

MARCOS ROGÉRIO SZÉLIGA



**PROGRAMAÇÃO INTERATIVA  
EM MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre.

Orientador: Prof. Marcos José Tozzi

CURITIBA

1996

MARCOS ROGÉRIO SZÉLIGA

**PROGRAMAÇÃO INTERATIVA  
EM MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre.

Orientador: Prof. Marcos José Tozzi

CURITIBA  
1996





MARCOS ROGÉRIO SZÉLIGA

**PROGRAMAÇÃO INTERATIVA  
EM MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre.

Orientador: Prof. Marcos José Tozzi

CURITIBA  
1996

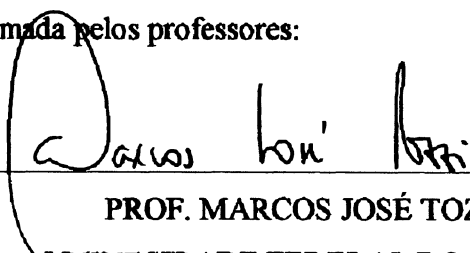
**PROGRAMAÇÃO INTERATIVA EM MECÂNICA DOS FLUIDOS E  
HIDRÁULICA**

por

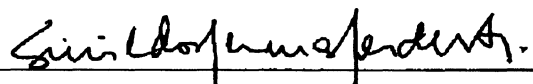
**MARCOS ROGÉRIO SZÉLIGA**

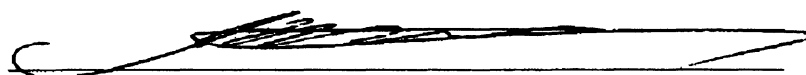
Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná pela comissão formada pelos professores:

ORIENTADOR:

  
\_\_\_\_\_  
PROF. MARCOS JOSÉ TOZZI  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MEMBROS:

  
\_\_\_\_\_  
PROF. SINILDO HERMES NEIDERT  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

  
\_\_\_\_\_  
PROF. ALCEU GOMES DE ANDRADE FILHO  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

Curitiba, 11 de outubro de 1996.

## **AGRADECIMENTOS**

O desenvolvimento desse trabalho só foi possível graças ao incentivo, auxílio, acompanhamento e embasamento proporcionado pelos professores Marcos José Tozzi, como orientador, Júlio César Olinger e José Junji Ota, como co-orientadores. Suas participações, que ocorreram de forma efetiva na análise, na crítica, nos fundamentos e na concepção dos produtos gerados nesse trabalho, contribuíram de forma essencial para que todo o desenvolvimento tenha sido concluído com êxito. Essa dissertação foi o resultado de um conjunto de fatores e ocorrências que iniciaram no primeiro dia de aulas no Curso de Pós-Graduação; registre-se, ainda, a contribuição de todos os professores e funcionários do Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza da Universidade Federal do Paraná e dos colegas do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Descrição do problema.....	1
1.2 Metodologia.....	8
1.3 Instalação e inicialização.....	13
<b>2 VISCOSIDADE.....</b>	<b>17</b>
2.1 Módulo Teoria.....	19
2.2 Módulo Laboratório.....	37
2.3 Módulo Tarefas.....	47
2.4 Módulo Problemas.....	58
2.5 Módulo Avaliação.....	60
<b>3 PERDA DE CARGA.....</b>	<b>70</b>
3.1 Módulo Teoria.....	71
3.2 Módulo Laboratório.....	87
<b>4 FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.....</b>	<b>102</b>
4.1 Módulo Teoria.....	104
4.2 Módulo Laboratório.....	124
<b>5 UTILITÁRIOS GENÉRICOS.....</b>	<b>138</b>
5.1 Módulo Instrumentos de Medição.....	139
<b>6 APLICAÇÕES.....</b>	<b>147</b>

6.1 Avaliação monitorada computacionalmente.....	148
6.2 Aula automatizada computacionalmente.....	150
6.3 Auto estudo.....	168
<b>7 IMPLANTAÇÃO SISTEMÁTICA.....</b>	<b>171</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>175</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>179</b>

## LISTA DE FIGURAS

1	Representação dos elementos componentes e suas aplicações.....	9
2	Caixa de diálogo para execução do programa instalador.....	14
3	Tela de abertura geral para o sistema.....	15
4	Lista de opções.....	15
5	Tela de abertura do conjunto Viscosidade.....	17
6	Reprodução da tela Índice do módulo Teoria para o título Viscosidade.....	21
7	Primeira página do módulo Teoria.....	22
8	Segunda página do módulo Teoria.....	23
9	Terceira página do módulo Teoria.....	24
10	Tela do desenvolvimento seqüencial da Lei da Resistência Viscosa de Newton.....	25
11	Item relacionado com a influência da temperatura sobre a viscosidade....	26
12	Apresentação de um Viscosímetro de Torção.....	27
13	Demonstração da utilização do Viscosímetro de Torção.....	28
14	Demonstração das operações no viscosímetro de exemplo.....	29
15	Esquema da experiência de Reynolds.....	30
16	Demonstração animada do escoamento laminar.....	32
17	Demonstração animada do escoamento de transição.....	32
18	Demonstração animada do escoamento turbulento.....	33

19	Página inicial do item “Laboratório Didático”.....	34
20	Desenvolvimento do conteúdo do item “Laboratório Didático”.....	35
21	Inclusão da ação viscosa no sistema de forças sobre a esfera.....	36
22	Apresentação das equações relacionadas com o movimento.....	36
23	Esforços sobre a esfera em queda.....	37
24	Reprodução da tela principal do módulo LABORATÓRIO para o título VISCOSIDADE.....	39
25a	Curvas característica da variação da viscosidade com a temperatura.....	42
25b	Curvas característica da variação da viscosidade com a temperatura.....	43
26	Tela “Índice” do módulo TAREFAS.....	48
27	Tela do item “Laboratório Didático - Prática”.....	49
28	Tela do item “Laboratório Didático - Relatório”.....	50
29	Tela de apresentação de modelo para o relatório.....	51
30	Demonstração da janela sobreposta que se abre ao “clique” sobre um dos quadros componentes.....	52
31	Tela referente ao item “Projeto de um Viscosímetro”.....	53
32	Tela complementar referente ao item “Projeto de um Viscosímetro”.....	54
33	Tela do item “Pesquisas”.....	55
34	Tela do item “Resolução de Problemas”.....	56
35	Tela do item “Avaliação”.....	57
36	Tela inicial do módulo PROBLEMAS.....	59
37	Tela de apresentação do “Problema Resolvido”.....	59
38	Conteúdo da resolução.....	60
39	Tela inicial do módulo AVALIAÇÃO, para o título VISCOSIDADE.....	61



40	Tela de apresentação do “Problema 01”.....	62
41	Janela referente ao “Passo 1” .....	63
42	Janela para o “Passo 2” .....	64
43	Janela referente ao “Passo 3” .....	65
44	Janela referente ao “Passo 4” .....	66
45	Janela para o “Passo 5” .....	68
46	Janela do “Passo 6” .....	68
47	Tela de abertura do conjunto PERDA DE CARGA.....	70
48	Tela inicial do exercício prático do módulo TEORIA.....	75
49	Tela do exercício prático do módulo TEORIA.....	76
50	Janela de demonstração de cálculos para a perda distribuída no trecho 1.....	86
51	Tela principal para o módulo LABORATÓRIO para o assunto PERDA DE CARGA.....	88
52	Diagrama de Moody.....	94
53	Tela de abertura do conjunto FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.....	102
54	Reprodução da tela principal do módulo TEORIA para o assunto FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.....	104
55	Janela gráfica do módulo TEORIA.....	106
56	Área de apresentação de resultados e modificação de parâmetros na tela principal do módulo.....	107
57	Janela de plotagem dinâmica do gráfico Força x Altura do líquido.....	109
58	Tela de ajuda ao módulo TEORIA.....	110
59	Tela para a seção “EMBASAMENTO TEÓRICO” com o preenchimento	

relativo à força sobre uma superfície horizontal.....	112
60 Tela para a seção “EMBASAMENTO TEÓRICO” com o preenchimento relativo à força sobre uma superfície vertical.....	114
61 Tela referente ao item “Superfície Plana Inclinada”.....	117
62 Tela do item “Superfície Curva”.....	118
63 Janela referente à seção “Memorial de Cálculo”.....	119
64 Conjunto de dispositivos (bancada Hidrostática) para o ensaio de laboratório relativo à força hidrostática sobre uma superfície plana vertical.....	124
65 Ação hidrostática sobre o corpo submerso.....	125
66 Sistema de forças que provocam momento em torno do eixo de apoio....	126
67 Tela principal do módulo LABORATÓRIO para o título FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.....	127
68 O cursor posicionado sobre um componente faz com que se abra uma janela de texto.....	128
69 Gráfico com as especificações de dimensões do dispositivo.....	129
70 Conteúdo da janela de ajuda.....	129
71 Uso da ferramenta “Zoom”.....	132
72 Tela principal do utilitário “Instrumentos de Medição”.....	140
73 Representação gráfica da tubulação que consiste na seção longitudinal de um Tubo de Venturi e adjacências onde estão acopladas as tomadas de pressão e um Tubo de Estagnação.....	142
74 Tela geral para o programa de automatização de aulas teóricas.....	153
75 Descanso de tela.....	154
76 Janela referente ao item “Introdução”.....	154

77	Janela referente ao item “Introdução” após o acionamento da tecla “DEFINIÇÃO”.....	155
78	Janela referente ao item “Introdução” após o acionamento da tecla “Programa convencional”.....	155
79	Exemplo de aplicação da programação interativa a um problema elementar.....	157
80	Esquema do conteúdo geral da tese.....	158
81	Tela referente à instalação dos programas a partir do conjunto de disquetes com arquivos compactados.....	158
82	Menu principal.....	159
83	Necessidades de “hardware e software”.....	159
84	Janela para acesso aos módulos “TEORIA”.....	160
85	Janela para acesso aos módulos “LABORATÓRIO”.....	161
86	Janela para acesso ao módulo “TAREFAS”.....	162
87	Janela para acesso ao módulo “AVALIAÇÃO”.....	163
88	Janela para acesso ao módulo “PROBLEMAS”.....	164
89	Janela para acesso aos itens relativos às propostas para aplicações.....	165
90	Tela relativa ao item “Avaliação Monitorada Computacionalmente”.....	165
91	Esquema para o item “Aula Automatizada Computacionalmente”.....	166
92	Esquema apresentado para o item “Auto Estudo”.....	167
93	Fluxo de operações.....	169

## LISTA DE QUADROS

1	Equacionamento dos esforços atuantes sobre a esfera em queda com a utilização do Princípio de Arquimedes e da Lei de Stokes.....	38
2a	Código fonte para o simulador do módulo LABORATÓRIO.....	44
2b	Código fonte para o simulador do módulo LABORATÓRIO.....	45
2c	Código fonte para o simulador do módulo LABORATÓRIO.....	46
3	Parágrafo do quadro de texto no utilitário do título PERDA DE CARGA.....	74
4	Código fonte para o controle dos materiais da tubulação.....	77
5	Código fonte para o controle de diâmetros.....	78
6a	Código fonte para o controle do comprimento da tubulação.....	79
6b	Código fonte para o controle do comprimento da tubulação.....	80
7	Código fonte para o controle e display da vazão.....	80
8	Código fonte para o valor da vazão.....	80
9a	Código fonte do processamento dos dados de entrada.....	81
9b	Código fonte do processamento dos dados de entrada.....	82
9c	Código fonte do processamento dos dados de entrada.....	83
9d	Código fonte do processamento dos dados de entrada.....	84
9e	Código fonte do processamento dos dados de entrada.....	85
10	Diâmetro da tubulação.....	96
11	Área da seção transversal da tubulação.....	96

12 Comprimento da tubulação.....	96
13 Relação entre rugosidade e diâmetro.....	97
14a Código fonte para o temporizador “Timer3” .....	97
14b Código fonte para o temporizador “Timer3”.....	98
15 Velocidade.....	98
16 Número de Reynolds.....	98
17 Cálculo por iterações do fator de resistência “f” por meio da fórmula de Colebrook e White.....	99
18 Perda de carga.....	99
19a Íntegra do conteúdo da tela de ajuda ao módulo TEORIA.....	110
19b Íntegra do conteúdo da tela de ajuda ao módulo TEORIA.....	111
20 Íntegra do conteúdo da janela “Texto:” do item “Força Hidrostática Sobre Superfície Plana Horizontal” da seção “Embasamento teórico”.....	113
21 Íntegra do conteúdo da janela “Questões para Pesquisa”, comum a todos os itens.....	114
22 Íntegra da janela “Texto:” do item “Superfície Plana Vertical”.....	115
23 Íntegra da janela “Texto:” do item “Superfície Plana Inclinação”.....	117
24 Íntegra da janela “Texto:” do item “Superfície Curva”.....	119
25 Fluxograma inicial do módulo TEORIA.....	120
26a Código fonte para o módulo TEORIA.....	121
26b Código fonte para o módulo TEORIA.....	122
26c Código fonte para o módulo TEORIA.....	123
27a Código fonte da manipulação de dados que envolvem aplicação de princípios físicos dentro do módulo LABORATÓRIO para o título FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.....	135

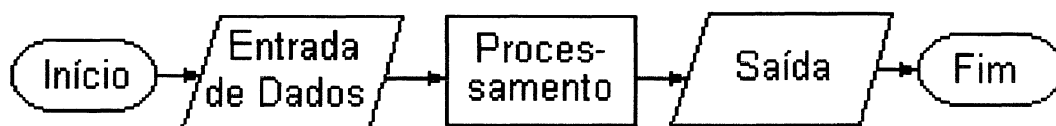
27b	Código fonte da manipulação de dados que envolvem aplicação de princípios físicos dentro do módulo LABORATÓRIO para o título FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.....	136
27c	Código fonte da manipulação de dados que envolvem aplicação de princípios físicos dentro do módulo LABORATÓRIO para o título FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.....	137
28a	Íntegra do texto de orientação.....	141
28b	Íntegra do texto de orientação.....	142
29a	Código fonte do utilitário INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO.....	145
29b	Código fonte do utilitário INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO.....	146

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Descrição do problema

Essa dissertação pretende, por meio de um contexto de exemplos, comprovar a eficiência da PROGRAMAÇÃO INTERATIVA quando aplicada como complemento no ensino das disciplinas de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica.

Antes de abordar os objetivos e o conteúdo propriamente dito deste trabalho é importante ter uma idéia do que se quer dizer com a expressão “*Programação Interativa*”. Imagine-se uma situação normal e corriqueira de utilização da informática na resolução de problemas. As operações, de uma forma genérica, ocorreriam, possivelmente, da seguinte forma:



Ou seja, o usuário entra com alguns dados e obtém uma resposta. Isto é perfeitamente válido e útil se os objetivos estão em obter respostas de forma rápida e eficiente e se fundamenta no fato de que o computador é uma máquina que processa dados com extrema velocidade e precisão. Se os processos de cálculo são repetitivos, a relação esforço de programação por benefícios se otimiza ainda mais. Agora, traduzindo esta utilidade num

exemplo bastante simples: pode-se imaginar um pequeno programa de computador que calcule a velocidade média de um móvel tendo como dados de entrada o espaço percorrido e o tempo gasto no percurso; o usuário, entrando com os valores, obterá uma resposta rápida e precisa. O processo normal utilizado em computação seria uma etapa inicial relacionada com a entrada de dados, uma rotina elementar para o cálculo da velocidade, a partir de valores acumulados em determinadas variáveis, uma saída e isso é tudo. Perfeitamente viável, se os objetivos estão apenas em obter resultados, porém sob outro ponto de vista este processo pode deixar algo a desejar.

**Ao entrar com os dados e obter uma resposta pronta e rápida, perde-se a essência, deixa-se de presenciar o acontecimento, não observa-se o fenômeno.**

Essa seria uma perda lamentável para alguém que está aprendendo e procurando entender as leis físicas que regem os fenômenos. Obter resultados corretos é, sem dúvida, importante, mas qual o significado de um número como resposta, qual a sua importância, se existe dificuldade em associá-lo ao correspondente efeito? Se esta correspondência não for perfeitamente clara, o número não terá significado prático algum. Entretanto, se aliado ao número, for possível vivenciar o efeito, terá se introduzido todas as informações que se complementam, se integram, se harmonizam.

É neste ponto que se procura defender a introdução da “*Programação Interativa*”, uma forma diferente e atual de programação computacional que utiliza recursos recentes de *software e hardware* em um estilo de *interface* com o usuário que propicia sua participação, sua interferência e a visualização dos acontecimentos. No exemplo citado anteriormente, significa que é possível



observar o corpo em movimento, interromper esse movimento provisoriamente, verificar situações intermediárias, reiniciar, alterar parâmetros, enfim, participar efetivamente das ocorrências, interferindo e observando resultados de forma a ter a noção do que realmente representa a grandeza física velocidade e a sua relação com o espaço e o tempo, numa situação que procura transferir o fenômeno real para a tela do computador.

Esse estilo de programação utiliza os recursos da Computação Gráfica, composto por imagens digitalizadas, desenhos e fotografias escaneadas, animações, quadros de diálogo, formulários, tabelas, gráficos bi e tridimensionais, quadros de texto e imagem, botões de comando, botões de opção, dispositivos gráficos para entrada e saída de dados, enfim, uma variada gama de instrumentos com o potencial de, em conjunto, fornecer uma ferramenta que viabilize a “interação”, a capacidade de relacionamento em tempo de execução entre o usuário e o programa que está sendo rodado no computador. Estes instrumentos fazem parte de linguagens de programação orientadas por eventos<sup>1</sup>, em conjunto com o ambiente “*Windows*”, onde os programas são processados a partir de determinados eventos e não na forma tradicional das linguagens estruturadas nas quais os programas são, normalmente, manipuladores de dados de entrada e fornecedores de uma saída, percorrendo uma série de instruções em seqüência, que constituem o código do programa de computador. Na programação orientada por eventos essas instruções são realizadas a partir de um evento, uma ação ou orientação do usuário, ou seja, ocorre uma interferência contínua do usuário dentro da

---

<sup>1</sup> Esclarecimentos adicionais sobre linguagens orientadas por eventos podem ser obtidas na bibliografia especializada. Para o embasamento deste trabalho utilizou-se a publicação traduzida para o português pela Edidata - Publicações de Informática e editada pela Editora Campus do livro de Steven Holzner and The Peter Norton Computing Group, intitulado *Visual Basic for Windows - Versão 3.0*. Ver REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

disponibilidade oferecida pelo programa. Assim, é estabelecido o domínio do usuário sobre a seqüência que é executada, ou seja, uma interferência pode ser provocada no processamento que está sendo desenvolvido. É um encargo do programador proporcionar o grau de interferência e habilitar esta interferência de forma apropriada. No caso deste trabalho foi utilizado, como linguagem de programação, o *software Visual Basic 3.0 Professional Edition for Windows*. Utilizaram-se, ainda, programas de apoio, na construção de gráficos como o *Autocad Release 13*, *Adobe PhotoShop LE*, *Photo Morph*, *Conversion Artist*, na edição de textos o *Microsoft Word 6.0 for Windows* e como gerador de textos em código ASCII<sup>2</sup> o editor *Write* e ainda acessórios como o *Word Art* e *Windows Paintbrush*.

Os programas foram desenvolvidos em um computador *PC Pentium*, com "clock"<sup>3</sup> de 100 MHz e 32 MB de memória RAM<sup>4</sup>, monitor Super VGA<sup>5</sup>, com resolução em 800 x 600 pixels e 256 cores. Para utilização do *software* será necessário um computador PC<sup>6</sup> ou compatível, com processador 80386, ou mais recente, ambiente *Windows 3.x* ou mais recente, memória RAM mínima de 8 MB, espaço livre no disco rígido de 12 MB (para a atual versão de demonstração), monitor Super VGA configurado para a resolução 800 x 600

---

<sup>2</sup> ASCII - American Standard Code for Information Interchange. Código de caracteres utilizado para intercâmbio de arquivos entre vários programas de computador.

<sup>3</sup> Clock - Expressão habitualmente utilizada para designar a velocidade da unidade central de processamento normalmente estabelecida no número de operações binárias por segundo.

<sup>4</sup> RAM - Random Access Memory. Memória física com acesso aleatório com função de retenção de dados em tempo de operação.

<sup>5</sup> VGA - Video Graphics Array. - Padrão da placa controladora de vídeo VESA LOCAL BUS para monitores compatíveis com computadores tipo PC.

<sup>6</sup> PC - Personal Computer - International Business Machines - IBM Corporation. - E.U.A.

pixels e 256 cores (configuração de vídeo para código de 8 bits<sup>7</sup>). É, ainda, apropriado que a “*Memória virtual*” para o ambiente *Windows*<sup>8</sup> seja configurada em pelo menos 20 MB em um arquivo contínuo permanente e que o modo de operação seja o “*386 avançado*”; para um melhor desempenho é desejável que o acesso aos arquivos e ao disco seja na forma de 32 bits.

O título “**PROGRAMAÇÃO INTERATIVA EM MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA**” reflete o contexto desse trabalho que se refere à aplicação desse método de programação às disciplinas de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica nos cursos de diversas modalidades de Engenharia.

O trabalho tem, como princípio, ser um instrumento introdutório e de caráter demonstrativo; não tem a pretensão de ser definitivo, ou de ser uma solução por excelência, mas servir como um ponto de partida, procurando, através do seu posterior desenvolvimento, o aperfeiçoamento e a aplicação. No momento em que se presencia o surpreendente avanço tecnológico que ocorre na área da informática, não deve-se permanecer alheio às suas inesgotáveis possibilidades, mas tomar partido desses novos recursos. Dessa forma, ter-se-á criado o ambiente propício para novas metodologias de preparo, de aprendizado, de enfrentamento dos desafios tecnológicos do século XXI.

Na concepção desse instrumento teve-se a oportunidade de verificar a excelente aplicação da Programação Interativa no que se refere à simulação de alguns experimentos do Laboratório Didático de Mecânica dos Fluidos e

---

<sup>7</sup> bit - Menor unidade de informação digital. Pode assumir o valor 0 ou 1, a condição Sim ou Não, o estado Ligado ou Desligado, a alternativa Verdadeira ou Falsa. Um código de 8 bits compreende uma seqüência que resulta em  $2^8$  (256) possibilidades para uma informação, no caso, a cor de um pixel.

<sup>8</sup> Microsoft Windows 3.1, Microsoft Windows 3.11 for Workgroups, Microsoft Windows 95, são marcas registradas da Microsoft Corporation. - E.U.A.

Hidráulica da Universidade Federal do Paraná. Tais experimentos, após serem vivenciados pessoalmente no laboratório, podem ser executados pelo usuário nos simuladores computacionais que proporcionam uma ampla gama de variações e na forma real de proceder. Procurou-se, nesse sentido, reproduzir, na tela do computador, os mesmos instrumentos, aparelhos, dispositivos, materiais e lista de procedimentos que são utilizados no laboratório didático, tornando a simulação o mais fiel possível à experiência real. Dessa forma criou-se um ambiente de trabalho conhecido na Ciência da Computação como **REALIDADE VIRTUAL**, onde a expectativa da realidade é transposta ao ambiente computacional. Não obstante, foi introduzido um conjunto de módulos integrados, que proporcionam informações e atividades relativas a determinado assunto de forma a criar um ambiente de trabalho computacional que se interrelaciona com a atividade didática normal. A operação dos componentes desse conjunto ocorre, sempre, de forma interativa, ou seja, sempre será provocado o envolvimento e a efetiva participação do usuário no prosseguimento de um título de forma a provocar a *“interação”*.

Este conjunto integrado é constituído pelos módulos:

### **1 TEORIA:**

Onde são fornecidas informações teóricas a respeito do assunto em questão ou são desenvolvidos exercícios que abordem o conteúdo teórico;

### **2 LABORATÓRIO:**

Onde é simulada uma experiência real de laboratório;

### **3 TAREFAS:**

São fornecidas propostas de atividades com relação aos módulos componentes;

#### **4 PROBLEMAS:**

Problemas resolvidos e propostos;

#### **5 AVALIAÇÃO:**

Sistema interativo de avaliação.

