATELLI, M. C. ; TEDESCO, Patricia de Azevedo . Diagnosticando o Usuário para Criação de Sistemas Personalizáveis. In: Ricardo de Oliveira Anido; Paulo César Masiero. (Org.). Anais do XXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação -

III Jornada de Minicursos de Inteligência Artificial. Campinas, 2003, v. VIII, p. 153-201.

ROUSSOS, M., JOHNSON, A., LEIGH, J., BARNES, C. R., VASILAKIS, C. A., AND MOHER, T. G. The nice project: Narrative, immersive, constructionist/collaborative environments for learning in virtual reality. In ED-MEDIA/ED-TELECOM 97: World Conferences on Educational Multimedia and Hypermedia and on Educational Telecommunications (1997).

RUSSEL, S. J.; NORVIG, P. Artificial Inteligence: A Modern Approach. Prentice Hall, 2004.

SÁNCHEZ C. R, GONZÁLEZ Y.H., MORENO C.G., AND TORRE A.F.DEL VISO .A Web Voice Solution: ConPalabras , disponível em http://www.upgrade-cepis.org/issues/2003/1/upgrade-vIV-1.pdf. Acesso em 26 de junho de 2006.

SEDIG, K., KLAWE, M., AND WESTROM, M. Role of interface manipulation style and scaffolding on cognition and concept learning in learnware. ACM Transactions on Computer-Human Interaction. 8(1), 2001, 34-59.

SEDIGHIAN, K., WESTROM, M. Direct Object Manipulation vs. Direct Concept Manipulation: Effect of Interface Style on Reflection and Domain Learning. In: Thimbleby, Harold, O'Conaill, Brid, Thomas, Peter J. (ed.): Proceedings of the Twelfth Conference of the British Computer Society Human Computer Interaction Specialist Group - People and Computers XII. August, 1997, Bristol, England, UK. p.337-357.

SELF, J. A. Bypassing the intractable problem of student modelling. In C. Frasson and G. Gauthier (Eds.), ITS: At the Crossroad of Artificial Intelligence and Education, pp. 107-123. 1990. NJ: Ablex Publishing Corporation

SHNEIDERMAN, B. *Designing the User Interface*, 3rd Edition. Reading, MA: Addison Wesley, 1998.

SHNEIDERMAN, B., 1997, Direct Manipulation for Comprehensible, Predictable, and Controllable User Interfaces, Proceedings of IUI97, 1997 International Conference on Intelligent User Interfaces, Orlando, FL, January 6-9, 1997, pp. 33-39.

SHNEIDERMAN, B. E MAES, P. (1997). Direct Manipulation vs Interface Agents, excerpts from the debates at IUI 97 and CHI 97 in Interactions, ACM, November + December, volume IV.6, pp42-61.

SNYDER, C. (2003) Paper Prototyping. The Fast and Easy Way to Design and Refine User Interfaces. San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers.

STUART J. RUSSELL AND PETER NORVIG, 2004. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ

VALENTE. J.A. Diferentes usos do Computador na Educação, disponível em <http://upf.tche.br/~carolina/pos/valente.html> Acesso em 23 de junho de 2006

VANDERHEIDEN, G., ZIMMERMAN, G., BLAEDOW, K., TREWIN, S. (2005). *Hello, What Do You Do? Natural Language Interaction with Intelligent Environments*. Proceedings of the 2005 HCII Las Vegas Conference

VERGNUAD, G. Psicologia do desenvolvimento cognitivo e didática das matemáticas

Um exemplo: as estruturas aditivas. Análise Psicológica, 1, p 75-90. 1986.

VAN DAM A. "Post-WIMP User Interfaces." Communications of the ACM, vol. 40, no. 2, 63--67, 1997

VAN DER VEER G.C., VAN WELIE M., D.D.Modeling Complex Processes in GTA. Thorborg, In: Ergonomics ,volume 42, number 11, pp. 1572-1587, November 1999

VIEIRA, F. M. S, (1999) "Avaliação de Software Educativo: Reflexões para uma análisecriteriosa". Disponível em < http://www.nuted.edu.ufrgs.br/biblioteca/public_html/9/30/index.html>. Acessado em 23 de junho de 2006.

VYGOTSKY, L. S. 1998. A Formação Social da Mente: o Desenvolvimento dos Processos Psicológicos Superiores. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

WELLS, G. (1999). The Zone Of Proximal Development And Its Implications For Learning And Teaching (Chapter 10) in Dialogic Inquiry: Towards a sociocultural practice and theory of education. New York: Cambridge University Press. http://www.oise.utoronto.ca/~gwells/resources/ZPD.html Acesso em 28 de janeiro de 2005.