O conjunto de programas pode ser manipulado segundo várias alternativas. Com referência à utilização desses programas incluiu-se, nessa dissertação, o capítulo APLICAÇÕES, onde se encontra uma discussão a respeito da utilização desses programas em três propostas:

1. Avaliação monitorada computacionalmente;
2. Aula automatizada computacionalmente;
3. Auto estudo.

Com a intenção de se estabelecer os primeiros estudos com relação ao desenvolvimento de um plano de implantação efetiva do sistema proposto, o capítulo IMPLANTAÇÃO SISTEMÁTICA, foi incluído no trabalho. Nesse capítulo são abordadas as necessidades básicas para o desenvolvimento progressivo de todo o sistema.

Existe uma tendência mundial para que os computadores se tornem cada vez mais acessíveis. Especialmente no meio acadêmico, ele pode se tornar uma ferramenta que venha a se integrar perfeitamente em todo o contexto estudantil, influenciando a forma de aprendizado. Ser uma extensão e um complemento da sala de aula pode ser uma difícil meta, mas não impossível de ser atingida como pretende-se provar a seguir.

Uma das características que julgou-se de suma importância e que foi implantada nos programas é a capacidade de atualização, alteração e adaptação às circunstâncias de forma a não ter em mãos um “pacote”<sup>9</sup> fechado, sem acesso, do qual sejamos meros observadores. Ter o acesso às fontes que geram o produto final, pode, eventualmente, ser uma grande vantagem para que se possa, em virtude da experiência adquirida com o uso, torná-lo melhor, mais eficiente, com características que sejam o resultado de uma ampla discussão entre especialistas.

Alguém poderia chamar este conjunto de programas de “*Apostila Eletrônica*”, e na verdade não poderia ser recriminado por isso, a não ser pelo fato de que esse não é um instrumento de mera leitura ou observação como se os usuários estivessem apenas lendo um livro, uma apostila ou assistindo um filme de forma passiva. Aliás, procurou-se de todas as formas abolir a passividade na utilização desse “*software*”. Na operação destes programas de computador o usuário estará, de fato, participando, entrando com dados, revendo, reavaliando, aprendendo, fixando conhecimentos, adquirindo informações de uma forma agradável, verificando erros e acertos de uma forma automatizada; e estará, sobretudo, **vendo os fenômenos acontecerem**.

## 1.2 Metodologia

A apresentação escrita desse trabalho é efetuada na forma em que ele acontece em sua via computacional, ou seja, é composto por **CONJUNTOS** ou **MÓDULOS** que abrangem uma determinada **ATIVIDADE**; estes, por sua

---

<sup>9</sup> Existem, no mercado, diversos títulos em programação convencional, numa extensa gama de aplicações em áreas científicas, inclusive na Mecânica dos Fluidos e na Hidráulica. Sua utilização se resume à mera operação já que o acesso ao código fonte não é disponível.

vez, podem ser aplicados a vários **ASSUNTOS** ou **TÍTULOS** como mostra a figura 1.

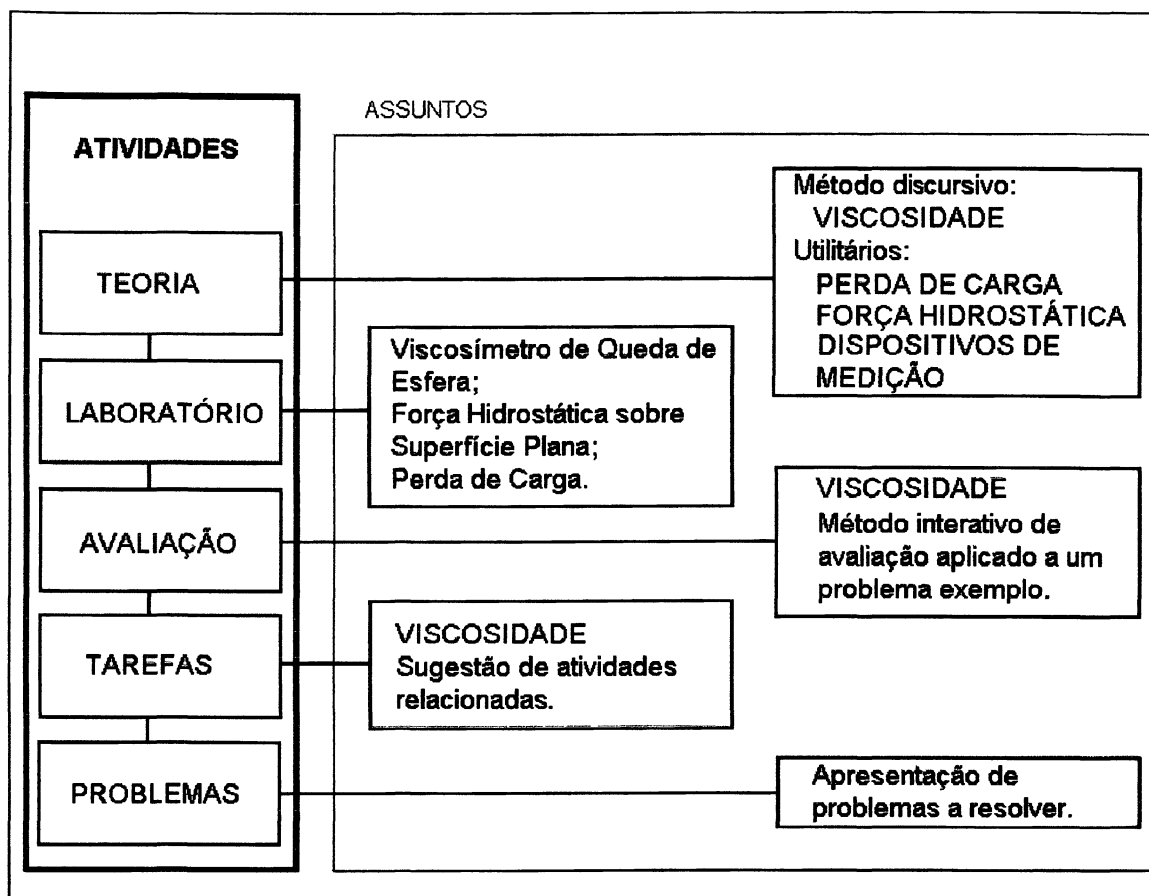


Figura 1 : Representação dos elementos componentes e suas aplicações.

Os módulos, como elementos componentes de um título, possuem em comum o assunto referente ao título, porém seus objetivos são distintos, o contexto de cada módulo é diferenciado. Assim, o tratamento no que se refere à apresentação e discussão de cada módulo é independente e as eventuais interligações são discutidas no respectivo título que abrange o conjunto de módulos.

Os títulos apresentam as seguintes características:

1. Uma introdução geral ao título de forma a fornecer informações que proporcionem a integração de seus módulos componentes;
2. O módulo **TEORIA**, que além de apresentar a configuração computacional e sua manipulação, se concentra no embasamento conceitual do assunto. Inclui reproduções de todas as telas da via computacional e o respectivo texto justificativo. No caso de atividades que envolvam processamento de dados de entrada pelo usuário, os respectivos códigos “fonte” são reproduzidos em conjunto com notas de esclarecimento;
3. O módulo **LABORATÓRIO**, que descreve o respectivo ensaio real e o ensaio simulado, incluindo reproduções das telas e o texto explicativo, que estabelece os subsídios para comparação da atividade experimental real e aquela proposta na simulação, que contém as rotinas em código “fonte” descrevendo e desenvolvendo o equacionamento matemático e físico utilizado. Apresenta, ainda, uma completa justificativa com relação às restrições e potencialidades do programa;
4. O módulo **TAREFAS**, no título **VISCOSIDADE**, que retrata as telas de texto utilizadas, as opções de emprego e suas justificativas;
5. O módulo **PROBLEMAS**, no título **VISCOSIDADE**, que reproduz os problemas propostos e resolvidos em sua íntegra, bem como as fontes;
6. O módulo **AVALIAÇÃO**, no título **VISCOSIDADE**, que descreve, passo a passo, o processo e a metodologia aplicados. As rotinas em código “fonte” estarão reproduzidas para averiguação do controle do programa sobre a atividade do usuário.



Sempre estarão incluídas informações acerca da operação do programa pelo usuário. Esta parte terá a função de um “Manual de Operação”, que explica como acessar e operar os diversos módulos e estabelece normas de conduta. Os programas foram desenvolvidos de forma a impossibilitar a entrada de dados incoerentes ou o acionamento de controles incompatíveis. Entretanto, uma conduta não comedida pode conduzir a erros de processamento, ultrapassagem de capacidade de memória e outras conseqüências, das quais se originará a interrupção abrupta do programa. De uma forma geral não haverá uma preocupação em se expor as características peculiares da linguagem de programação, ou de como ela trabalha em cada um de seus controles, pois considera-se não ser pertinente ao conteúdo desse trabalho o detalhamento do *software* gerador das aplicações aqui elaboradas. Exemplificando esta postura: pode-se citar que o movimento em determinada animação possui uma relação direta com o tempo em que um fenômeno ocorre na realidade; porém, não é do âmbito dessa dissertação descrever a manipulação gráfica ou os controles internos que proporcionam essa animação. Os controles utilizados para entrada e saída de dados, como botões, quadros de diálogo, barras de rolagem, etc., são características da linguagem de programação e, portanto, auto explicativos. Informações a respeito da linguagem de programação em si, podem ser obtidas nos livros e documentação<sup>10</sup> anexa ao *software* constantes na referência bibliográfica desse trabalho. Entretanto, quando se fizer necessário, serão introduzidas informações a respeito do *software* de forma a esclarecer determinados

---

<sup>10</sup> Para o embasamento relativo ao *software* gerador das aplicações desse trabalho utilizou-se a publicação traduzida para o português pela Edidata - Publicações de Informática e editada pela Editora Campus do livro de Steven Holzner and The Peter Norton Computing Group, intitulado *Visual Basic 3.0 for Windows*. Ver REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

procedimentos adotados. Considera-se, por outro lado, importante a apresentação das rotinas de processamento de dados. Estas sim envolvem um tratamento matemático e físico com as variáveis e é delas que obtêm-se as respostas para as aplicações. O código “fonte” normalmente estará reproduzido acrescido de notas explicativas ou do desenvolvimento de expressões matemáticas. Estas notas estarão, invariavelmente, entre chaves, de forma a distingui-las do código “fonte”. Também se faz presente uma lista das variáveis envolvidas em cada módulo, sua descrição e seu cálculo.

Os módulos terão, normalmente, suas particularidades. A comparação, por exemplo, do módulo TEORIA a respeito do assunto VISCOSIDADE e o mesmo módulo a respeito do título PERDA DE CARGA, permitirá notar o tratamento diferenciado dado a cada um dos módulos. No primeiro a configuração é totalmente textual; no segundo o tratamento é prático. Justifica-se esta conduta em função do caráter desse trabalho que se resume numa apresentação **genérica** de um sistema. Nos diversos módulos componentes apresentam-se várias alternativas de colocação dos elementos de forma a obter-se uma visão das potencialidades propostas de forma gradativa. Evidentemente, estas potencialidades podem ser agrupadas de forma a obter-se módulos completos, reunindo todas as variações de atividades integradas. Esse agrupamento conduz a um volume extraordinário de informações e de atividades relacionadas ao mesmo assunto, o que é extremamente útil e benéfico ao produto final. Julga-se, porém, ser desnecessário, na presente fase do desenvolvimento deste trabalho, que possui um contexto demonstrativo. Assim, pode-se verificar que determinado módulo possui um caráter textual, enquanto o mesmo módulo referente a outro título possui um

caráter prático, ou experimental, ou indutivo, ou explicativo. Ou seja, pode-se ter diversas modalidades de apresentação, tendo-se em conta que elas sempre poderão ser aglutinadas em um mesmo módulo.

O módulo “AVALIAÇÃO” é um exemplo típico. Como se poderá ver, existem diferentes formas de conduzir a avaliação. As metodologias são apresentadas dentro de um único módulo de avaliação. A combinação entre essas modalidades pode produzir um elevado grau de variação na forma de apresentar e conduzir um módulo “AVALIAÇÃO”.

Outro ponto importante a ser abordado é a manutenção do sistema. Esse encargo abrange atividades de atualizações, alterações, correções, inserções, substituições e adaptações. Com relação a esse assunto inclui-se uma abordagem detalhada no capítulo IMPLANTAÇÃO SISTEMÁTICA, que apresenta um projeto de implantação do sistema com uma previsão de necessidades operacionais e sistemáticas.

### **1.3 Instalação e inicialização**

A instalação do conjunto de programas desenvolvidos nesta dissertação é automática a partir do instalador “SETUP.EXE” que se encontra no disco número 01 do conjunto de disquetes com arquivos compactados. Este disco deverá estar inserido no drive de 90mm (3,5”). Para usuários do sistema Windows 3.x, na janela “Gerenciador de Programas”, clicar sobre a opção “Executar...” do menu Arquivo do Gerenciador de Programas no Windows e na caixa de diálogo digitar “a:setup.exe”, ou “b:setup.exe”, dependendo da denominação do respectivo *drive*, como mostra a figura 2 da página 14.

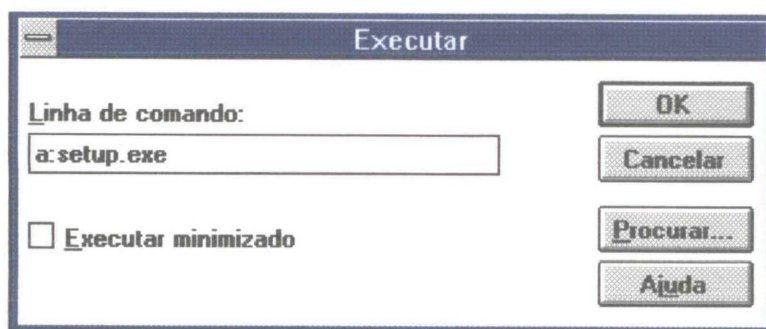


Figura 2 - Caixa de diálogo para execução do programa instalador.

Acionando a tecla “OK”, o programa “SETUP.EXE” se encarregará de proceder as rotinas necessárias para a descompactação e instalação completa dos programas no diretório “c:mecflu”, cuja denominação poderá ser alterada pelo usuário. Durante a instalação serão criados o grupo de programas e os respectivos ícones na janela “Gerenciador de Programas”. Para iniciar uma seção da “Programação Interativa em Mecânica dos Fluidos e Hidráulica”, basta um duplo “clique” sobre o ícone que aparece no grupo de programas “Mecânica dos Fluidos e Hidráulica”.

A tela de abertura do conjunto de programas encontra-se reproduzida na figura 3 da página 15. Esta tela apresenta as opções de acesso às diversas partes do conjunto. Escolhendo uma opção e clicando sobre a tecla “Segue para... >>”, abre-se a janela referente ao título escolhido.

A tela de abertura contém as opções de acesso aos títulos que foram incluídos neste trabalho. Incluiu-se, também, uma opção de acesso a uma janela de créditos que corresponde à exposição da finalidade e da autoria deste trabalho, a um módulo de ajuda que contém informações básicas para operação dos programas componentes e a uma janela de referências que contém a Referência Bibliográfica utilizada na concepção dos programas bem como o suporte experimental e teórico.



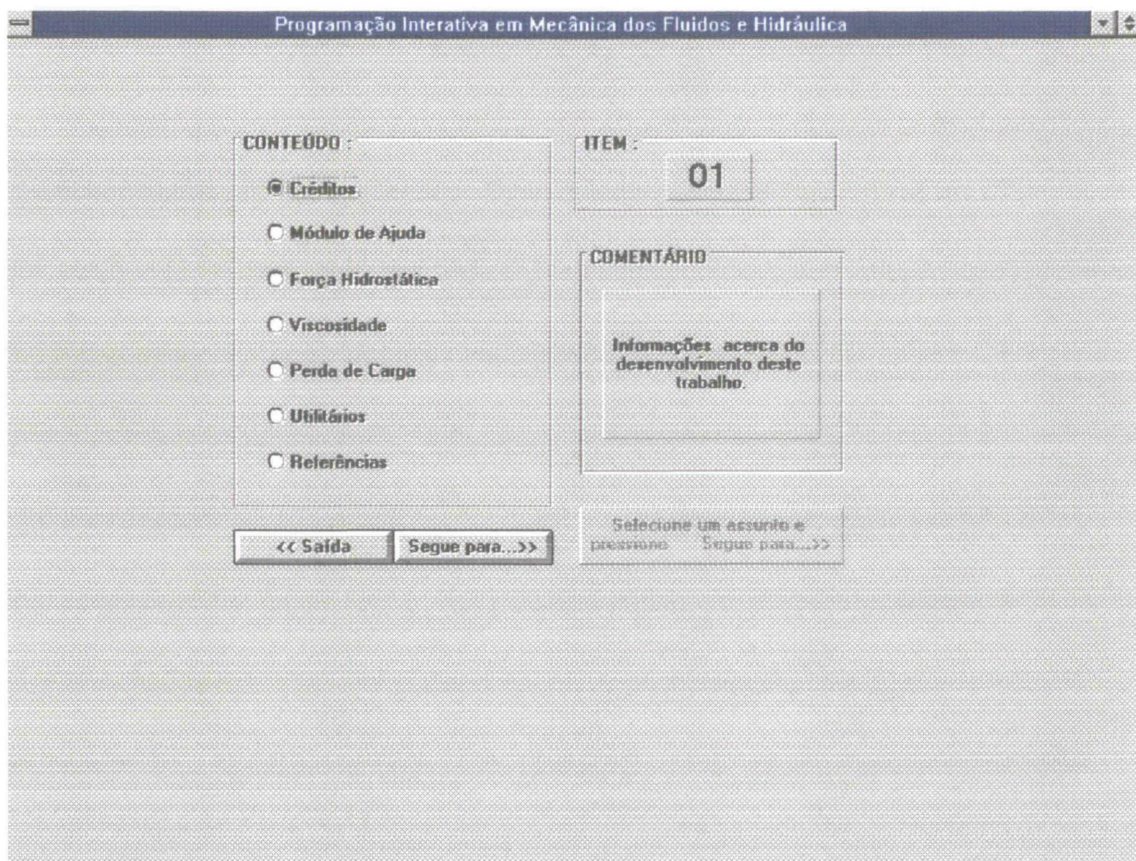


Figura 3 - Tela de abertura geral para o sistema "Programação Interativa em Mecânica dos Fluidos e Hidráulica".

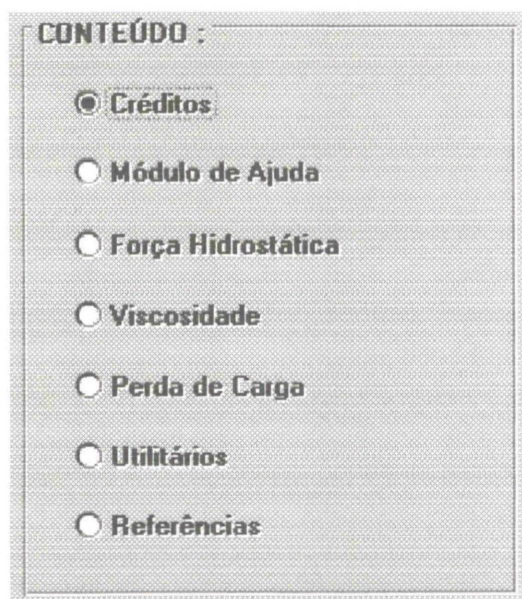


Figura 4 - Lista de opções.

As opções são acionadas através de um clique simples e para cada opção corresponde um breve comentário e um número de item que aparecem em "displays" ao lado direito, que se encontram reproduzidos em sua íntegra a seguir:

- Opção “Créditos”, item 01, comentário: “Informações acerca do desenvolvimento deste trabalho”;
- Opção “Módulo de Ajuda”, item 02, comentário: “Manual de operação geral”;
- Opção “Força Hidrostática”, item 03, comentário: “Estática dos fluidos. Aula prática: Determinação do centro de pressão para uma superfície plana vertical imersa”;
- Opção “Viscosidade”, item 04, comentário: “Dinâmica dos fluidos. Aula prática: Viscosímetro de queda de esfera”;
- Opção “Perda de Carga”, item 05; comentário: “Dinâmica dos fluidos. Aula prática: Perda de carga em tubos rugosos”;
- Opção “Utilitários”, item 06; comentário: “Exercícios práticos aplicados.”;
- Opção “Referências”, item 07, comentário: “Apresentação dos recursos bibliográficos, experimentais e técnicos para suporte das atividades”.

A tecla “<< Saída”, permite a finalização do programa retornando ao ambiente “Windows”.



## 2 VISCOSIDADE

O título **VISCOSIDADE** é composto pelos módulos padrões com as seguintes particularidades:

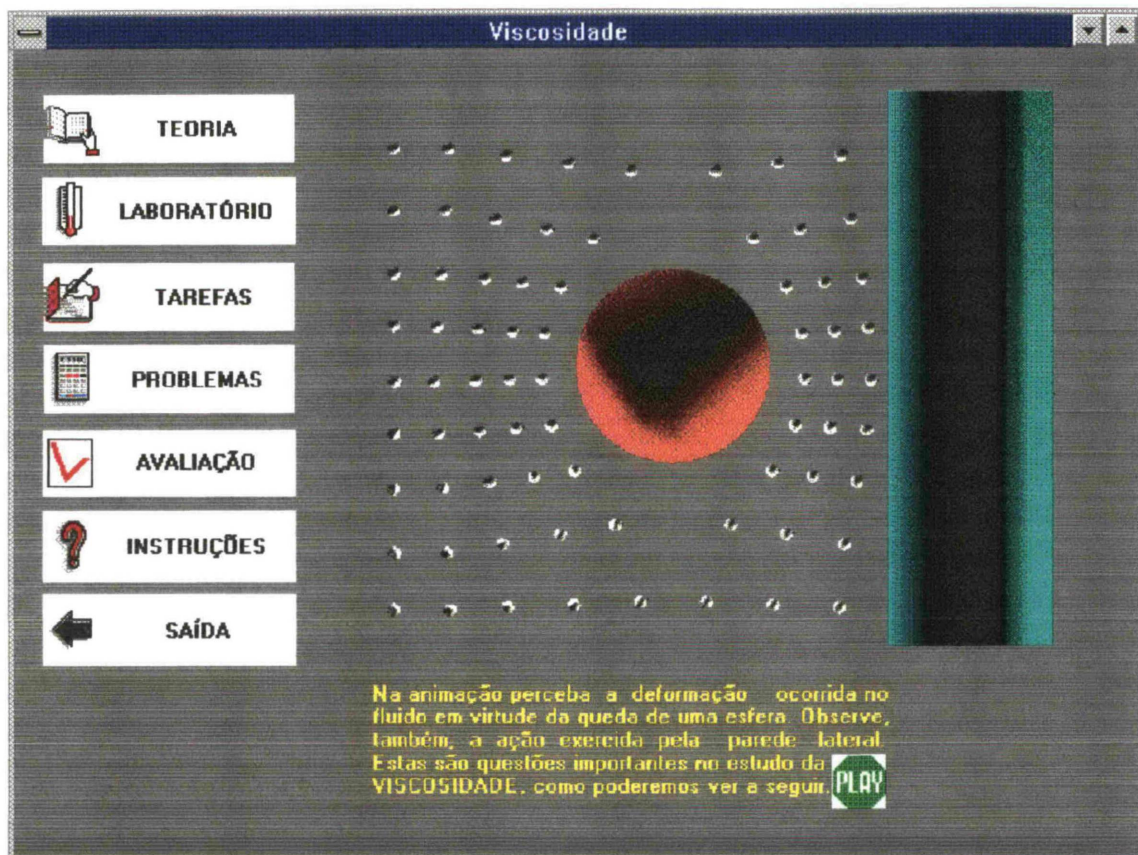


Figura 5 - Tela de abertura do conjunto VISCOSIDADE. Nesta etapa o usuário pode ingressar nos módulos componentes "clcando" sobre um dos quadros: TEORIA, LABORATÓRIO, TAREFAS, PROBLEMAS e AVALIAÇÃO. Para o usuário iniciante, há um módulo de ajuda acessado pelo quadro INSTRUÇÕES. O quadro SAÍDA, abre um campo de diálogo, solicitando a confirmação de saída do conjunto.

1. O módulo **TEORIA** apresenta uma série de páginas de tela com fundamentos conceituais a respeito desta propriedade dos fluidos. Neste exemplo para o módulo **TEORIA** verifica-se a utilidade desse método de programação quando a teoria a respeito do assunto é essencialmente textual. Neste caso o texto é acompanhado de gráficos e quadros com imagens e animações, porém não existe uma atividade participativa, o usuário é exclusivamente um assistente daquilo que é apresentado, tendo, entretanto, controle seqüencial sobre a apresentação.

2. O módulo **LABORATÓRIO** simula uma experiência real utilizando um viscosímetro de queda de esfera com o acréscimo de algumas condições não possíveis de serem realizadas no experimento real. Com a simulação pretende-se estimular o usuário à prática da averiguação e confrontação de resultados, assim como fixar a metodologia aplicada em virtude da facilidade de manuseio do simulador e das alternativas que ele apresenta.

3. O módulo **TAREFAS** é composto por sugestões de atividades relacionadas aos módulos componentes, especialmente o módulo laboratório e o módulo problemas. Estão contidas atividades específicas aos módulos que oportunamente podem fazer parte do programa oficial das disciplinas funcionando em conjunto de forma a haver uma integração completa.

4. O módulo **PROBLEMAS** se resume em um problema resolvido. Este módulo tem a função, neste trabalho, de demonstrar a forma de apresentação dos instrumentos.

5. O módulo **AVALIAÇÃO** apresenta um exemplo de auto avaliação conduzida.



Existem, em todos os módulos, citações a outros módulos que possam envolver assuntos que se complementem. Este será um processo automático de chamada comandado pelo usuário. Isto é, quando houver assuntos relacionados e complementares em módulos diferentes, o usuário terá à sua disposição comandos de chamada para averiguar a interligação existente.

## **2.1 Viscosidade - Módulo Teoria**

O módulo TEORIA do título VISCOSIDADE dá um tratamento interativo aos conceitos relacionados com a viscosidade, apresentando um desenvolvimento na forma de textos. Estes textos são acompanhados de figuras, imagens animadas e gráficos, que em conjunto compõem uma das modalidades de apresentação dos diversos módulos TEORIA. No caso do título VISCOSIDADE o desenvolvimento do módulo é gerido pelo usuário através do acionamento de botões específicos aos quais atribui-se determinada ação, como prosseguir no estudo, retornar, verificar uma animação, visualizar determinado gráfico, etc. Esta é a modalidade textual discursiva. Nessa modalidade a interação com o usuário se encontra na forma do desenvolvimento e apresentação do assunto. Aqui o usuário não terá condições de testar parâmetros, entrar com dados ou operar variáveis. Sua função será de assistente daquilo que é apresentado, porém essa apresentação é conduzida pelo próprio usuário que terá acesso às diversas telas de forma programada e conseqüente. Essa formulação discursiva é composta por páginas de visualização que, como em um livro, são estudadas seqüencialmente.

É conveniente reiterar que as diversas modalidades de concepção de um módulo podem se compor entre si de forma a criar um módulo completo, obtendo-se uma poderosa ferramenta que englobe todas as potencialidades disponíveis. Pode-se, por exemplo, utilizar a modalidade discursiva em conjunto com a modalidade prático-experimental (ver título PERDA DE CARGA) e ainda com a modalidade indutiva (ver título FORÇA HIDROSTÁTICA), a fim de criar um módulo TEORIA que trate o assunto do título em toda sua extensão, atingindo os limites de sua edição e empregando todas as potencialidades disponíveis. Isso representa a meta para uma implantação a nível de operação efetiva. É nesse ponto que pretende-se deixar os atuais programas para serem utilizados de forma generalizada. Isso, entretanto, deve ser o resultado de um amplo plano de pesquisa e discussão cujo desenvolvimento encontra-se detalhado no capítulo IMPLANTAÇÃO SISTEMÁTICA.

Apresenta-se, a seguir, a composição do módulo TEORIA do título VISCOSIDADE. Após o acesso ao módulo através do menu geral com o acionamento do campo TEORIA (ver figura 5, página 17), a primeira tela aparece mostrando um índice relativo aos temas abordados (ver figura 6, página 21). A tela apresenta uma relação dos temas no quadro “ÍNDICE” que podem ser selecionados por um “clique” com o *mouse*; ao tema selecionado corresponde um número de página para mera referência e um breve comentário que aparece num quadro ao lado. A partir dessa tela é possível acessar qualquer tema selecionado. O acesso pode ser direto ao tema, selecionando o item desejado e clicando sobre a barra “Segue para... >>”. Entretanto, é aconselhável o início no item “Introdução”. Essa tela será,

também, a saída do módulo. “Clicando” sobre a barra “<< Saída” aparece, logo após essa manifestação, um quadro de mensagem solicitando a confirmação de finalização.

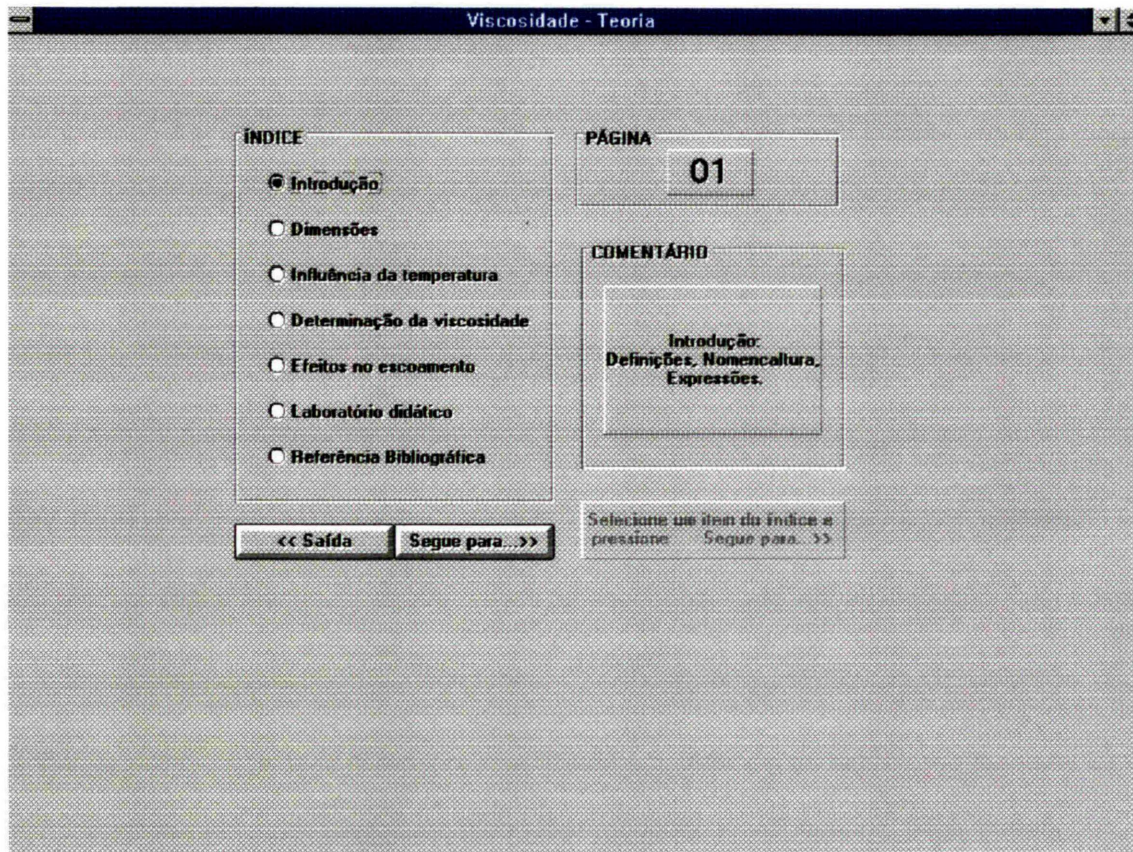


Figura 6 - Reprodução da tela ÍNDICE do módulo TEORIA para o título VISCOSIDADE.

O item “Introdução” é apresentado em três páginas. A primeira mostra uma definição a respeito da viscosidade procurando incutir a noção de diferença de velocidades entre camadas adjacentes no movimento de um fluido conduzindo ao surgimento de tensões tangenciais. Procura estabelecer, também, a diferença entre o surgimento dessas tensões nos sólidos e nos fluidos. Aparece uma animação com o movimento do fluido no interior de um conduto onde procurou-se representar o escoamento, com ênfase para o perfil



de velocidades e um breve texto. A reprodução desta página encontra-se na figura 7.

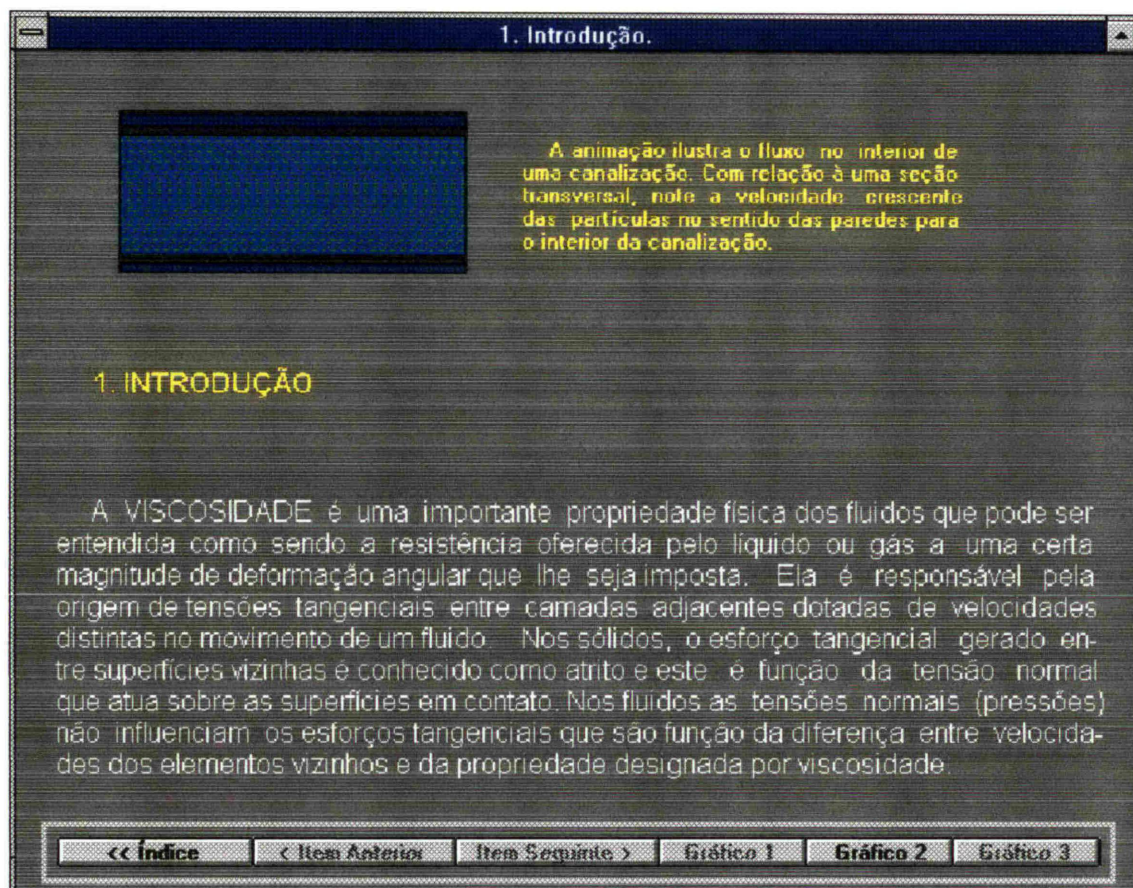


Figura 7 - Primeira página do módulo Teoria. Introdução ao efeito de surgimento de tensões tangenciais decorrentes da viscosidade em conjunto com uma animação que procura mostrar o perfil de velocidades do escoamento no interior de um conduto. A tecla “Gráfico 2” dá acesso à segunda página.

Acionando a tecla “Gráfico 2” tem-se acesso à segunda página onde se introduz o conceito de Viscosidade Dinâmica e apresenta-se a Lei da Resistência Viscosa de Newton, com apresentação de duas camadas fluidas adjacentes dotadas de velocidades distintas e os respectivos vetores velocidade sobre um par de eixos coordenados (figura 8 - página 23).



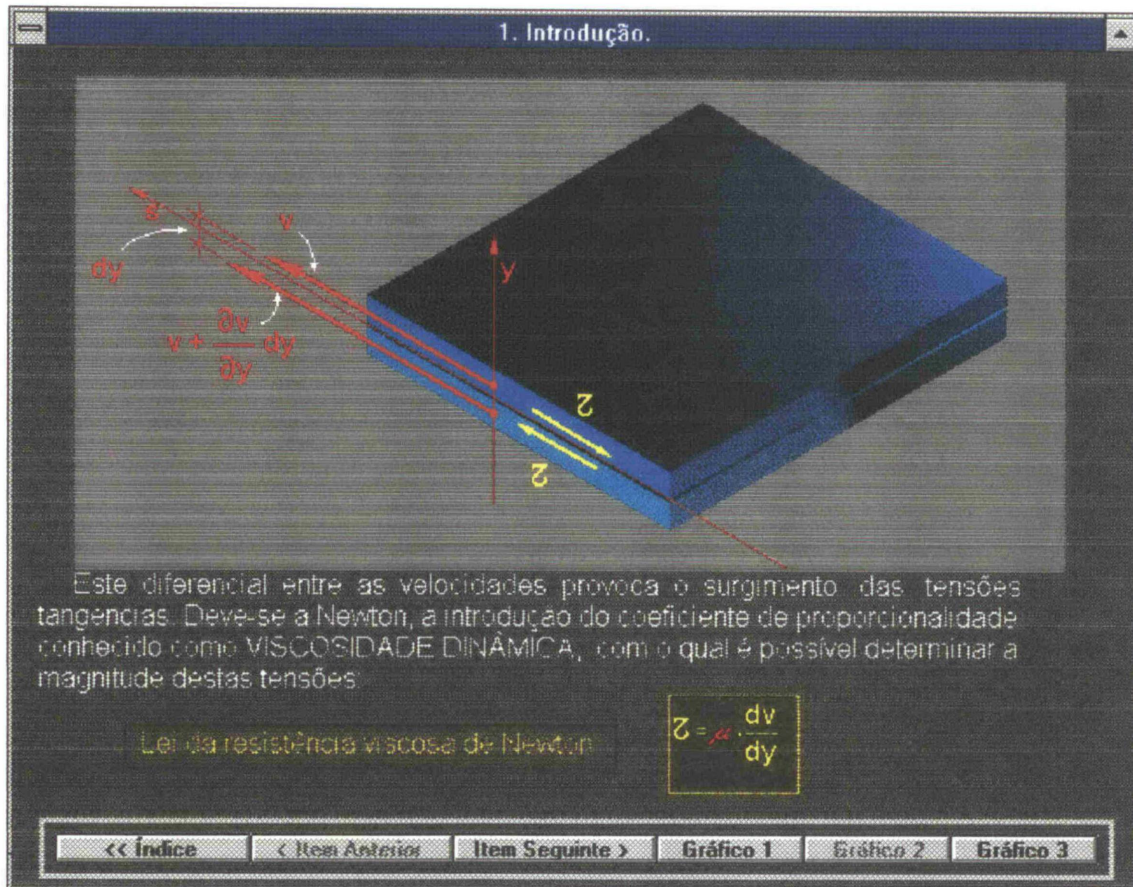


Figura 8 - Segunda página do módulo Teoria. A tecla “Gráfico 3” acessa a terceira página que complementa a introdução. É possível teclar “Gráfico 1”, retornado à primeira página.

Complementando a introdução, com um “clique” sobre a barra “Gráfico 3”, surge a terceira página onde apresenta-se a diferenciação dos fluidos com relação aos corpos sólidos, nos quais os efeitos de atrito são decorrentes das tensões normais e das características das superfícies dos materiais em contato. Introduce o conceito de Viscosidade Cinemática, considerada em situações onde os efeitos inerciais sobre o movimento se aliam aos efeitos viscosos, englobando duas propriedades dos fluidos. Essa página está reproduzida na figura 9 da página 24.



1. Introdução.

Para corpos sólidos a força de atrito,  $F_a$ , contrária ao movimento, é proporcional à força  $N$ , normal às superfícies em contato. Neste caso, o coeficiente de proporcionalidade (coeficiente de atrito) é dependente das características dos materiais em contato.

$$F_a = \mu \cdot N$$

Para os fluidos, os fatores determinantes da viscosidade são a coesão molecular nos líquidos e a agitação molecular nos gases, não sendo influenciada por tensões normais.

Nos escoamentos onde ocorram consideráveis efeitos inerciais, aliados a efeitos viscosos, é importante levar em conta a relação entre a VISCOSIDADE DINÂMICA e a massa específica do fluido.

Esta relação é denominada VISCOSIDADE CINEMÁTICA.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

<< Índice < Item Anterior Item Seguinte > Gráfico 1 Gráfico 2 Gráfico 3

Figura 9 - Terceira página do módulo Teoria. As teclas “Gráfico 1” e “Gráfico 2” estão disponíveis para eventual retorno às páginas anteriores. A tecla “Item Seguinte >” está, agora, disponível e acessa a página 04 que entra no item “DIMENSÕES”.

A quarta página inicia um novo item denominado “DIMENSÕES”. Nele aparece o desenvolvimento da Equação da Resistência Viscosa de Newton, com o objetivo de se obter as unidades para a viscosidade no Sistema Internacional de Unidades. A página 04 apresenta um desenvolvimento seqüencial onde são trabalhadas as unidades levando-se em conta o caráter dimensional. O operador deverá clicar, seqüencial e pausadamente sobre as setas localizadas à esquerda da tela e assim obterá um desenvolvimento, passo a passo, para a Lei da Resistência Viscosa de Newton e, por conseguinte, as unidades usuais para a Viscosidade Dinâmica e a Viscosidade Cinemática. Veja a figura 10 na página 25:

2. Dimensões

## 2. DIMENSÕES

Clique sequencial e pausadamente sobre o quadro:

6  $\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$   $\mu = \tau \cdot \frac{dy}{dv}$   $\mu = \frac{\text{Força}}{\text{Area}} \cdot \frac{\text{Distância}}{\text{Velocidade}}$   $\mu = \frac{MLT^{-2}}{L^2} \cdot \frac{L}{LT^{-1}}$

$\mu = ML^{-1}T^{-1}$  →  $\frac{N \cdot s}{m^2}$   $\text{Pa} \cdot s$  Newton x segundo / metro quadrado  
Pascal x segundo Unidades do S.I.

Estas são as unidades usuais para a **VISCOSIDADE DINÂMICA**, veja na sequência seguinte, clicando sobre a seta, as unidades usuais para a **VISCOSIDADE CINEMÁTICA**.

2  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$   $\nu = \frac{ML^{-1}T^{-1}}{ML^{-3}}$   $\nu = L^2 T^{-1}$   $m^2/s$  (metro quadrado por segundo no S.I.) - unidades eminentemente cinemáticas.

<< Índice   < Item Anterior   Item Seguinte >   Gráfico 1   Gráfico 2   Gráfico 3

Figura 10 - Tela do desenvolvimento seqüencial da Lei da Resistência Viscosa de Newton para obtenção das unidades no Sistema Internacional para a viscosidade.

Acionando a tecla “Item Seguinte >” o usuário é conduzido ao item relacionado com os efeitos da temperatura sobre a viscosidade. A tela apresenta um texto explicativo com relação a essa influência e demonstra gráficos da variação da viscosidade com a temperatura para alguns líquidos e gases. Existe uma lista de opções que poderão ser selecionadas pelo usuário para visualização dos gráficos que relacionam líquidos e gases, dois a dois, e uma opção que mostra todo o conjunto. Esta tela está reproduzida na figura 11 da página 26.



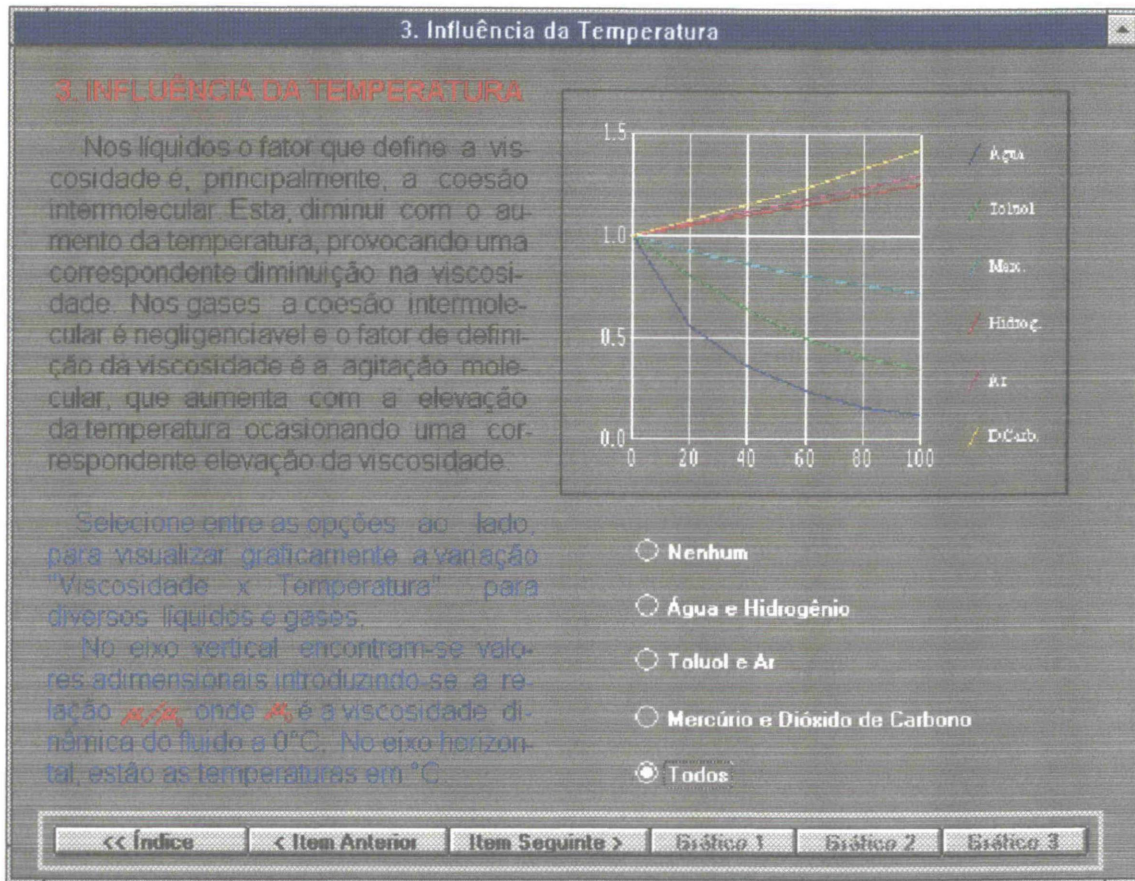


Figura 11 - Item relacionado com a influência da temperatura sobre a viscosidade incluindo a apresentação de gráficos Viscosidade x Temperatura para alguns fluidos líquidos e gasosos.

O acionamento da tecla "Item Seguinte >" dá acesso ao item "DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE", no qual são introduzidas noções sobre os aparelhos medidores de viscosidade - Viscosímetros - e inclui o exemplo de um deles. O item é composto por 3 páginas. A primeira apresenta um texto a respeito da medição da viscosidade e mostra uma vista geral de um viscosímetro que utiliza a transmissão de esforços através de efeitos viscosos para uma barra que sofre torção.