WOOD, D. J., BRUNER, J. S., AND ROSS, G. The role of tutoring in problem solving. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 17(2), 89-100. 1976. Apud [21].

WOOLDRIDGE M.; Introduction to MultiAgent Systems. Wiley and Sons, 2002.

8. Anexos

A - Formulário de Consentimento do Participante

Título do Trabalho: Software para ensino de estruturas aditivas

Instruções Gerais

Você está sendo convidado (a) a participar da pesquisa dos micro-mundos do projeto AMADEUS. Se decidir participar dela, é importante que leia cuidadosamente as informações contidas neste formulário.

Este formulário de consentimento fornece-lhe todas as informações sobre o estudo, tais como objetivo, procedimento, coleta de dados, privacidade, custos, riscos e informações adicionais. Assim que tiver compreendido o estudo e concordar em participar do mesmo, será solicitado que assine e date este formulário, cuja cópia lhe será entregue uma cópia para seu uso pessoal.

Caso necessite de maiores esclarecimentos sobre algum item mencionado aqui, ou precise de informações que não foram incluídas, por favor, pergunte aos pesquisadores.

Antes de ser informado a respeito do estudo, é importante que tome conhecimento do seguinte:

1. A sua participação é inteiramente voluntária;

2. Você poderá decidir por não participar ou cancelar a sua participação no estudo, a qualquer momento, por qualquer razão, sendo que todos os dados coletados até o referido momento serão descartados.

É preciso entender a natureza da sua participação e dar o seu consentimento por escrito. Sua assinatura indicará que você entendeu todas as informações referentes a sua participação e que concorda em participar como voluntário.

Objetivo do Estudo

Desenvolver uma interface para o ensino das estruturas aditivas.

Pesquisadores

Ana Emilia de Melo Queiroz e Maurício da Motta Braga são estudantes de mestrado do centro de informática (CIN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e este estudo faz parte das suas pesquisas de mestrado. Ambos são orientados pelo prof. Alex Sandro Gomes, professor do centro de informática da UFPE.

Procedimento do estudo

O teste será conduzido pelos pesquisadores acima mencionados, utilizando um protótipo em papel preparado com esta finalidade. Durante o teste serão feitas gravações e filmagens, porém nas filmagens apenas suas mãos, utilizando o protótipo, serão focadas pela câmera, o que você poderá constatar vendo o vídeo gerado durante o teste.

O procedimento ocorrerá em cinco etapas. Na primeira etapa, você receberá uma explicação sobre as estruturas aditivas, feita em *power point* cujo objetivo é fazê-lo lembrar-se da legenda e dos diagramas utilizados nesta pesquisa. Numa segunda etapa, você receberá uma explicação sobre o protótipo em papel e sobre a forma de realização do teste com esse tipo de protótipo.

Na terceira etapa, você iniciará o teste do protótipo, e receberá uma situação problema para resolver com o uso do protótipo. Essa resolução deve ser feita em voz alta, o que permitirá aos pesquisadores fazer a coleta dos seus protocolos verbais. Na quarta etapa, você verá o vídeo gerado para a situação problema que acabou de resolver e será submetido a uma entrevista semi-estruturada cujo objetivo é entender os motivos de suas decisões durante a resolução do problema proposto.

Finalmente, na quinta etapa, quando concluir todos os problemas propostos, você será submetido a uma outra entrevista semi-estruturada cujo objetivo é coletar sua impressão e opinião geral sobre a interface e sobre os mecanismos de ajuda que recebeu. Se concordar em participar do teste, sua sessão será realizada em um dia e terá duração de

aproximadamente duas horas.

Coleta de Dados

Os dados relacionados à interação do indivíduo com a interface serão coletados utilizando-se um gravador de voz bem como uma câmera filmadora. Uma televisão será utilizada na entrevista focal a ser realizada com o indivíduo após o teste, objetivando colher informações adicionais sobre a interação.

Caráter confidencial dos registros:

As informações obtidas, a partir de sua participação neste estudo, serão mantidas estritamente confidenciais. Qualquer material gravado ou transcrito será referenciado somente por um identificador.

Meramente para registro do trabalho, você deverá fornecer seu nome e assinar este formulário de consentimento. No entanto, todos os resultados apresentados na dissertação ou publicações científicas serão anônimos. Seu nome não fará parte dos dados.