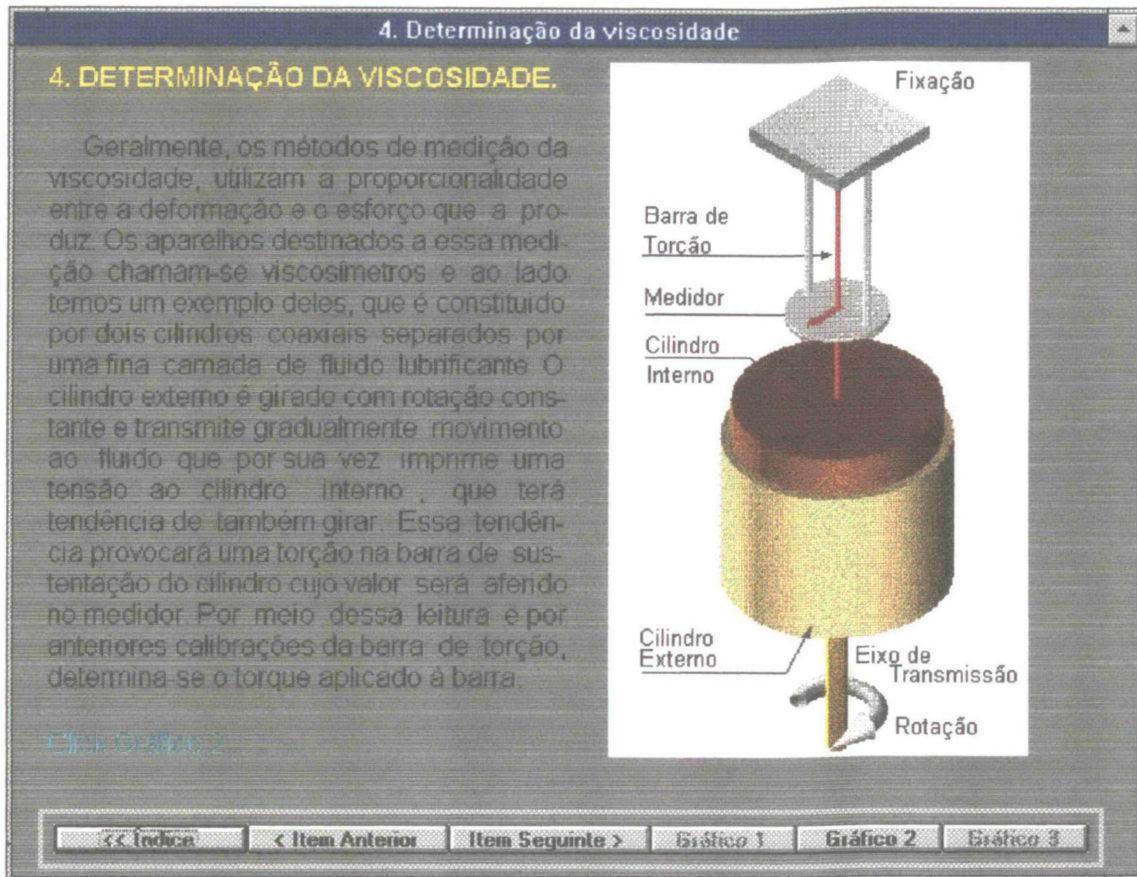


Figura 12 -. Apresentação de um viscosímetro de torção. <sup>11</sup>

A tecla “Gráfico 2” está disponível nesta tela e dá acesso à página seguinte, que comenta os fundamentos do aparelho em questão. Esta página apresenta um gráfico mostrando a relação linear entre o torque aplicado ao aparelho e a respectiva torção aferida para dois fluidos ensaiados. A partir de calibrações anteriores para um fluido de viscosidade conhecida é possível obter a viscosidade para qualquer outro fluido.

<sup>11</sup> O exemplo de viscosímetro incluído neste trabalho fundamentou-se no dispositivo apresentado no livro *Elementary Mechanics of Fluids* de Hunter Rouse - Iowa - Iowa City - EUA - em seu capítulo VI - *Effects of Viscosity on Fluid Motion*. Ver REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

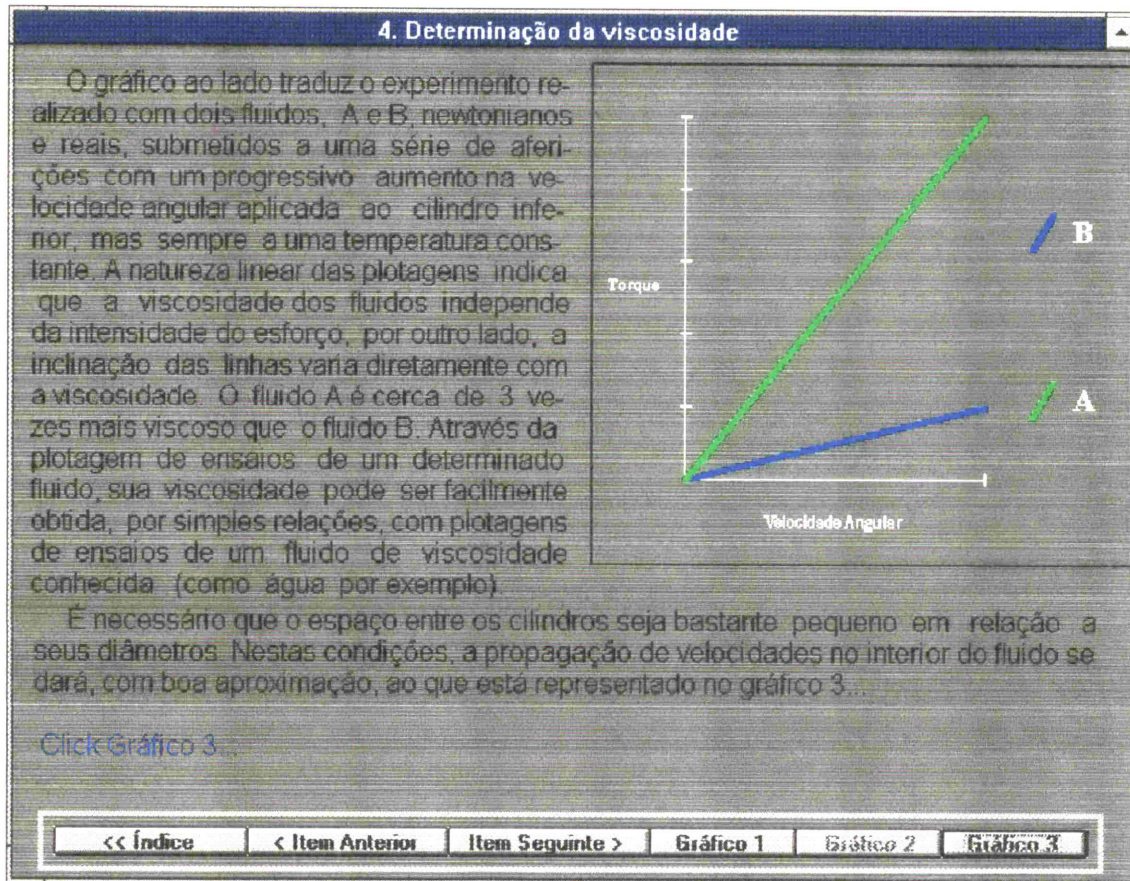


Figura 13 - Demonstração da utilização do Viscosímetro de Torção.

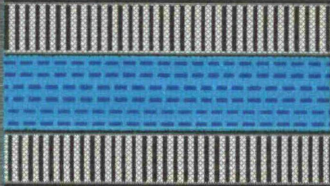
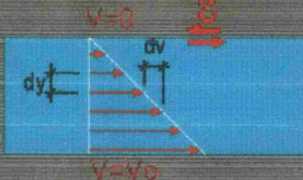
Acionando a tecla “Gráfico 3”, tem-se acesso à tela que reproduz os efeitos da operação do viscosímetro passo a passo. No canto superior esquerdo aparece um quadro animado que sugere a movimentação ocorrida no fluido e nas superfícies em contato. Este quadro é relacionado com os passos que são acionados, sucessivamente, pelo usuário.

No passo 1 o cilindro externo passa a se movimentar e transmite o movimento para as camadas internas do fluido. No passo 2 o fluido passa a transmitir movimento ao cilindro interno que gira com a mesma velocidade do fluido. No passo 3, o cilindro interno provoca a torção sobre a barra de sustentação, que por sua vez oferece resistência ao movimento. No passo 4, em virtude da torção, o cilindro interno cessa seu movimento e o fluido passa a



possuir velocidades diferentes em camadas adjacentes, ou seja, o fluido tem a velocidade  $v_0$ , velocidade tangencial de rotação, na superfície de contato com o cilindro externo e uma velocidade nula na superfície de contato com o cilindro interno.

### 4. Determinação da Viscosidade

$\tau_z = \mu \frac{dv}{dy}$

Se a lâmina de fluido for suficientemente pequena, a variação da velocidade no seu interior poderá ser considerada linear e o gradiente  $\frac{dv}{dy}$  como constante.

Acompanhe, passo a passo, o desenvolvimento do ensaio.  
Click Passo1...

O cilindro externo se movimenta com uma velocidade  $v_0$ .  
Click Passo2...

O líquido em contato com a superfície do cilindro passa a se movimentar com a mesma velocidade  $v_0$  e por tensões tangenciais transmite esse movimento às camadas vizinhas.  
Click Passo3...

O cilindro interno sofre tensão tangencial em sua superfície e se movimenta, provocando uma torção na barra de sustentação. O movimento do cilindro interno cessa quando houver equilíbrio entre o momento torçor e o torque aplicado à barra.  
Click Passo4...

O valor do torque é facilmente determinado, através da leitura da torção (deformação) e do módulo de elasticidade da barra.

Veja no módulo PROBLEMAS um exemplo de aplicação deste aparelho, bem como exercícios propostos.

Click "Replay" para rever esta demonstração.

Figura 14 - Demonstração das operações no viscosímetro de exemplo.

Ainda nesta tela, é feito um comentário a respeito da necessidade de uma pequena espessura para o fluido entre as superfícies, situação em que a variação da velocidade poderá ser considerada, para efeitos práticos, como linear e a relação  $dv/dy$  como constante. Existe, ainda, uma referência à aplicação deste aparelho e à sua formulação que se encontra no módulo PROBLEMAS deste título.



O próximo item a ser abordado expõe os efeitos da viscosidade no escoamento. Neste item encontra-se a clássica experiência de Reynolds<sup>12</sup> com um esquema da montagem do dispositivo experimental. Na primeira tela desse item, apresenta-se uma figura mostrando esquematicamente os dispositivos utilizados na experiência:

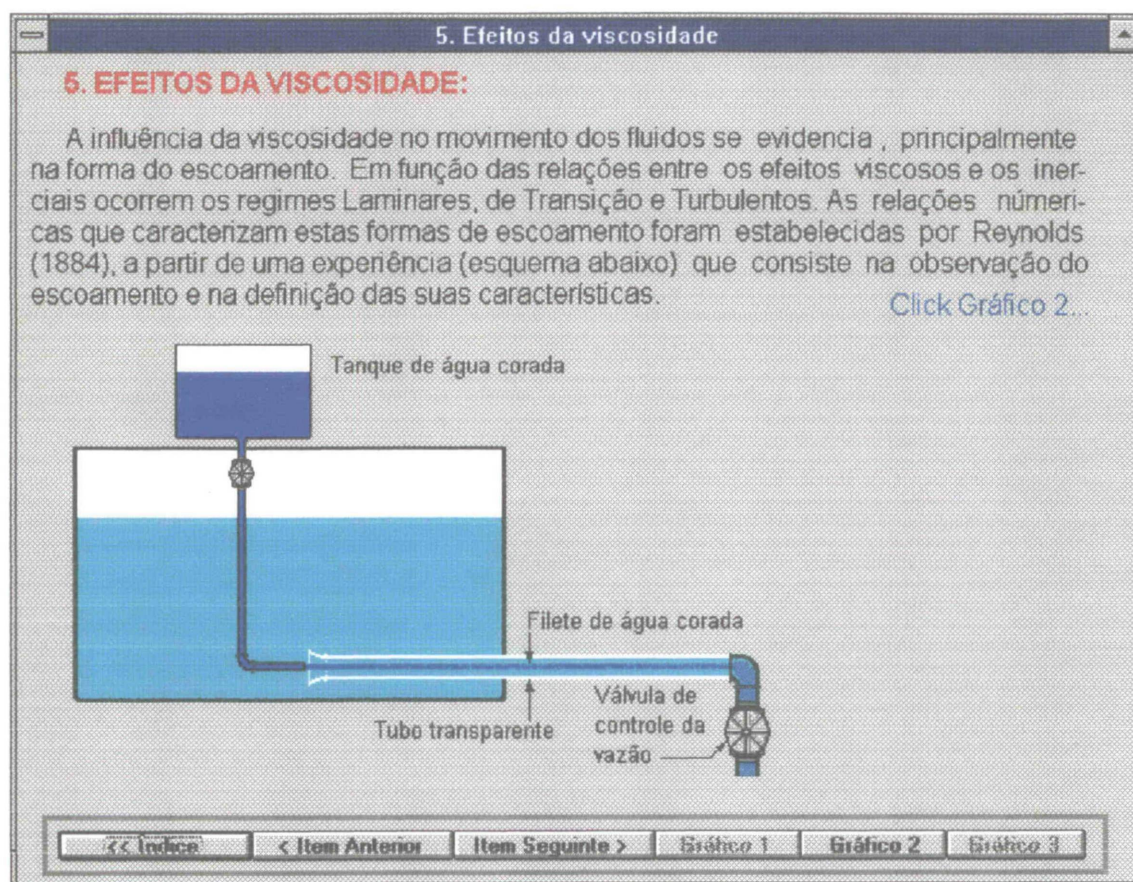


Figura 15 - Esquema da experiência de Reynolds.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Osborne Reynolds. Engenheiro e Físico inglês (Belfast, 1842 - Watchet - Somerset, 1912). Estudou os diversos regimes de escoamento dos fluidos viscosos, mostrou a existência de uma *velocidade crítica* e ressaltou a importância, em Mecânica dos Fluidos, da relação conhecida como *Número de Reynolds*.

<sup>13</sup> A inclusão do dispositivo de Reynolds, neste trabalho, foi fundamentada no livro *Elementary Mechanics of Fluids* de Hunter Rouse - Iowa - Iowa City - EUA - em seu capítulo VI - *Effects of Viscosity on Fluid Motion*. Ver REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

A experiência procura classificar os escoamentos em duas categorias denominadas de Escoamentos Laminares e Escoamentos Turbulentos, existindo, ainda, uma fase intermediária entre essas categorias denominada de Escoamento de Transição. Para a classificação dos escoamentos procura-se visualizar o comportamento das partículas do fluido para um acréscimo sucessivo da vazão. O comportamento pode ser observado em função de se introduzir na tubulação principal, que conduz água limpa, o fluxo produzido por outro conduto, de seção muito menor, que é alimentado com água à qual foi adicionado um corante. No fluxo laminar o filete de água corada possui um traçado retilíneo e homogêneo; as perturbações são desprezíveis. No regime turbulento o filete se dispersa devido à existência de movimentos na seção transversal, provocados por componentes transversais da velocidade e as perturbações ocorrem em larga escala. Entre os dois regimes ocorre a transição onde começam a aparecer as perturbações e componentes transversais no movimento. Ilustrando essas características a tela seguinte, acionada com o controle “Gráfico 2”, apresenta um quadro animado que mostra os diferentes regimes quando o usuário clicar sobre as teclas de opção.

Cada um dos escoamentos é acompanhado de um texto que descreve as características dos escoamentos e a relação existente entre os efeitos viscosos e os de inércia. Na última demonstração (escoamento turbulento), introduz-se o Número de Reynolds e seu significado físico. As teclas de opções sempre estarão disponíveis para rever os passos anteriores, bem como páginas e itens que por qualquer motivo o usuário deseje rever. As figuras 16, 17 e 18, a partir da página 32, reproduzem as telas referentes aos escoamentos laminar, de transição e turbulento respectivamente.



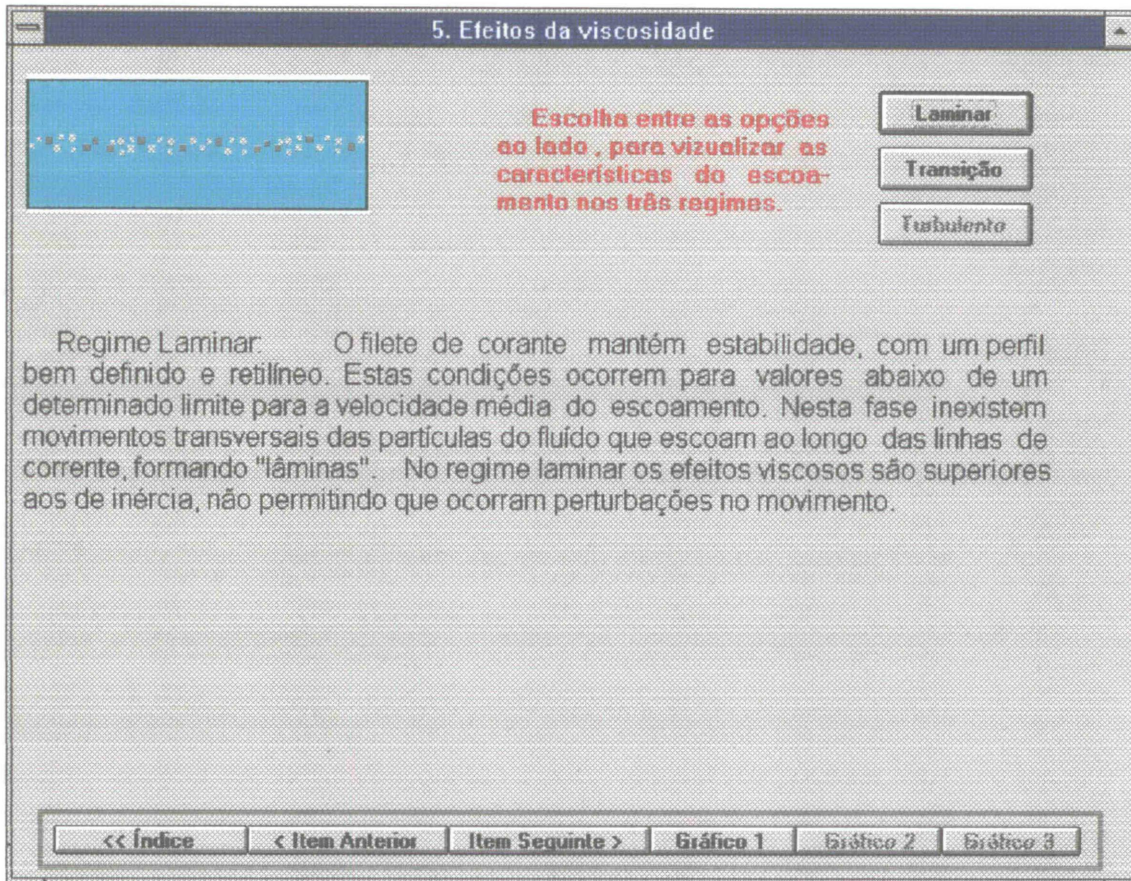


Figura 16 - Demonstração animada do escoamento laminar.

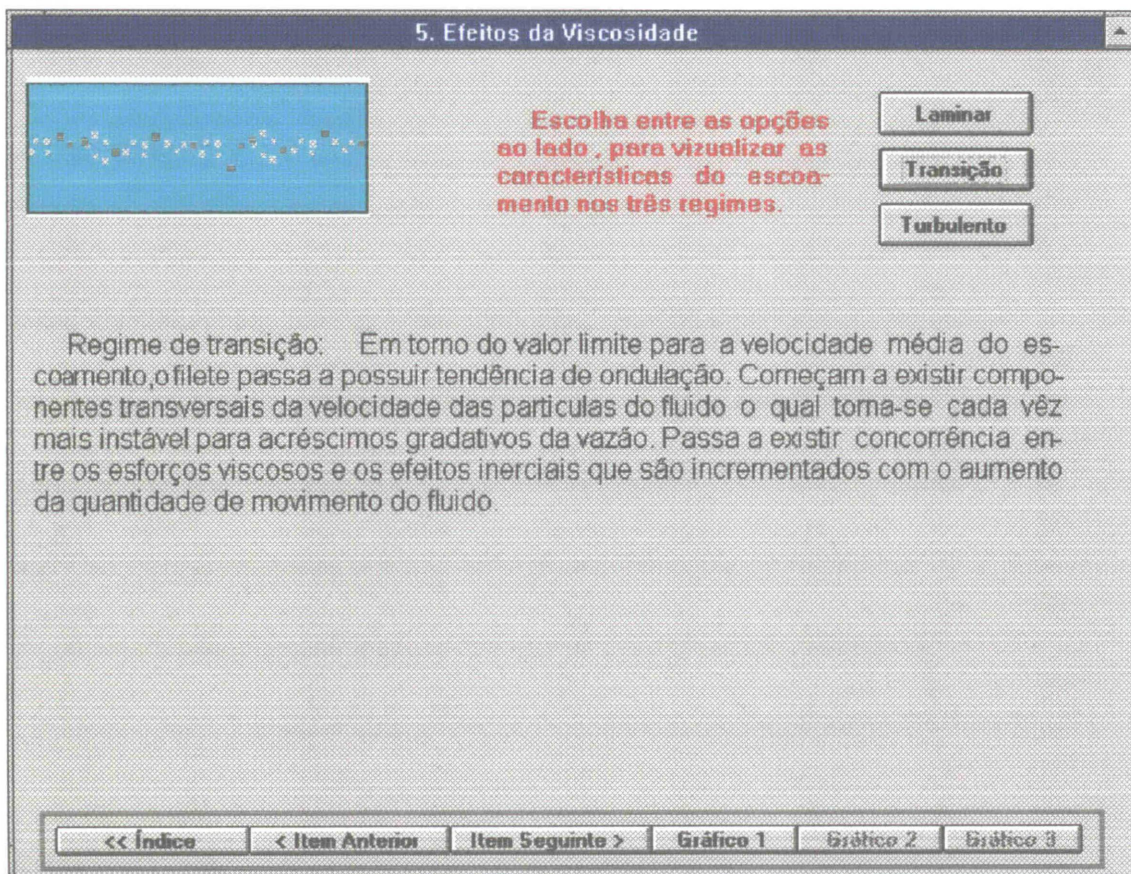


Figura 17 - Demonstração animada do escoamento de transição.



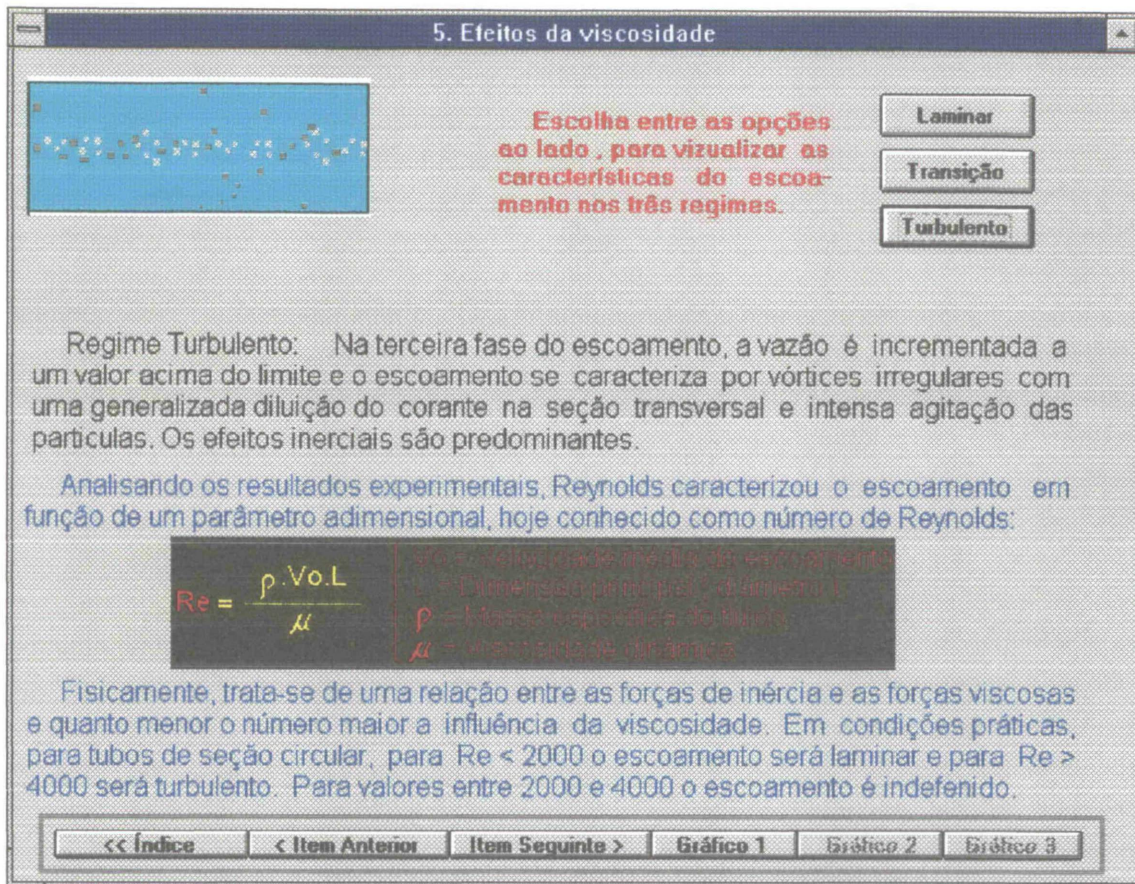


Figura 18 - Demonstração animada do escoamento turbulento e apresentação do *Número de Reynolds*.

As páginas seguintes apresentam o conteúdo teórico relacionado com o experimento prático do laboratório que foi incluído neste título (utilização do viscosímetro de queda de esfera para determinação da viscosidade de alguns fluidos). O item foi intitulado “LABORATÓRIO DIDÁTICO” e seu conteúdo além de descrever a experiência, fornece suporte para o desenvolvimento dos cálculos necessários na obtenção de resultados.

A primeira tela, referindo-se ao módulo LABORATÓRIO, incluído neste título, surge, clicando “Item Seguinte >” cuja reprodução está representada na figura 19 da página 34.



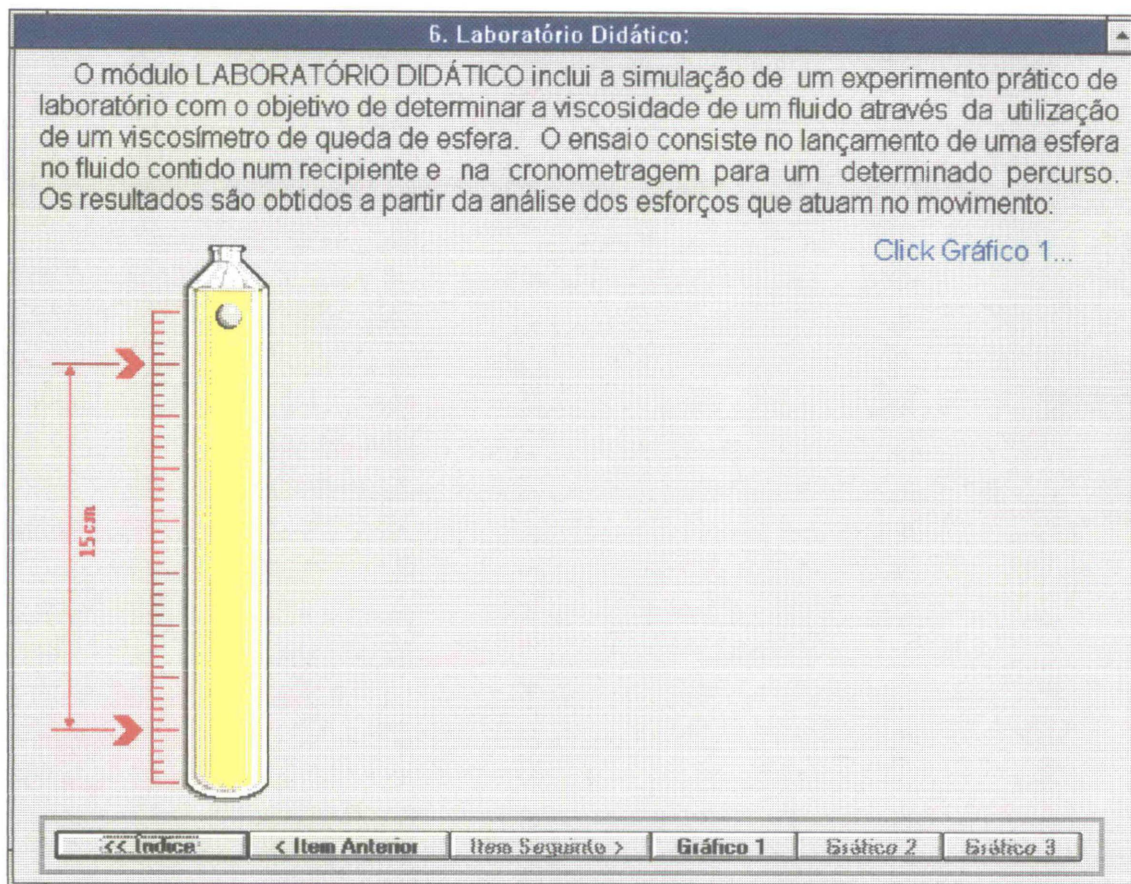


Figura 19 - Página inicial do item “Laboratório Didático”.

Essa tela apresenta um cabeçalho enunciando a experiência de laboratório e um esquema do dispositivo utilizado.

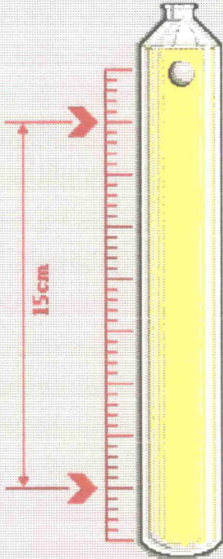
O conteúdo é desenvolvido com a manutenção dos elementos desta tela e através do preenchimento do espaço remanescente com informações em seqüência. Clicando sobre o controle “Gráfico 1” surge um texto e uma figura (ver figura 20 na página 35) onde se introduz a análise dos esforços. O texto utiliza o princípio de Arquimedes e estabelece as primeiras condições com relação aos esforços envolvidos no movimento de queda da esfera. Clicando “Gráfico 2”, ( ver figura 21 na página 36) o texto e a figura modificam-se e se introduz o efeito da viscosidade com o aparecimento da força viscosa  $F_v$ . Sendo esta força proporcional à velocidade, à medida que esta aumentar, no



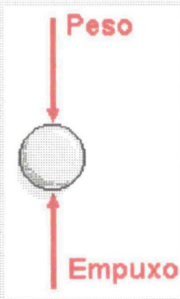
movimento de queda, ocorre um correspondente aumento da força viscosa até ser atingido o equilíbrio entre as forças atuantes provocando o movimento uniforme. Nessa situação poderá ser aplicada a condição de equilíbrio, com resultante nula.

6. Laboratório Didático:

O módulo LABORATÓRIO DIDÁTICO inclui a simulação de um experimento prático de laboratório com o objetivo de determinar a viscosidade de um fluido através da utilização de um viscosímetro de queda de esfera. O ensaio consiste no lançamento de uma esfera no fluido contido num recipiente e na cronometragem para um determinado percurso. Os resultados são obtidos a partir da análise dos esforços que atuam no movimento:



Para um corpo submerso em repouso os esforços atuantes são:



Nesse caso os valores do peso e do empuxo são iguais, de forma a manter o equilíbrio. Porém se houver movimento descendente, (é o nosso caso) o peso é maior que o empuxo e se o fluido em questão não oferecer resistência ao movimento (não possuir viscosidade), o corpo estará em queda livre, sujeito a uma aceleração proporcionada pela gravidade e portanto com uma velocidade progressivamente crescente.

[Click Gráfico 2...](#)

<< Índice < Item Anterior Item Seguinte > Gráfico 1 Gráfico 2 Gráfico 3

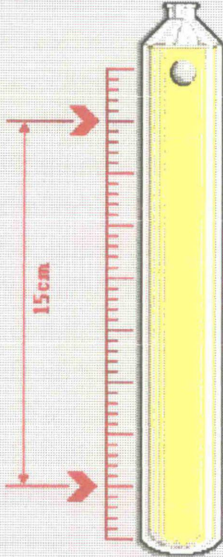
Figura 20 - Desenvolvimento do conteúdo do item "Laboratório Didático".

Clicando a barra "Gráfico 3", surge um novo texto fornecendo as equações das forças envolvidas e uma observação definindo o campo de atuação da Lei de Stokes cuja equação é aplicada neste experimento. As apresentações são meramente informativas, não adiantam resultados ou maneiras de calcular, estes passam a ser encargos do usuário que deve utilizar os instrumentos fornecidos e chegar às suas próprias conclusões. (Figura 22 - página 36).

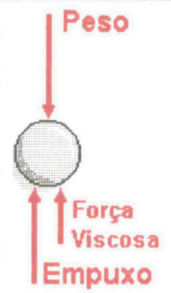


6. Laboratório Didático:

O módulo LABORATÓRIO DIDÁTICO inclui a simulação de um experimento prático de laboratório com o objetivo de determinar a viscosidade de um fluido através da utilização de um viscosímetro de queda de esfera. O ensaio consiste no lançamento de uma esfera no fluido contido num recipiente e na cronometragem para um determinado percurso. Os resultados são obtidos a partir da análise dos esforços que atuam no movimento:



Os fluidos que estarão sendo ensaiados têm viscosidade considerável, de forma que a força viscosa seja importante. Passam a atuar os esforços:



Para escoamentos puramente viscosos, em que os efeitos inerciais possam ser negligenciados, a força devida à viscosidade é variável e na proporção direta da velocidade do corpo. Assim, a esfera, inicialmente com uma velocidade crescente proporciona um valor, também crescente à força viscosa até que haja equilíbrio entre os esforços atuantes, com uma resultante nula, o que acarreta um movimento descendente retilíneo e uniforme.


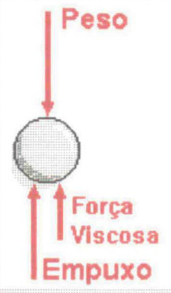
Click Gráfico 3...

<< Índice >> < Item Anterior Item Seguinte > Gráfico 1 Gráfico 2 Gráfico 3

Figura 21 - Inclusão da ação viscosa no sistema de forças sobre a esfera.

6. Laboratório Didático:

O módulo LABORATÓRIO DIDÁTICO inclui a simulação de um experimento prático de laboratório com o objetivo de determinar a viscosidade de um fluido através da utilização de um viscosímetro de queda de esfera. O ensaio consiste no lançamento de uma esfera no fluido contido num recipiente e na cronometragem para um determinado percurso. Os resultados são obtidos a partir da análise dos esforços que atuam no movimento:

$P = \text{Peso da esfera}$   
 $P = \rho_{\text{esf}} \cdot V_{\text{esf}}$   
 $E = \text{Empuxo}$   
 $E = \rho_{\text{liq}} \cdot V_{\text{esf}}$   
 $F_v = \text{Força Viscosa}$   
 $F_v = 6 \cdot \mu \cdot R \cdot v$

Se a relação entre os diâmetros do tubo e da esfera for grande, o efeito das paredes do tubo sobre a resistência pode ser negligenciado. Aplica-se, ainda, a Lei de Stokes para a força viscosa se o movimento for tão lento que o número de Reynolds para a esfera em queda, seja igual ou menor que 1,0.

<< Índice >> < Item Anterior Item Seguinte > Gráfico 1 Gráfico 2 Gráfico 3

Figura 22 - Apresentação das equações relacionadas com o movimento.



O módulo é concluído na página seguinte com as Referências Bibliográficas que aparecem após clicar sobre o campo “Item Seguinte >”.

Da forma como é apresentado o módulo TEORIA referente ao assunto VISCOSIDADE tem características de fonte de consulta. Ou seja, seu caráter textual é informativo, não sendo introduzida nele atividade que demonstre resultados de uma forma participativa. Isso poderá ser obtido com desenvolvimentos futuros desse módulo, empregando técnicas que aparecem em outros assuntos componentes desse trabalho.

## 2.2 Viscosidade - Módulo Laboratório

A aula prática de laboratório da disciplina de Mecânica dos Fluidos na Universidade Federal do Paraná, aborda o assunto VISCOSIDADE utilizando um **Viscosímetro de Queda de Esfera**. O ensaio consiste em se cronometrar o tempo necessário para uma esfera metálica solta sobre determinado fluido vencer um percurso de 15 cm em queda livre e em movimento uniforme proporcionado pelos esforços atuantes no movimento. Considerando-se estes esforços pode-se calcular a viscosidade dinâmica do fluido utilizando o Princípio de Arquimedes e a Lei de Stokes que é limitada a movimentos lentos, onde o número de Reynolds não seja superior a 1.

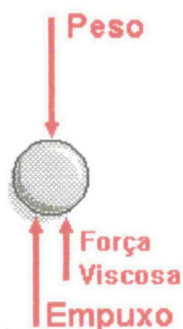


Figura 23 - Esforços sobre a esfera em queda.

Inicialmente o movimento é acelerado com um valor crescente da velocidade. Porém a Força Viscosa, que é diretamente proporcional à velocidade, irá crescer simultaneamente, tornando o sistema equilibrado e proporcionando a ocorrência do movimento uniforme. Se o movimento for puramente viscoso e a relação entre os diâmetros do tubo e da esfera for suficientemente grande para tornar negligenciáveis os efeitos da presença das paredes do tubo, pode-se escrever:

**Peso = Empuxo + Força Viscosa**

$$\gamma_{\text{ESFERA}} \cdot V_{\text{ESFERA}} = \gamma_{\text{LÍQUIDO}} \cdot V_{\text{ESFERA}} + 6 \cdot \mu \cdot \pi \cdot r \cdot v$$

Quadro 1 - Equacionamento dos esforços atuantes sobre a esfera em queda com a utilização do Princípio de Arquimedes<sup>14</sup> e da Lei de Stokes<sup>15</sup>.

Com a utilização dessa equação, pode-se, com facilidade, calcular a viscosidade dinâmica do fluido ( $\mu$ ), em função da velocidade ( $v$ ) de queda da esfera obtida pela cronometragem do percurso realizado, desde que garantida a condição de validade da Lei de Stokes ( $Re \leq 1$ ).

---

<sup>14</sup> Arquimedes. Matemático e inventor grego (Siracusa, na atual Sicília, 287 a.C. - 212 a.C.). Foi o mais importante matemático da antiguidade. Criou um método para cálculo do número  $\pi$  com aproximação tão grande quanto se queira, o *Método dos Perímetros*. Apresentou soluções para certos problemas que remontam o cálculo infinitesimal que só seria desenvolvido por Newton cerca de 2000 anos depois. Aperfeiçoou o sistema numérico grego criando uma notação semelhante ao atual sistema exponencial. Na Mecânica lhe são atribuídas algumas invenções como a rosca sem fim, a roda dentada, a roldana móvel e a alavanca. Na Física, seu *Tratado dos Corpos Flutuantes*, estabeleceu as leis fundamentais da hidrostática. Foi morto em 212 a.C. por um soldado romano após a tomada de Siracusa.

<sup>15</sup> Sir George Gabriel Stokes. Matemático e Físico irlandês (Bornat Skreen 1819 - Cambridge 1903). Estabeleceu a lei que rege a queda de uma esfera em meio líquido, criou uma teoria da fluorescência e mostrou, em 1896, que os raios X eram da mesma natureza que a luz.

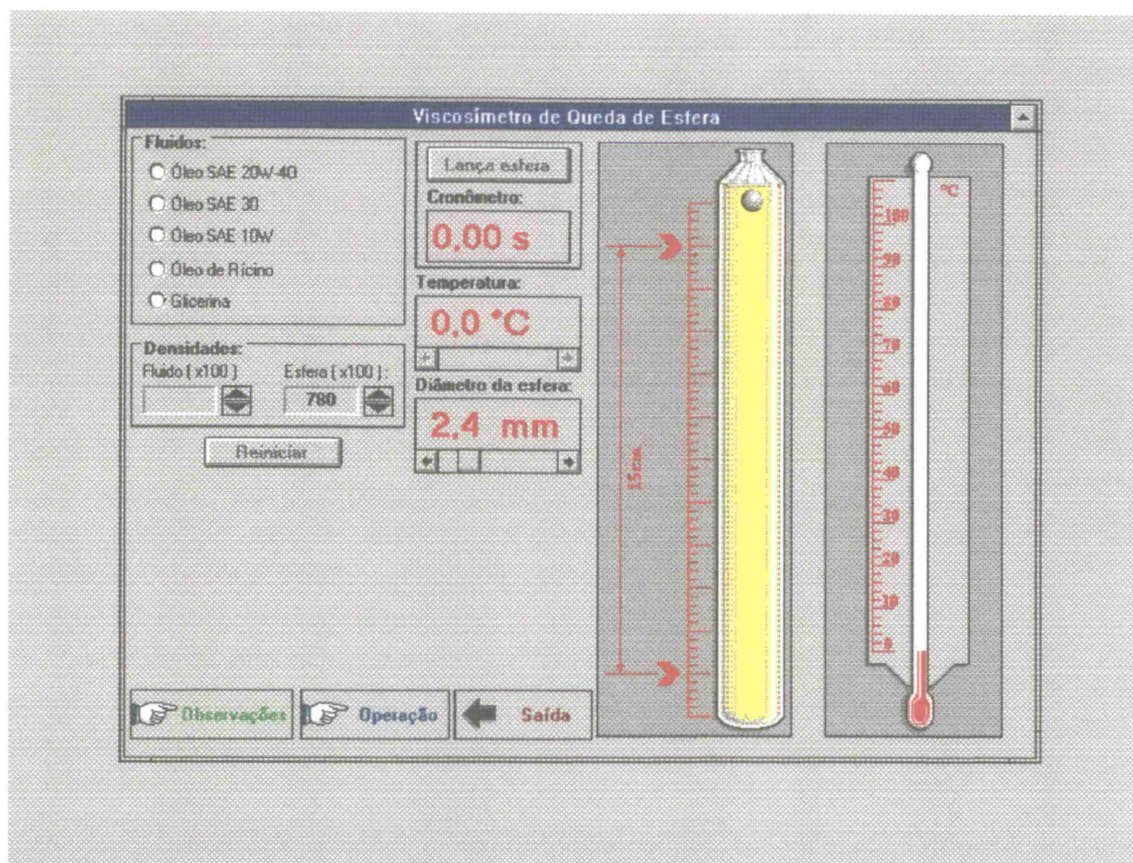


Figura 24 - Reprodução da tela principal do módulo LABORATÓRIO para o título VISCOSIDADE.

O módulo Laboratório procura reproduzir os procedimentos e o dispositivo utilizado no ensaio real, incluindo os seguintes itens:

- **Tubo de ensaio:** Este recipiente contém o fluido a ser ensaiado. No simulador ocorrerá uma animação mostrando o movimento da esfera em queda.
- **Termômetro:** É apresentado graficamente, porém a temperatura também aparece numericamente no quadro “Temperatura” em função da necessidade de precisão. A temperatura deverá ser escolhida pelo usuário clicando sobre a barra de rolagem ( ou setas ). Em função do fluido a ser ensaiado, o intervalo de variação para a temperatura foi

restringido. Apesar do simulador não ter qualquer restrição para cálculo, levaram-se em consideração as características reais dos fluidos e do campo de aplicação da fórmula de Stokes. Em temperaturas acima de 50 °C os óleos SAE apresentariam tempos impraticáveis (excessivamente pequenos) para um experimento desta natureza, o mesmo ocorrendo com a glicerina e o óleo de rícino para temperaturas acima de 80 °C. Já para temperaturas abaixo de 10°C, a glicerina e o óleo de rícino conduziriam a tempos excessivamente longos.

- **Cronômetro:** Mede automaticamente o tempo de queda da esfera para o percurso de 15 cm.
- **Quadro de fluidos:** Quadro com as opções de fluidos a serem ensaiados. Na execução do simulador é o primeiro item a ser acionado; a seguir, tornam-se aptos os outros controles.
- **Quadro de densidades:** É possível por meio desse quadro ajustar densidades da esfera e dos fluidos. Originalmente estes parâmetros já possuem valores pré-definidos e, se não sofrerem alterações, são assim utilizados.
- **Quadro Diâmetro da esfera:** É outro parâmetro que pode ser ajustado, tendo, também, valor original de 2,4 mm. Os valores para ajuste estão entre 2 e 4 mm.
- **Barra Lança Esfera:** Inicia o movimento de queda. Internamente é o controle que aciona o processamento estabelecendo o tempo necessário para a queda e o controle do cronômetro.

- **Barra Reiniciar:** Estabelece as condições iniciais para se proceder um novo ensaio, incluindo: temperatura a nível mínimo, esfera em posição inicial e quadro de fluidos apto para nova escolha.
- **Quadro Observações:** Resumo sobre o contexto do programa.
- **Quadro Operação:** Resumo com informações sobre a operação do Módulo LABORATÓRIO.
- **Quadro Saída:** Apresenta um quadro para confirmação de saída do módulo.

A seguir encontra-se a descrição do equacionamento que conduz aos resultados apresentados na tela, especialmente no que diz respeito ao tempo de queda.

Para cada fluido foi realizada uma série de interpolações de forma a reproduzir matematicamente as suas curvas características de variação da viscosidade com a temperatura (Ver figura 25a e figura 25b nas páginas 42 e 43). Assim, para uma determinada temperatura obtém-se a respectiva viscosidade dinâmica. Utilizando os princípios descritos anteriormente nesse capítulo, calcula-se a velocidade de queda e, conseqüentemente, o tempo. Deve-se reparar que, internamente, o simulador utiliza um processo inverso ao ensaio real, ou seja, é necessário, inicialmente, ter-se a viscosidade para então calcular o tempo que será fornecido ao usuário e que conduzirá a animação. Entretanto este processo não é transparente ao usuário e tem-se a impressão de uma ocorrência perfeitamente de acordo com os moldes do ensaio real. Apesar do simulador abranger uma ampla faixa de temperaturas, deve-se levar em conta que no ensaio real as temperaturas estarão limitadas de forma a adequarem o ensaio aos limites impostos pela Lei de Stokes.



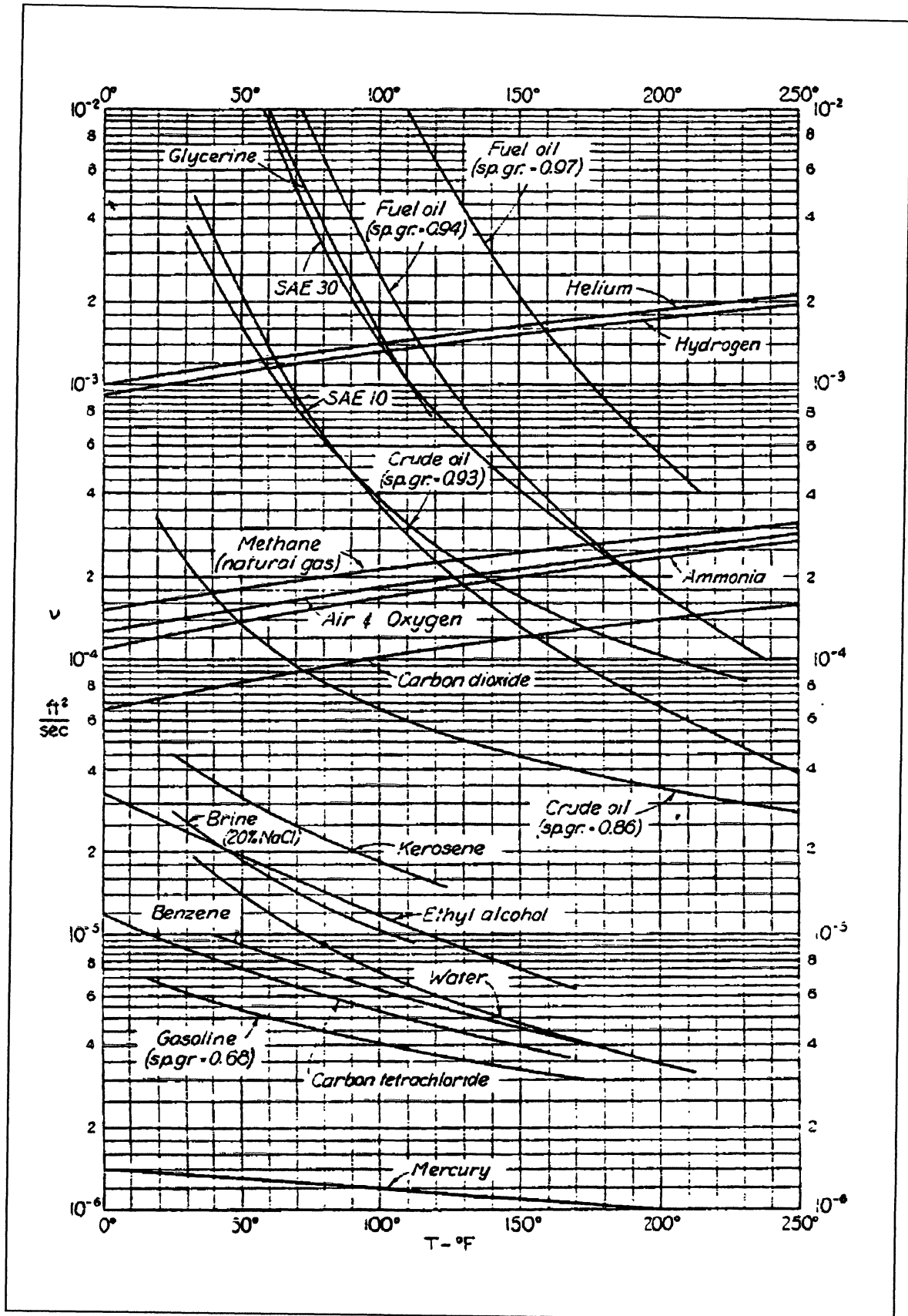


Figura 25a - Curvas características da variação da viscosidade com a temperatura para diversos fluidos líquidos e gasosos.