Riscos/Desconfortos

Não há possibilidade de riscos ou desconfortos associados à sua participação no estudo.

Custos

Você não terá nenhum gasto com a sua participação no estudo.

Declaração de Consentimento

Declaro que tive tempo suficiente para ler e entender as informações contidas neste formulário de consentimento antes de assiná-lo. Os objetivos e o procedimento foram explicados, bem como o que será requerido de mim. Também recebi respostas para todas as minhas dúvidas.

Compreendo que minha participação no estudo é voluntária e que sou livre para me

retirar do estudo a qualquer momento, sem aplicação de qualquer penalidade.

Confirmo, também, que recebi uma cópia deste formulário de consentimento.

Dou meu consentimento de livre e espontânea vontade para participar deste estudo.

_____

_____

Nome do Participante Data

(em letra de forma)

Atesto que expliquei cuidadosamente a natureza e o objetivo deste estudo. Acredito que o participante recebeu todas as informações necessárias, que foram explicadas em uma linguagem adequada e compreensível.

_____

_____

Nome do Experimentador Data

(em letra de forma)

Anexo B – Questionário para identificação do perfil do participante

Esta pesquisa é parte das atribuições para a obtenção de titulação de Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Tem por objetivo apresentar a modelagem de uma sociedade de agentes inteligentes que atuam na interface do sistema Gerard (Braga, 2006). Nesse contexto, os agentes são chamados de agentes pedagógicos, pois possuem finalidades educacionais. Eles são utilizados para suportar aprendizagem humana e executam várias tarefas, tais como, incentivo à colaboração entre os alunos, criação de estratégias de intervenção e motivação para a realização das tarefas, atuação como tutores, incentivadores, críticos e facilitadores.

No contexto desta pesquisa, os agentes colaboram com o estudante durante a resolução

de um problema através de questionamentos, dicas, ajudas metacognitivas e uso de um material concreto. Em educação, esse tipo de ajuda é chamado de *Scaffolding*, reforço, ou sustentação. Essa estratégia instrucional tem suas bases na teoria sócio-construtivista de Vygostsky, a qual diz que o desenvolvimento humano é construído inicialmente no meio social e posteriormente de maneira individual.

Para a viabilização deste estudo, solicitamos a sua colaboração no preenchimento deste questionário, que tem por objetivo coletar informações sobre o perfil do participante da pesquisa e sua experiência com recursos computacionais.

Nas questões indicadas, você pode marcar mais de uma opção.

Sua participação é fundamental para a realização desta pesquisa. Agradecemos a sua contribuição, e em caso de dúvida, colocamos-nos à disposição para esclarecer qualquer dúvida. Por favor, leia com atenção as questões a seguir.

Informações Gerais

1. Idade entre

□ Menos de 20 □ 21 e 30 □ 31 e 40

2. Sexo

□ Masculino □ Feminino

3. Qual é a sua formação?

□ graduação □ especialização □ mestrado

□ doutorado □ outra: _____

Escreva o nome do curso que está fazendo ou fez de acordo com a formação assinalada acima: _____

Experiência Computacional

1. Há quanto tempo você utiliza o computador?

□ Menos de 6 meses □ Entre 2 anos a 3 anos

□ 6 meses a 1 ano □ Entre 3 anos a 4 anos

□ Entre 1 ano a 2 anos □ Mais de 4 anos

2. Em que local você utiliza o computador? (Pode-se marcar mais de uma opção)

□ em casa

□ na escola/universidade

□ no trabalho

□ outros: _____

3. Em média, quantas horas por dia você utiliza o computador?

□ Menos de 2 horas □ Entre 5 a 10 horas

□ Entre 2 a 5 horas □ Mais de 10 horas

4. Você utiliza o computador com quais finalidades?

_____

_____

_____

5. Quais tipos de ferramentas você utiliza em suas atividades diárias? (Pode-se marcar mais de uma opção)

□ Editores de texto (Word, WordPerfect, etc.)

□ Pacotes de apresentação (PowerPoint, etc.)

□ Planilhas (e-mail, NetMeeting, etc.)

□ Comunicação (salas de bate-papo, e-mail, NetMeeting, etc.)

□ Transferência e troca de documentos

□ Software educativo

□ Bancos de dados (Access, Oracle)

□ Browsers (Netscape, Explorer)

□ Jogos

□ Outros, favor especificar: _____

_____

_____

7. Você já utilizou ferramentas colaborativas?

□ Sim □ Não

Em caso afirmativo, qual(is) tipo(s) de ferramenta(s) colaborativa(s) você já utilizou (Pode-se marcar mais de uma opção)?