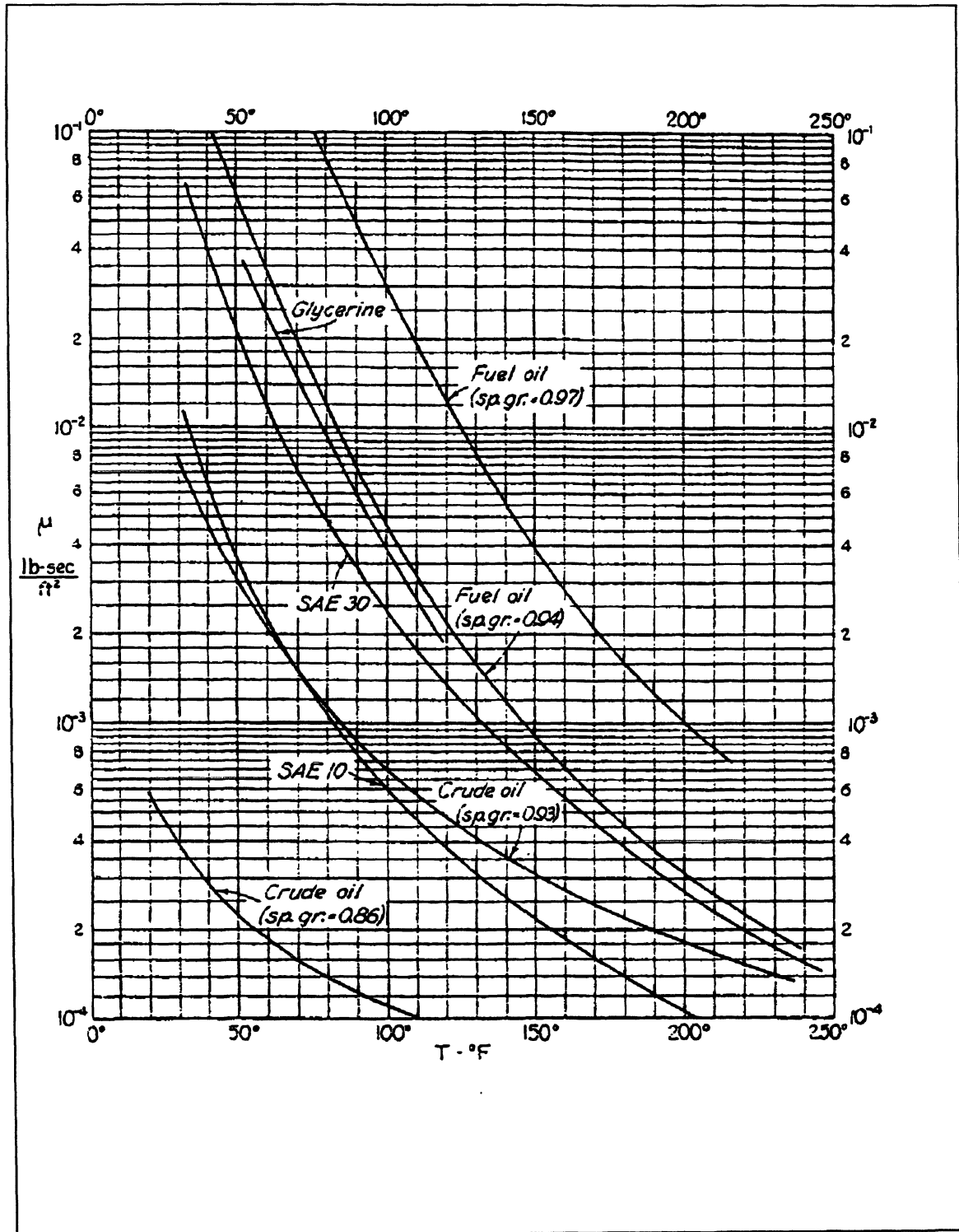


Figura 25b - Curvas características da variação da viscosidade com a temperatura para diversos fluidos. Os gráficos apresentados aqui, são reproduções do material encontrado no livro Elementary Mechanics of Fluids de autoria de Hunter Rouse. - Ver REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. As séries de interpolações incluídas no código fonte do simulador utilizaram essas curvas como fonte de dados.

Estão reproduzidos, a seguir, nos quadros 2a, 2b e 2c, o código fonte que apresenta as séries de interpolações, o cálculo do tempo, o controle de imagem (animação da esfera) e o controle do cronômetro.

<pre> Sub Command1_Click () Dim st As Single Dim MI As Single hscroll1.Enabled = False Temp = hscroll1.Value / 10 Select Case cs   Case 0     If Temp &gt;= 0 And Temp &lt; 20 Then       MI = -.04 * Temp + 1     End If     If Temp &gt;= 20 And Temp &lt; 40 Then       MI = -.007 * (Temp - 20) + .2     End If     If Temp &gt;= 40 And Temp &lt; 60 Then       MI = -.00175 * (Temp - 40) + .06     End If     If Temp &gt;= 60 And Temp &lt; 80 Then       MI = -.001 * (Temp - 60) + .025     End If     If Temp &gt;= 80 And Temp &lt; 100 Then       MI = -.00035 * (Temp - 80) + .015     End If     If Temp &gt;= 100 Then       MI = -.0002 * (Temp - 100) + .008     End If   Case 1     If Temp &gt;= 0 And Temp &lt; 20 Then       MI = -.08 * Temp + 2     End If     If Temp &gt;= 20 And Temp &lt; 40 Then       MI = -.015 * (Temp - 20) + .4     End If     If Temp &gt;= 40 And Temp &lt; 60 Then       MI = -.003 * (Temp - 40) + .1     End If     If Temp &gt;= 60 And Temp &lt; 80 Then       MI = -.001 * (Temp - 60) + .04     End If     If Temp &gt;= 80 And Temp &lt; 100 Then       MI = -.0005 * (Temp - 80) + .02     End If     If Temp &gt;= 100 Then       MI = -.0001 * (Temp - 100) + .01     End If   Case 2     If Temp &gt;= 0 And Temp &lt; 20 Then       MI = -.0015 * Temp + .4     End If </pre>	<pre> {Command1 é a tecla Lança esfera} {st será o passo do loop for a seguir} {MI = Viscosidade dinâmica} {Torna a barra de temperatura inapta} {Temp = Temperatura} {cs acumula o fluido escolhido} {cs = 0 → fluido: Óleo SAE 20W 40}  {cs = 1 → fluido: Óleo SAE 30}  {cs = 2 → fluido: Óleo SAE 10W} </pre>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Quadro 2a - Código fonte para o simulador do módulo "LABORATÓRIO".

```

If Temp >= 20 And Temp < 40 Then
  MI = -.0035 * (Temp - 20) + .1
End If
If Temp >= 40 And Temp < 60 Then
  MI = -.00075 * (Temp - 40) + .03
End If
If Temp >= 60 And Temp < 80 Then
  MI = -.00035 * (Temp - 60) + .015
End If
If Temp >= 80 And Temp < 100 Then
  MI = -.00015 * (Temp - 80) + .008
End If
If Temp >= 100 Then
  MI = -.0001 * (Temp - 100) + .005
End If
Case 3
  {cs = 3 → fluido: Óleo de Rícino}
  If Temp >= 0 And Temp < 20 Then
    MI = -.15 * (Temp - 10) + 2.5
  End If
  If Temp >= 20 And Temp < 40 Then
    MI = -.085 * (Temp - 20) + 1
  End If
  If Temp >= 40 And Temp < 60 Then
    MI = -.011 * (Temp - 40) + .3
  End If
  If Temp >= 60 And Temp < 80 Then
    MI = -.002 * (Temp - 60) + .08
  End If
  If Temp >= 80 Then
    MI = -.001 * (Temp - 80) + .04
  End If
Case 4
  {cs = 4 → fluido: Glicerina}
  If Temp >= 0 And Temp < 20 Then
    MI = -.22 * (Temp - 10) + 3.7
  End If
  If Temp >= 20 And Temp < 40 Then
    MI = -.055 * (Temp - 20) + 1.5
  End If
  If Temp >= 40 And Temp < 60 Then
    MI = -.015 * (Temp - 40) + .4
  End If
  If Temp >= 60 And Temp < 80 Then
    MI = -.003 * (Temp - 60) + .1
  End If
  If Temp >= 80 And Temp < 100 Then
    MI = -.00125 * (Temp - 80) + .04
  End If
  If Temp >= 100 Then
    MI = -.0006 * (Temp - 100) + .015
  End If
Case Else
  {Em caso de erro o programa é encerrado}
End Select
gamaesf = Val(panel3d2.Caption) * 98.1 {gamaesf: Peso específico da esfera}
gamaflu = Val(panel3d1.Caption) * 98.1 {gamaflu: Peso específico do fluido}

```

Quadro 2b - Continuação. Código fonte para o simulador do módulo "LABORATÓRIO".

```

tempo = 2.7 * MI / ((gamaesf - gamaflu) * diam ^ 2)
{Da expressão:

$$\gamma_{ESFERA} \cdot V_{ESFERA} = \gamma_{LÍQUIDO} \cdot V_{ESFERA} + 6 \cdot \mu \cdot \pi \cdot r \cdot v \rightarrow$$


$$\gamma_{ESF} \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^3 / 3 = \gamma_{LIQ} \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^3 / 3 + 6 \cdot \mu \cdot \pi \cdot r \cdot v$$


$$v = 4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\gamma_{ESF} - \gamma_{LIQ}) / 18 \cdot \mu \cdot \pi \cdot r$$

como  $v = 0,15/t$  :

$$0,15/t = 2 \cdot r^2 \cdot (\gamma_{ESF} - \gamma_{LIQ}) / 9 \cdot \mu$$


$$1/t = r^2 \cdot (\gamma_{ESF} - \gamma_{LIQ}) / 0,675 \cdot \mu$$


$$t = 2,7 \cdot \mu / (d^2 \cdot (\gamma_{ESF} - \gamma_{LIQ}))$$

}
st = 45.6 / tempo
{st é o passo do loop for a seguir. O passo controla a velocidade da animação e incrementa o cronômetro em 0,01s em cada loop.}

Ypc2 = Picture2.Top
For ypic = Picture2.Top To 5900 Step st
Picture2.Move Picture2.Left, ypic
  If (ypic < 1200) Then {para ypic < 1200 a esfera se encontra acima do limite de contagem de tempo}
    For X = 1 To 3000
    Next X
  End If
  If (ypic > 1050 And ypic < 5610) Then {faixa de contagem de tempo}
    sectimer = sectimer + .01
    text1.Text = Format(sectimer, "00.00") + "s"
  End If
  If (ypic > 5610) Then {faixa abaixo do limite de contagem de tempo}
    For X = 1 To 3000
    Next X
  End If
Next ypic {Fim do loop for}
text1.Text = Format(tempo, "00.00") + "s" {Confirma no display o tempo total}
command1.Enabled = False {Torna inapta a tecla Lança esfera}
command2.Enabled = True {Torna apta a tecla Reiniciar}
Option3d1.Enabled = False {Torna inaptas as opções de escolha de fluido}
Option3d2.Enabled = False
Option3d3.Enabled = False
Option3d4.Enabled = False
Option3d5.Enabled = False
Spin1.Enabled = False {Torna inaptos os controles para mudança de densidades}
Spin2.Enabled = False
Picture2.SetFocus
End Sub {Fim da rotina}

```

Quadro 2c - Continuação. Código fonte para o simulador do módulo "LABORATÓRIO".

### Outras variáveis envolvidas:

- **DIAM:** Diâmetro da esfera. Assume o valor original de 2,4 mm no carregamento do programa. Pode ser alterado pelo usuário. DIAM = Hscroll2.Value.

- **TEMP:** Temperatura.  $TEMP = Hscroll1.Value$ .
- **YPIC:** É a ordenada do quadro “picture” da imagem da esfera.

Após sucessivos testes variando-se a temperatura em todo o intervalo de operação e para todos os fluidos verificou-se o pleno enquadramento dos resultados obtidos com os valores de tempo necessários para o ajuste com as respectivas curvas “temperatura x viscosidade”. É conveniente notar que os resultados obtidos no simulador são decorrentes de curvas características, portanto a comparação destes resultados com aqueles obtidos nas experiências reais irá diferir na mesma magnitude que quando os resultados experimentais forem comparados aos encontrados na bibliografia específica.

### **2.3 Viscosidade - Módulo Tarefas**

Esse módulo apresenta sugestões de atividades com relação ao assunto Viscosidade procurando integrar os módulos e estabelecendo maneiras de procedimentos para o estudo do título. Salienta-se que tem um caráter provisório. Uma implantação efetiva deve se integrar ao contexto disciplinar levando-se em conta os aspectos característicos já estabelecidos e o sistema de avaliação já implantado; enfim, seriam necessárias discussões pormenorizadas a respeito do conteúdo em termos de atividades extra classe. Não obstante, o módulo TAREFAS é introduzido, exemplificando as potencialidades que se pode atingir com a sua adoção.

A partir da tela inicial do título, acionando a barra TAREFAS, entra-se na tela “Índice” do módulo TAREFAS (ver figura 26). Essa tela, contém uma lista de opções que leva aos diferentes itens componentes do módulo, apresentando um número de página para mera referência e um comentário

sucinto a respeito do item. O conteúdo do módulo TAREFAS aborda em seu primeiro item a atividade relacionada com o módulo LABORATÓRIO, determinando alguns procedimentos na sua operação e seu respectivo relatório. Propõe, no item “PROJETO DE UM VISCOSÍMETRO”, um trabalho prático que consta do desenvolvimento do projeto de um aparelho medidor de viscosidade. No item “PESQUISA” propõe a realização de uma pesquisa bibliográfica sobre o desenvolvimento dos estudos históricos a respeito da viscosidade e, finalmente, no item “RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS”, determina algumas normas para resolução e apresentação de problemas propostos. A tela “ÍNDICE” é representada a seguir:

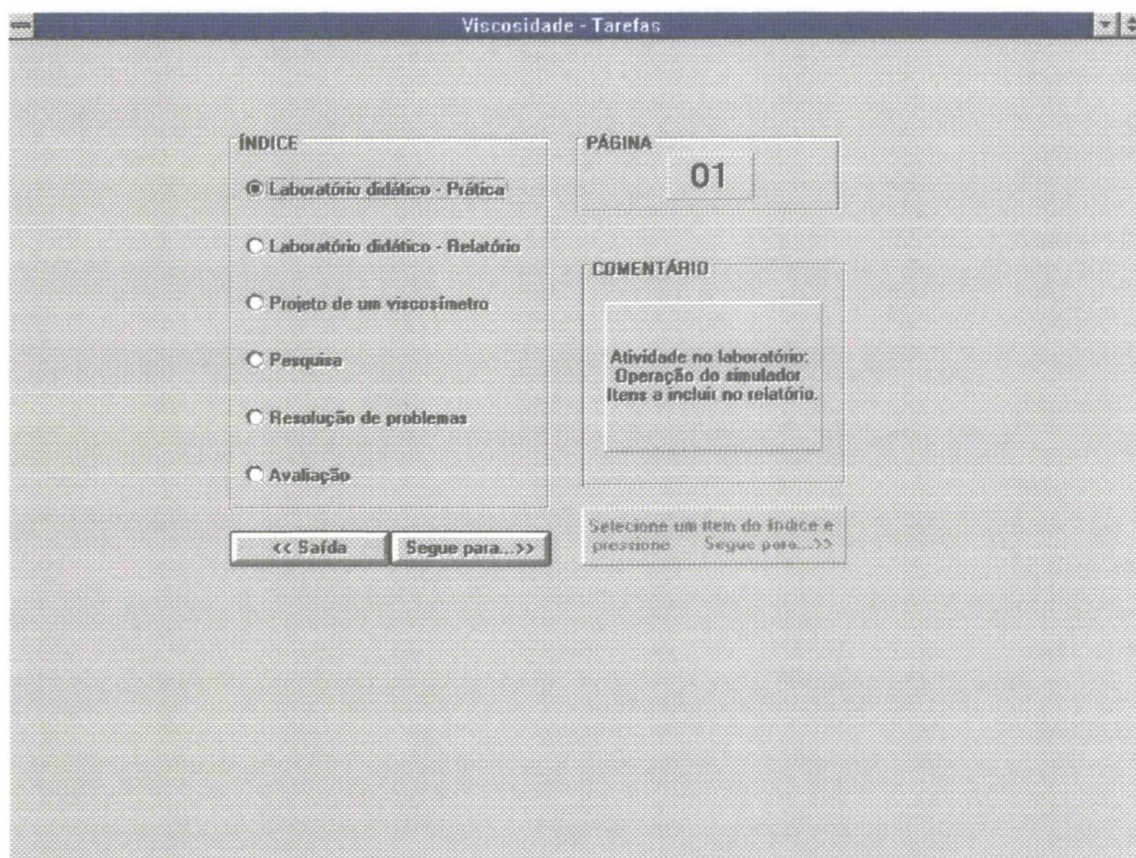


Figura 26 - Tela “Índice” do módulo TAREFAS. Escolhendo uma das opções, aparece o número da página e um breve comentário a respeito do item. A tecla “Segue para...>>” conduz ao item escolhido. A tecla “<< Saída”, abre um quadro de mensagem solicitando confirmação da saída do módulo.



A atividade relacionada com o módulo LABORATÓRIO foi dividida em dois itens: O primeiro referente ao módulo em si, onde o usuário deverá obter certos resultados na operação do módulo. O segundo estabelece normas para apresentação desses resultados. O item “LABORATÓRIO DIDÁTICO - PRÁTICA” tem sua tela reproduzida na figura 27. Além do texto que é apresentado, o usuário terá informações adicionais, como os pré-requisitos, os itens que estão relacionados, um quadro de ajuda e a opção de imprimir a tela que está apresentada.

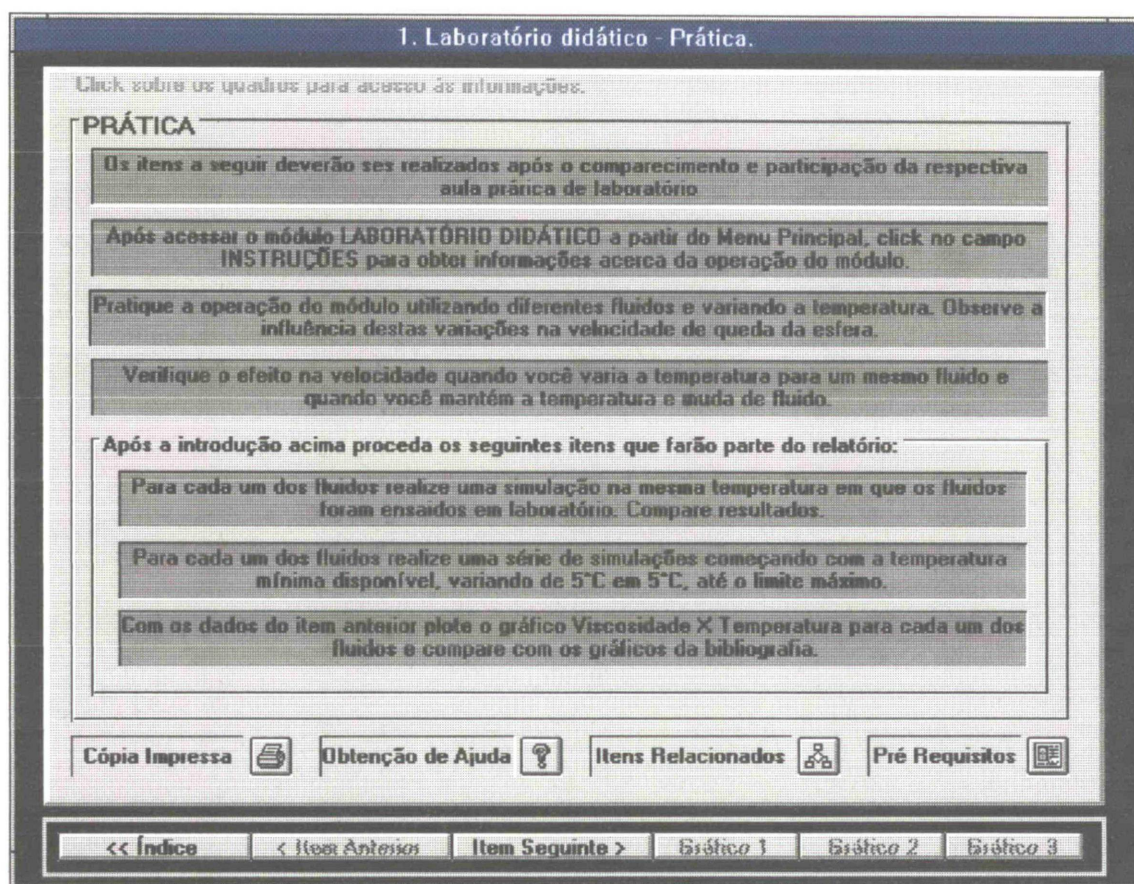


Figura 27 - Tela do item “Laboratório didático - Prática.”

A tecla “Item Seguinte >”, leva à tela do item “LABORATÓRIO DIDÁTICO - RELATÓRIO”, que tem sua tela reproduzida na figura 28 da página 50.



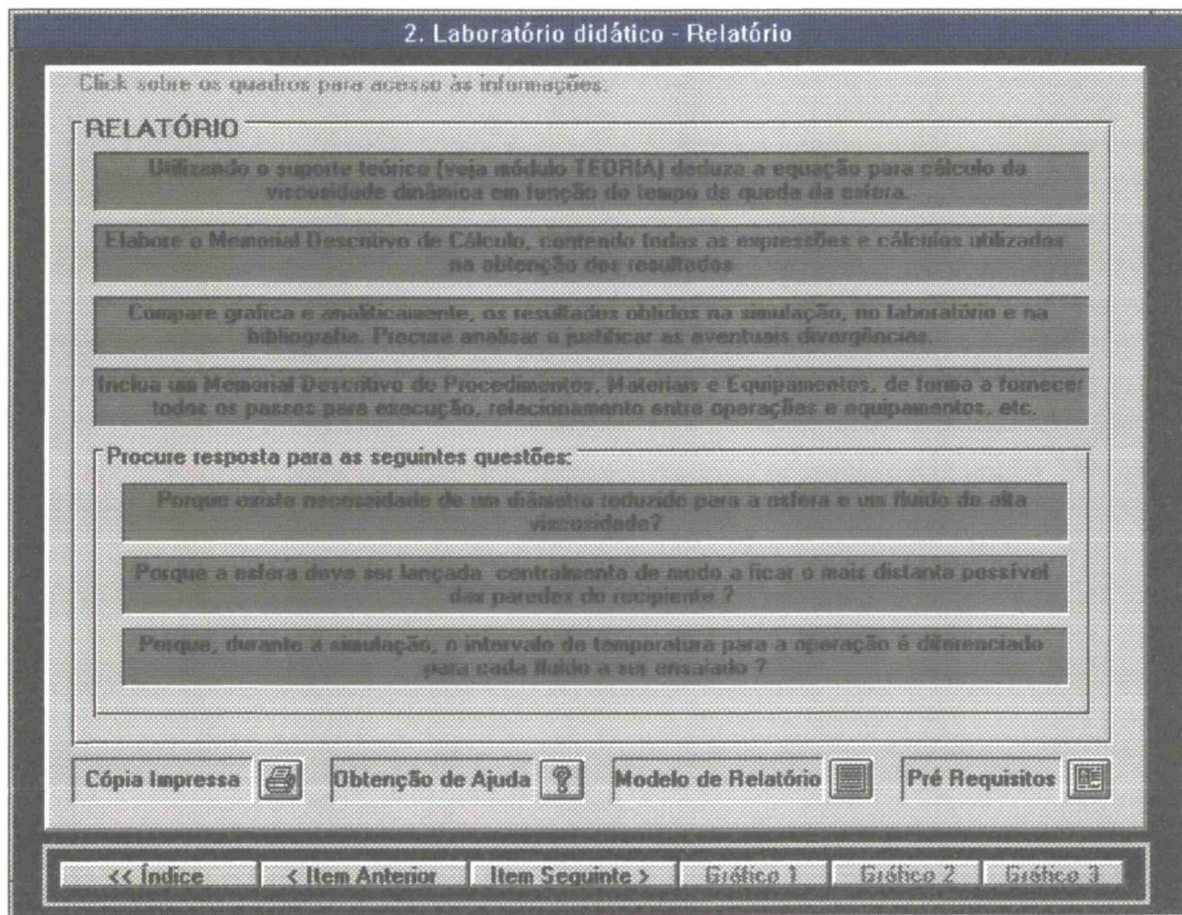


Figura 28 - Tela do item "LABORATÓRIO DIDÁTICO - RELATÓRIO".