□ Editores colaborativos síncronos/assíncronos

□ Chats

□ Ferramentas para Videoconferência (ex.: Cu-SeeMe)

□ Whiteboards

□ Outros, favor especificar (você pode citar o nome da ferramenta):

_____

_____

_____

_____

_____

Muito obrigado por sua participação!

9. Anexo C – Questionário de pós-resolução de problema.

Exemplo para composição

Por que você escolheu esta operação (Aqui o pesquisador diz o nome da operação escolhida) para o problema?

Você arrastou o número (dizer o número arrastado) para este quadrado (uma parte). Por que você fez isso?

Você arrastou o número (dizer o número arrastado) para este outro quadrado (a outra parte). Por que você fez isso?

Você indicou o valor (dizer o valor) para este quadrado (o todo). Como você explicaria isso?

Exemplo para comparação

Pesquisador: Por que você escolheu comparação para esse problema?

Pesquisador: Você arrastou o número (dizer o cardinal arrastado) para o círculo (o número relativo). Por que você fez isso?

Pesquisador: Você saberia dizer o que deve ser colocado no círculo e nos quadrados no problema de comparação?

Pesquisador: O que representa o número (dizer o número) que você colocou no círculo?

Pesquisador: Após receber a mensagem do computador "Tem certeza de que o referente está na posição correta?", você pediu mais uma dica. A mensagem não esclareceu o que estava errado no problema?

Pesquisador: Após utilizar a ajuda que colocava um texto explicando cada elemento da legenda ("idade de Carlos" no quadrado superior e "idade de Ricardo" no quadrado

inferior), você preencheu corretamente os valores do problema. Como você explicaria isso?

Exemplo para a transformação:

Pesquisador: Por que você escolheu essa legenda (dizer o nome da legenda) para esse problema?

Pesquisador: Você arrastou o número (dizer qual o número e o que ele representa no problema) para este círculo. Por que você fez isso?

Pesquisador: Após receber a mensagem do computador "Tem certeza de que ela ganhou 4 reais? Use o sinal de menos ou de mais para representar perda ou ganho." , você optou por levar o número quatro com o sinal negativo para o círculo. Por que você fez isso?

Pesquisador: Você arrastou o número (dizer qual o número e o que ele representa) para este quadrado (estado final). Por que você fez isso?

Pesquisador: Você colocou o número (dizer o número) neste quadrado (estado inicial). Como você explicaria essa ação?

10. Anexo D - Pós-entrevista (Posterior À Realização do teste)

1. Como você avalia o software?

2. O que mais surpreendeu você no software?

3. O que mais o decepcionou no software?

4. Descreva as principais idéias matemáticas que você observou?

5. Eu notei [descreva algo que você observou e que você gostaria de perguntar]. Por que você acha que isso aconteceu?

6. Qual a principal dificuldade que você sentiu no software?

7. Como superar essa dificuldade?

8. Há mais alguma coisa que você gostaria de acrescentar?

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Ata de Defesa de Dissertação de Mestrado do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, 30 de agosto de 2006.

Ao trigésimo dia do mês de agosto do ano dois mil e seis, às quinze horas, no Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, teve início a **qüingentésima sexagésima terceira** defesa de dissertação de Mestrado em Ciência da Computação intitulada **"Design Interativo de Agentes Inteligentes de interface para Software Educativo de Matemática"** da candidata **Ana Emília de Melo Queiroz**, a qual já havia preenchido anteriormente as demais condições exigidas para a obtenção do grau de mestre. A Banca Examinadora, composta pelos professores Patrícia Cabral de Azevedo Restelli Tedesco, pertencente ao Centro de Informática desta Universidade, Alina Galvão Spinillo, pertencente ao Departamento de Psicologia desta Universidade e Alex Sandro Gomes pertencente ao Centro de Informática desta Universidade, sendo a primeira presidente da Banca Examinadora e o último orientador do trabalho de dissertação, resolveu: **Aprovar por unanimidade e dar o prazo de sessenta dias para a entrega da versão final do trabalho**. E para constar lavrei a presente ata que vai por mim assinada e pela Banca Examinadora. Recife, 30 de agosto de 2006.

Maria Lília Pinheiro de Freitas
(secretária)

Profa. Patrícia Cabral de Azevedo Restelli Tedesco
(primeira examinadora)

Profa. Alina Galvão Spinillo
(segunda examinadora)

Prof. Alex Sandro Gomes
(terceiro examinador)