Aqui estão apresentados os requisitos para inclusão no relatório referente à atividade com o simulador do módulo LABORATÓRIO em conjunto com a aula prática normal. Os requisitos constam de atividades relacionadas diretamente com a operação do simulador, bem como de questões relacionadas com o assunto. A idéia de se convencionar os procedimentos para execução e apresentação de trabalhos experimentais pode entrar em conflito com padrões já estabelecidos anteriormente. Entretanto, coloca-se aqui uma nova alternativa para se estabelecer esta convenção, e os itens apresentados aqui são meros exemplos.

A tecla "Modelo de Relatório" conduz a outra tela que estabelece algumas normas para apresentação do relatório referente aos resultados do



módulo “LABORATÓRIO”. A tela apresenta alguns “quadros” relativos à requisitos que devem ser incorporados ao relatório. Ver figura 29:

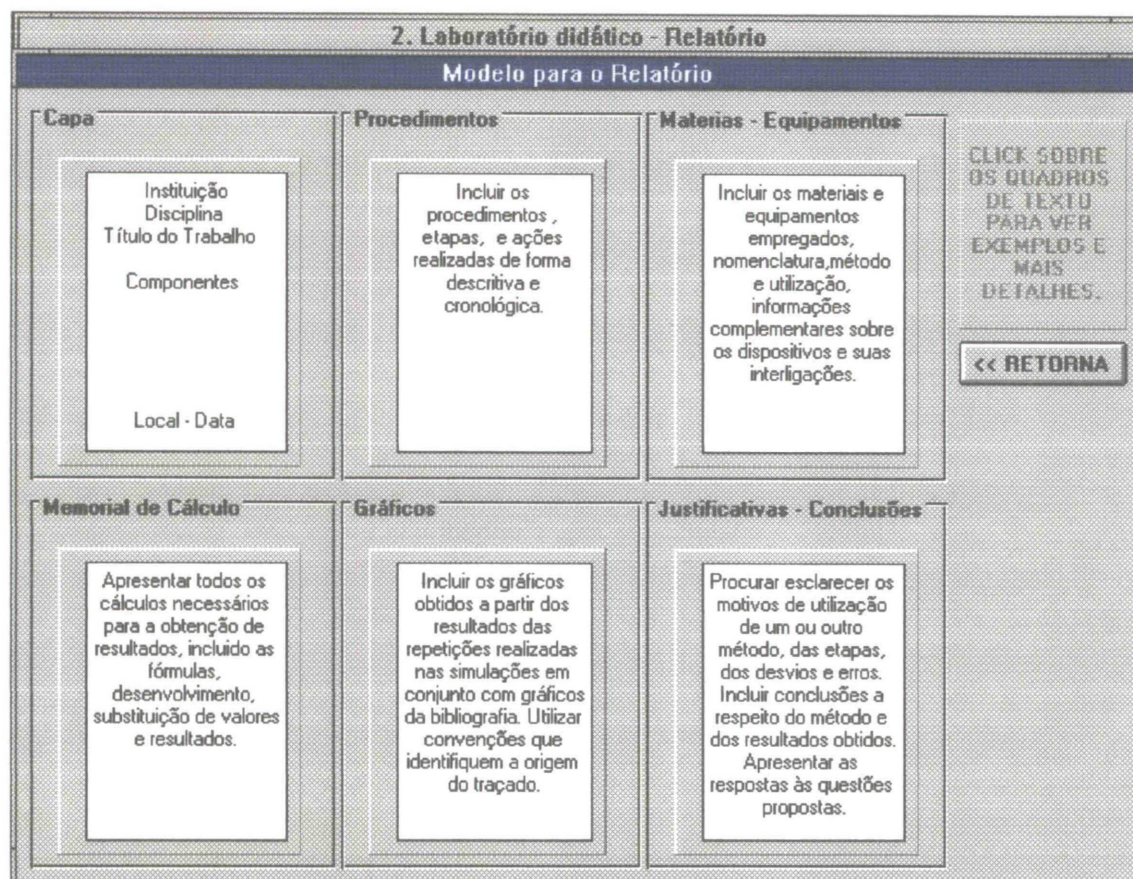


Figura 29 - Tela para apresentação de modelo para o relatório. O conteúdo pode ser variável dependendo das convenções adotadas previamente. Incluiu-se nesse exemplo os quadros “Capa”, “Procedimentos”, “Materiais - Equipamentos”, “Memorial de Cálculo”, “Gráficos” e “Justificativas - Conclusões”.

“Clicando” sobre os quadros aparecerão maiores detalhes de cada conjunto de informações. A cada quadro corresponde uma nova janela que contém informações mais detalhadas. A título de exemplo observe a figura 30 na página 52. “Clicando” sobre o quadro “Procedimentos”, abre-se uma nova janela sobreposta com informações complementares:



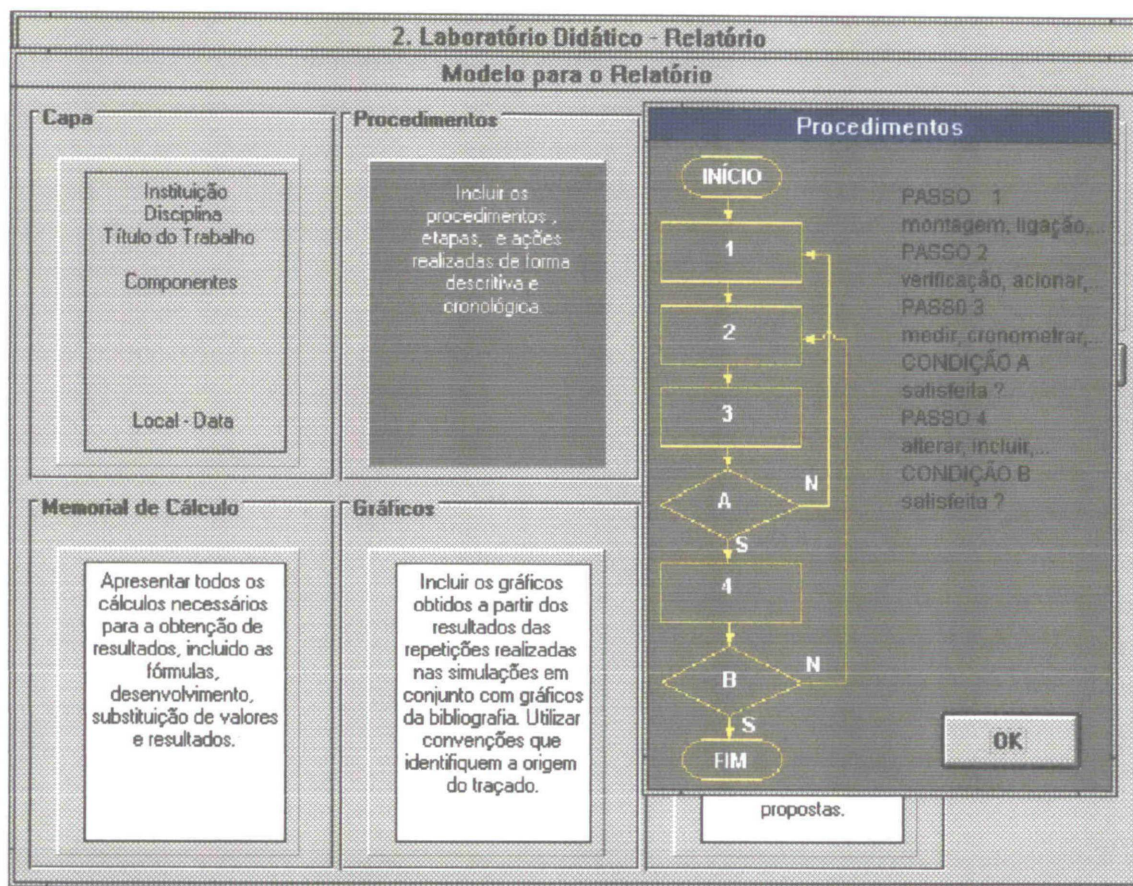


Figura 30 - Demonstração da janela sobreposta que se abre ao clicar sobre um dos quadros componentes.

O item “PROJETO DE UM VISCOSÍMETRO” apresenta um trabalho prático que consiste na elaboração analítica e gráfica do projeto de um aparelho medidor de viscosidade. A apresentação deste trabalho envolve os requisitos necessários ao projeto, fornece dados para seu desenvolvimento e inclui um exemplo gráfico. As telas de apresentação fazem referência aos itens que devem ser procurados, tanto na bibliografia especializada como dentro do próprio título no módulo TEORIA e no módulo PROBLEMAS. A figura 31 da página 53 reproduz a tela referente ao item. Observar que estão disponíveis algumas teclas, como “Itens Relacionados”, “Pré Requisitos”, “Obtenção de Ajuda” e “Cópia Impressa”, que serão úteis ao usuário na compreensão do trabalho proposto, fornecendo alguns subsídios.



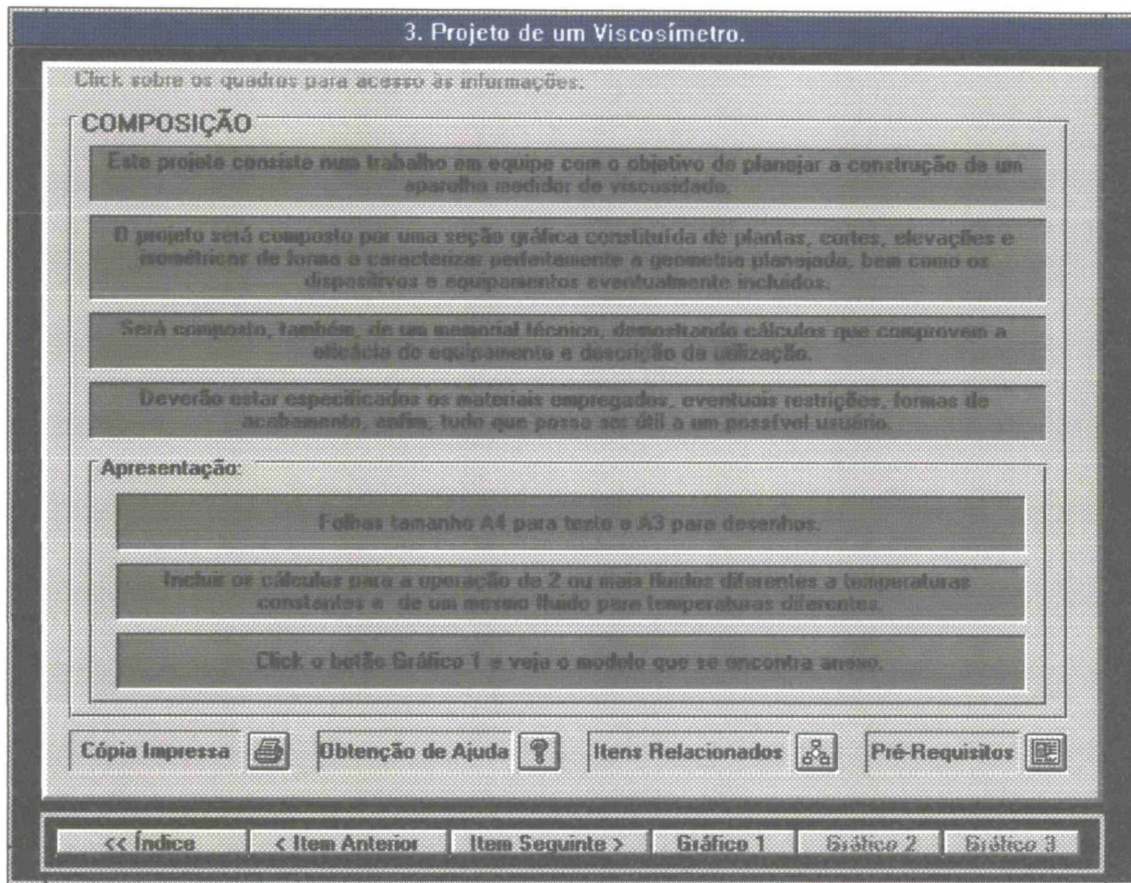


Figura 31 - Tela referente ao item "Projeto de um Viscosímetro" do módulo TAREFAS.

A tecla "Gráfico 1" abre uma "janela" onde aparece um exemplo gráfico que proporciona uma noção de como apresentar os trabalhos. A figura 32 da página 54, reproduz esta tela complementar, onde aparece o exemplo de apresentação e algumas referências.

A apresentação de trabalhos extra classe via computador pode ser incrementada de forma muito significativa. É importante ter-se em mente que os programas que geram as telas que são vistas pelo usuário possuem recursos que se pode considerar como inesgotáveis. As possibilidades de comunicação programada, de exemplos gráficos e animações, de textos dinâmicos, de interligações com bibliotecas remotas, bancos de dados e de acesso às redes de computadores, tornam este instrumento uma ferramenta

básica e fundamental no desenvolvimento da atividade técnico-científica. A operacionalidade do sistema é perfeitamente viável, tendo em vista que os próprios professores, responsáveis pelas disciplinas, serão os protagonistas do conteúdo e do desenvolvimento da atividade paralela com os computadores. Acerca deste aspecto incluem-se considerações detalhadas no capítulo IMPLANTAÇÃO SISTEMÁTICA.

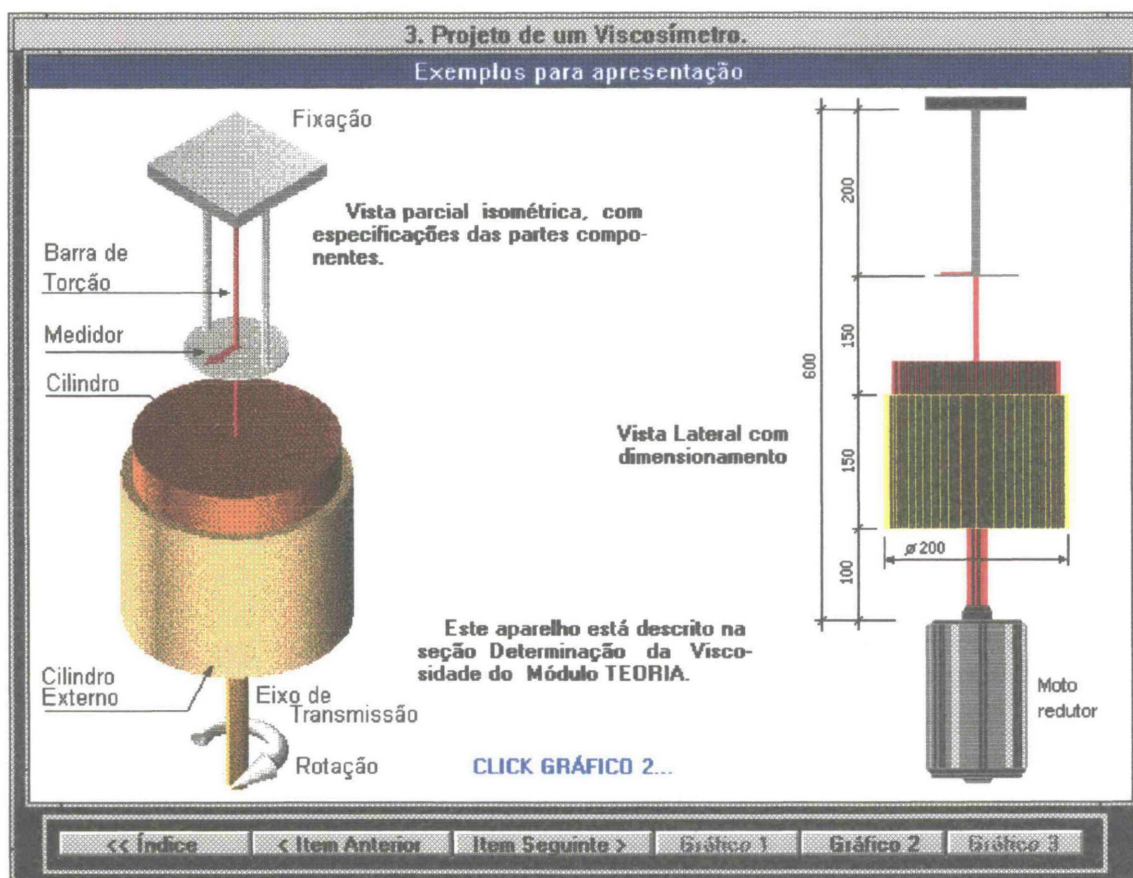


Figura 32 - Tela complementar do item "Projeto de um Viscosímetro". Várias telas complementares podem ser adicionadas. A formação de uma biblioteca com itens complementares é consequência de uma atividade de programação ininterrupta e que naturalmente irá incrementar a disponibilidade de material programado no decorrer do tempo.



“Clicando” sobre a barra “Item Seguinte >” ou por acesso direto a partir da tela “Índice”, entra-se no item “Pesquisa”. Este item sugere um tema para um trabalho de pesquisa bibliográfica e estabelece algumas normas para apresentação. Ver a figura 33:

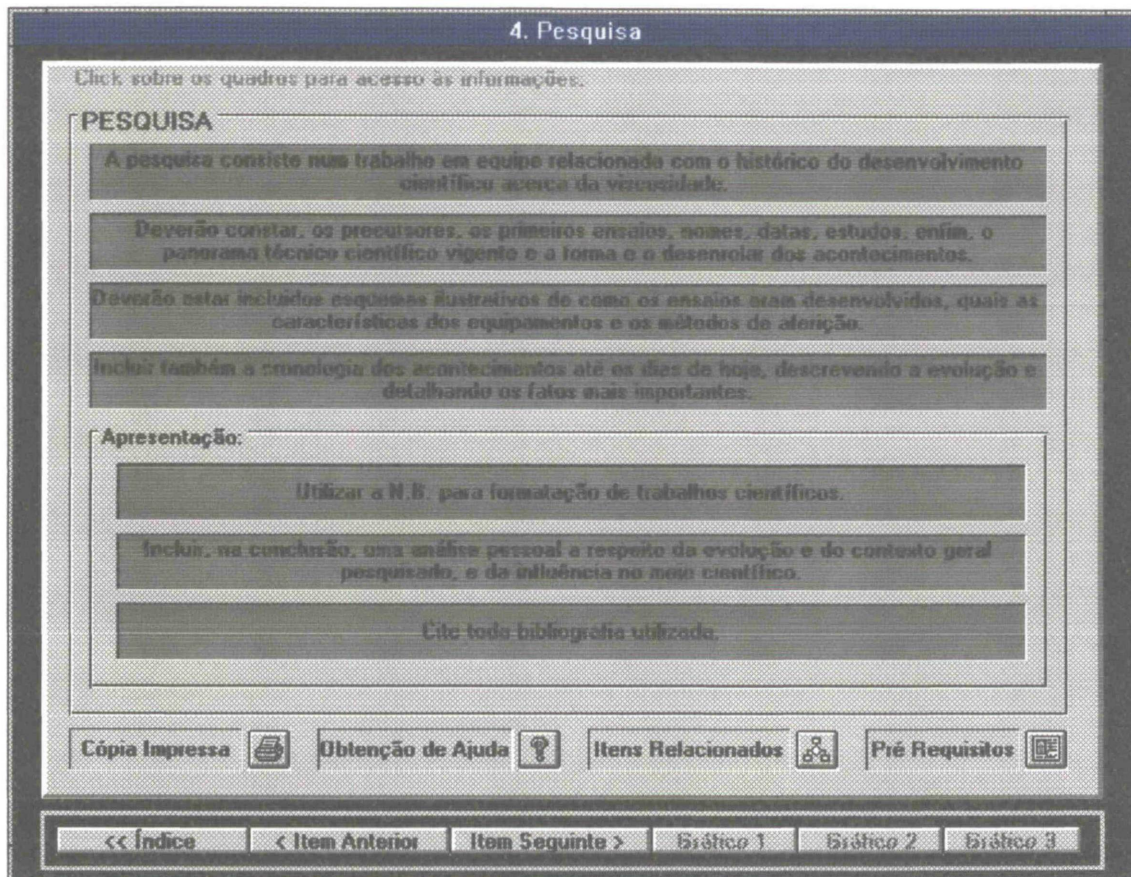


Figura 33 - Tela do item “Pesquisa”. Os mesmos recursos dos itens anteriores, como impressão, ajuda e requisitos, estão disponíveis.

A tela mostra um exemplo de como explorar a capacidade de comunicação com o usuário. Não é relevante, no presente momento, o conteúdo apresentado; este, evidentemente, pode ser alterado, aperfeiçoado. Outras janelas complementares podem ser incorporadas criando um plano completo de trabalho. O tema sugerido neste exemplo tem uma finalidade ilustrativa. Para uma implantação efetiva é necessário um intercâmbio de



informações entre os professores responsáveis pela disciplina e o programador. O item deverá fornecer informações adicionais com relação ao tema, datas, requisitos específicos, organização de equipes, etc.

O próximo item a ser apresentado refere-se à metodologia na “Resolução de Problemas”. Ver a figura 34:

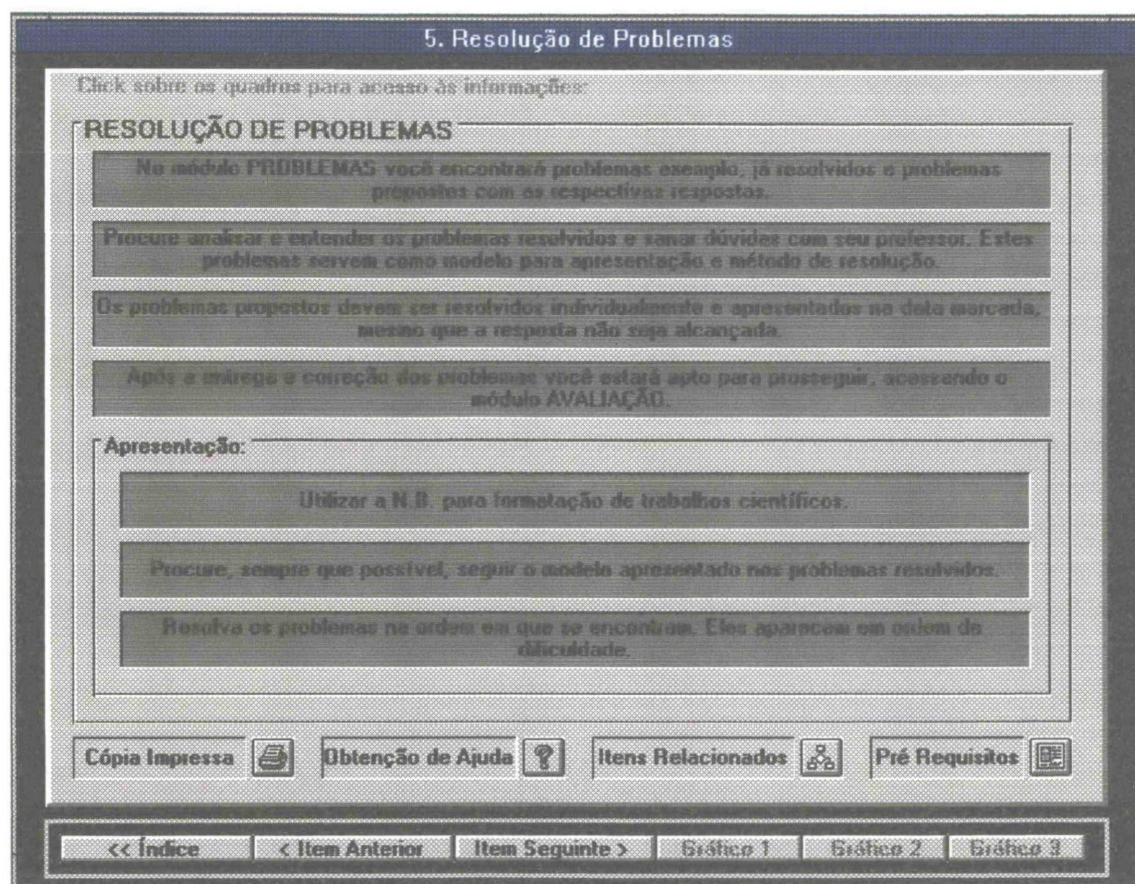


Figura 34 - Tela do item “Resolução de Problemas”.

Este item refere-se ao módulo “Problemas” deste mesmo título. Como poderá se ver, o módulo PROBLEMAS apresenta um contexto bastante dinâmico, podendo incluir, com facilidade, atualizações, correções e substituições na lista de problemas apresentada. Também cabe aqui citar, que as instruções que gerenciam o trabalho a ser desenvolvido, neste caso, uma



lista de problemas, podem ser adaptadas de acordo com as características e condições da época. Assim, a participação do professor na formulação desta tela é fundamental, para que ocorra uma perfeita integração entre a sala de aula e o laboratório computacional.

O último item do módulo “TAREFAS” aborda a auto avaliação que pode ser acessada no módulo “AVALIAÇÃO”. A tela deste item esta reproduzida na figura 35:

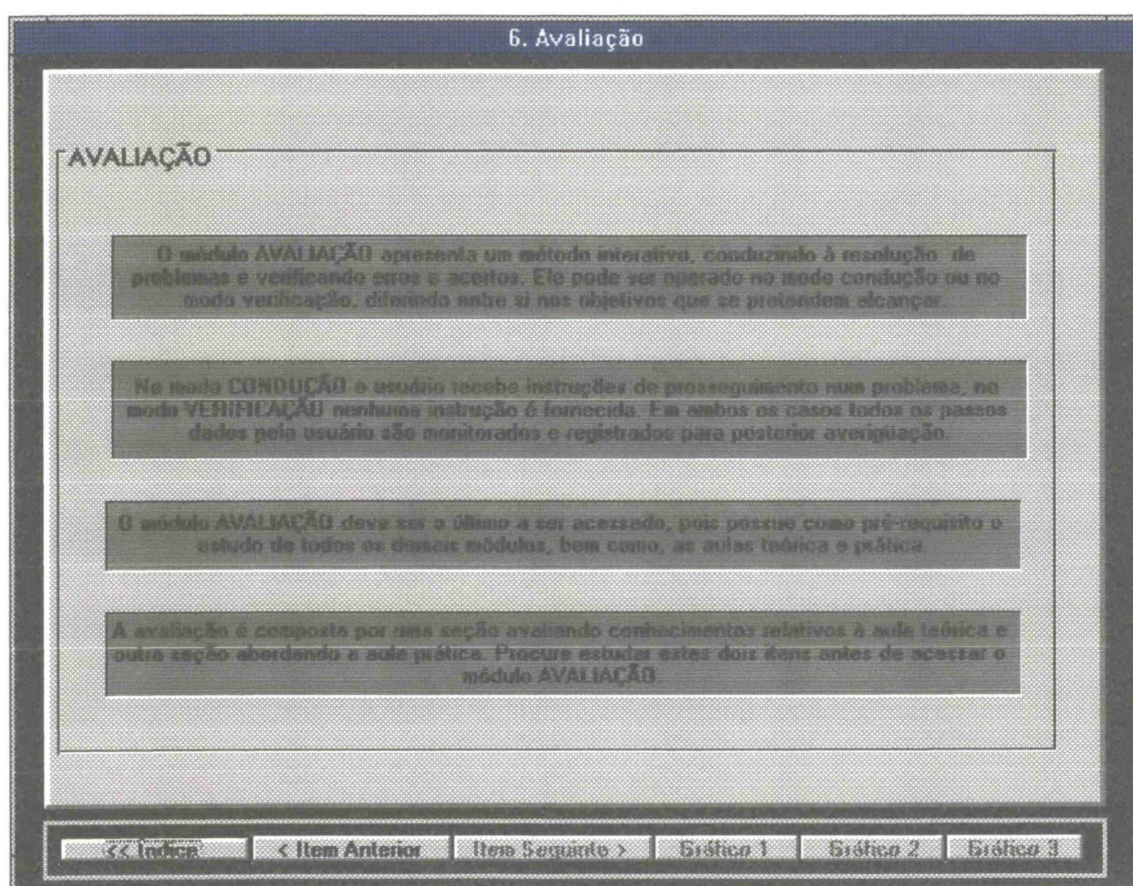


Figura 35 - Tela do item “ Avaliação”.

Este item tem caráter informativo e apresenta algumas características e requisitos para o sistema de auto avaliação que está incorporado ao título.

## 2.4 Viscosidade - Módulo Problemas

Este módulo prepara a apresentação de uma lista de exercícios relacionados ao título VISCOSIDADE que podem ser resolvidos no próprio computador tendo embutidas algumas opções para organização e impressão da resolução. Inclui-se, ainda, a possibilidade de acesso à calculadora do *Windows* e outras ferramentas adicionais que farão com que o módulo se torne auto suficiente na atividade. A figura 36 da página 59 reproduz a tela inicial do item PROBLEMAS, onde aparecem algumas instruções iniciais e os quadros de acesso aos enunciados dos problemas.

Neste exemplo, para este módulo, considera-se um problema já resolvido, que inclusive é referenciado no módulo “TEORIA”, e tem a função de mostrar uma seqüência de cálculo que deverá ser adotada na resolução de outros problemas. A figura 37 da página 59, retrata a tela de apresentação do problema resolvido que é acessada pelo “clique” no quadro “Problema Resolvido”. da tela inicial.

Normalmente os problemas serão apresentados com essas características, ou seja, um quadro de texto para o enunciado, um quadro de ilustração e algumas teclas de controle. Dependendo da variação que possa ocorrer para determinado problema as teclas de controle podem variar ou ser adaptadas. No caso do problema resolvido estas teclas restringem-se a “RETORNO” e “RESOLUÇÃO”, as quais referem-se ao retorno à tela inicial e à abertura de um quadro contendo a resolução, respectivamente. A figura 38 da página 60 mostra o conteúdo da resolução.



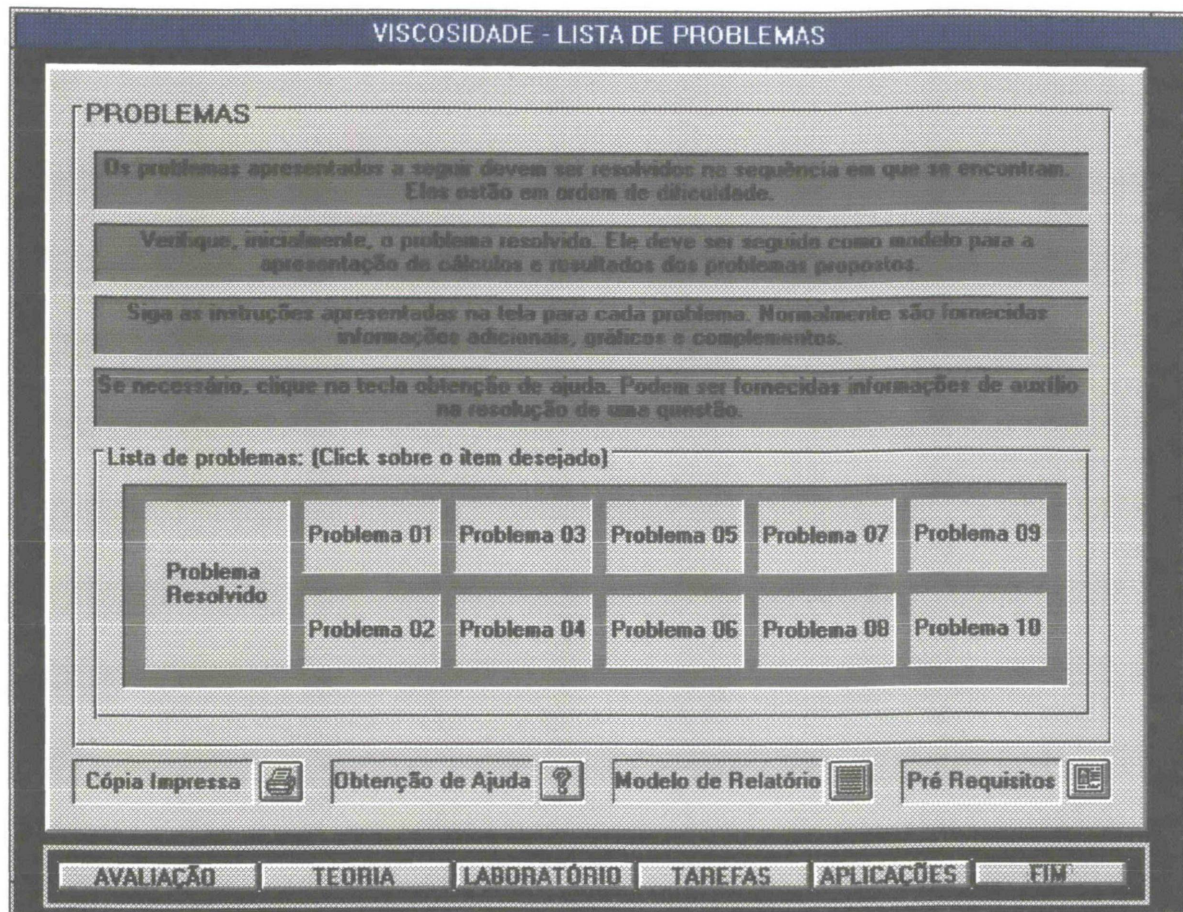


Figura 36 - Tela inicial do módulo "Problemas".

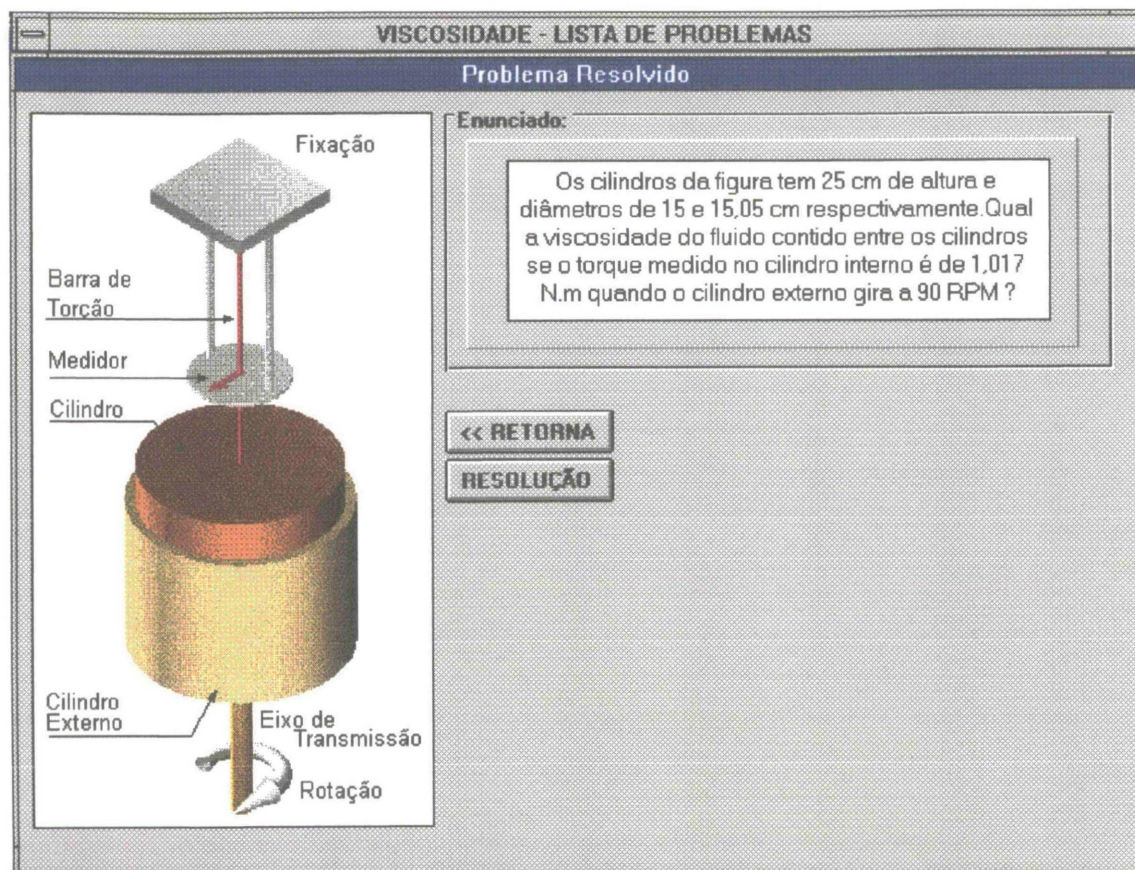


Figura 37 - Tela de apresentação do "Problema Resolvido".



**VISCOSIDADE - LISTA DE PROBLEMAS**

**Problema Resolvido**

Fixação

Barra de Torção

Medidor

Cilindro

Cilindro Externo

Eixo de Transmissão

Rotação

**Resolução**

1. Velocidade Tangencial no cilindro externo:  
 $v = \omega r \rightarrow = (2 \pi \cdot 90 / 60) \cdot (0,1505 / 2)$   
 $v = 0,71 \text{ m/s}$

2. Razão da deformação:  
 $dv / dy = v / \Delta r = 0,71 / 0,00025$   
 $dv / dy = 2840 \text{ m / s.m}$

3. A tensão aplicada à superfície do cilindro interno, é o torque dividido pelo raio e a área da superfície cilíndrica:  
 $T = 1,017 \cdot 2 / (0,15^2 \cdot 0,25 \cdot \pi)$   
 $T = 115,1 \text{ N/m}^2$

4. Equação da Resistência Viscosa:  
 $\mu = T / (dv / dy)$   
 $\mu = 115,1 / 2840$   
 $\mu = 0,04053 \text{ Pa.s}$

**OK**

Figura 38 - Conteúdo da resolução. - Para sair é necessário clicar "OK". (ROUSE , Hunter. Elementary Mechanics of Fluids. pag. 152.)

## 2.5 Viscosidade - Módulo Avaliação

O módulo AVALIAÇÃO, neste trabalho, consiste na demonstração de como verificar a condução da resolução de um problema pelo usuário. A resolução é dividida em etapas e para cada uma delas são colocadas uma série de alternativas como resposta ou um determinado objetivo a ser alcançado. Os erros e acertos cometidos pelo usuário são contabilizados e no final obtém-se uma estatística sobre o desempenho e um grau de avaliação. A cada resposta do usuário, é fornecida uma mensagem específica, de acordo com a condução do problema. As mensagens procuram, dentro de determinados limites, conduzir o usuário à resolução correta, principalmente quando sua resposta aproximou-se do ideal. Os diferentes métodos de



reconhecimento de conduta são abordados gradativamente através do módulo AVALIAÇÃO. Para o título VISCOSIDADE foi incluído um problema clássico com resolução em 6 etapas. A versão final e em condições de aplicação efetiva, deste módulo, deverá incluir 6 problemas com aumento gradativo de dificuldade e abordar várias modalidades de avaliação, com exemplos iniciais introduzidos nessa dissertação.

A tela inicial do módulo encontra-se reproduzida na figura 39, onde se encontram algumas instruções iniciais, a lista de módulos de avaliação e um conjunto de teclas que pode dar acesso direto a outros módulos.

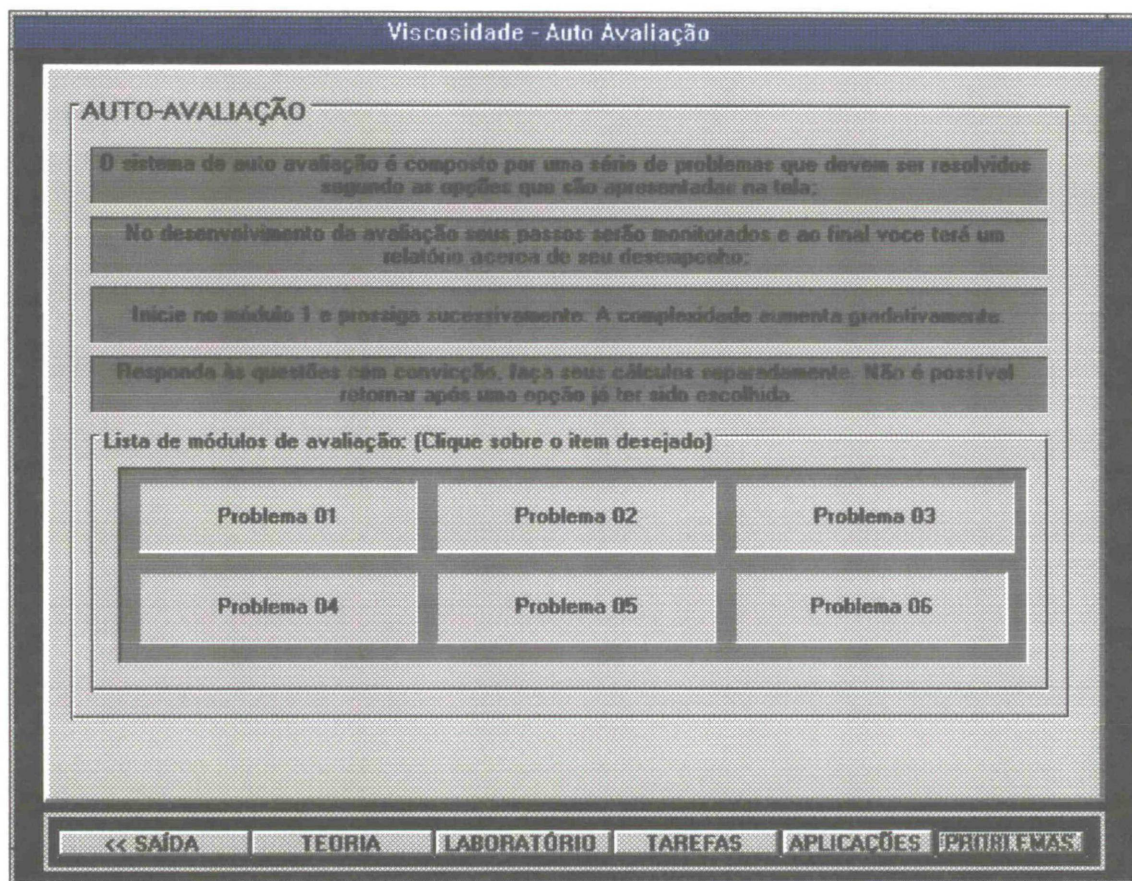


Figura 39 - Tela inicial do módulo AVALIAÇÃO, para o título VISCOSIDADE.



Na tela inicial do módulo, clicando sobre o quadro “Problema 01” abre-se a tela referente à apresentação do problema a ser resolvido. Esta tela está reproduzida na figura 40. Nesta tela encontra-se um gráfico mostrando o esquema do dispositivo proposto no enunciado, um conjunto de teclas para acesso aos passos a serem cumpridos na resolução e um quadro que irá demonstrar o desempenho do usuário na condução do problema.

**Avaliação - Problema 1**

óleo lubrificante  
 $\mu = 0,015 \text{ N.s/m}^2$

anel  
20 cm

200mm  
200,2mm

**Enunciado:**

Um anel cilíndrico pesando 29,5 N, desliza com velocidade constante ao longo de um eixo vertical lubrificado conforme a figura. Calcular a velocidade do anel sendo que o lubrificante possui uma viscosidade de 0,015 N.s/m<sup>2</sup>.

Clique sobre as teclas "PASSO" para o desenvolvimento da resolução:

Avaliação:	Erros	Acertos
Passo 1:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Passo 2:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Passo 3:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Passo 4:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Passo 5:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Passo 6:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Avaliação:	<input type="text"/>	

Figura 40 - Tela de apresentação do “Problema 01”.

Entre as teclas “PASSO”, encontra-se disponível apenas a tecla “PASSO 1” e deverá ser acionada para prosseguimento no módulo. O primeiro passo para resolução relaciona-se com a identificação do perfil de velocidades



que deve ser adotado para a camada de fluido lubrificante entre o anel e o eixo vertical. A figura 41 mostra a janela relativa a este passo.

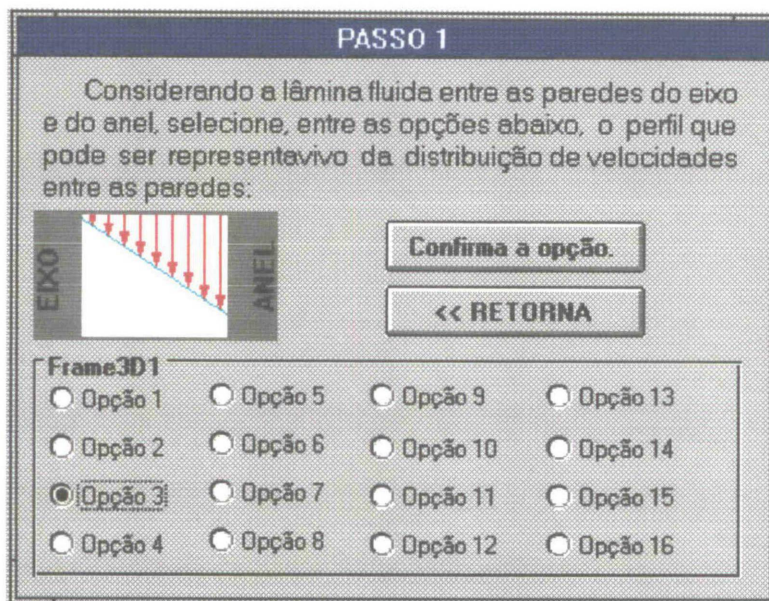


Figura 41 - Janela referente ao "Passo 1".

As diversas opções trazem vários tipos de perfil de velocidades e o usuário deverá escolher a que melhor se adapte às circunstâncias do problema. Após clicar sobre uma opção, esta deverá ser confirmada através da tecla "Confirma a opção". Se a escolha estiver correta, um quadro de mensagem é aberto indicando o acerto, e é atribuído o valor 1 ao campo "Acertos" na linha "Passo 1" do quadro "Avaliação" da tela principal. Se a escolha estiver errada outro quadro de mensagem é aberto e indica que a escolha foi errada com a respectiva justificativa. Neste caso é somado o valor 1 ao campo "Erros" na linha "Passo 1" do quadro "Avaliação" da tela principal. Em caso de acerto o usuário deverá clicar "<<RETORNA" e seguir para o "Passo 2" clicando sobre a respectiva tecla. No "Passo 2" o usuário terá de estabelecer uma relação entre a velocidade " $v$ " e a espessura " $y$ " em função do perfil de velocidades.

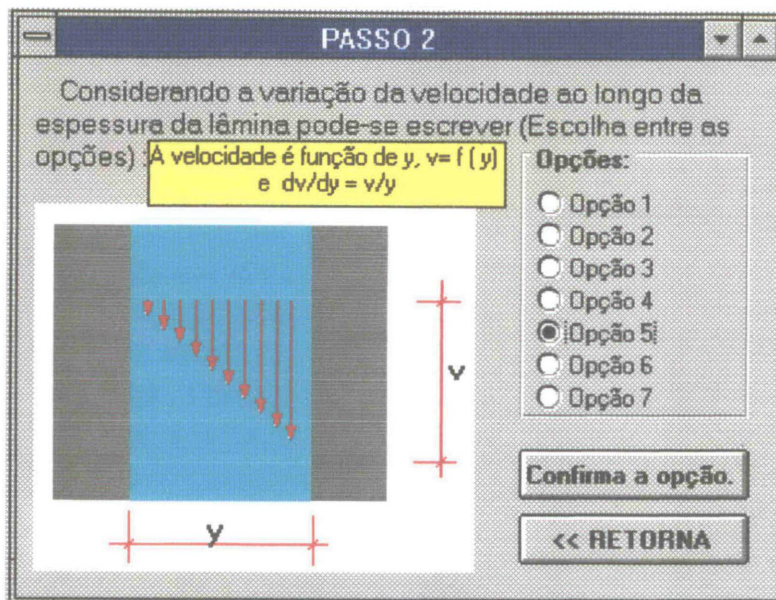


Figura 42 - Janela para o Passo 2.

Para as várias opções surgem quadros com alternativas para a relação. A alternativa escolhida deverá se confirmada com o botão “Confirma a opção” e em caso de acerto abre-se um quadro de mensagem indicando o acerto e é atribuído o valor 1 ao campo “Acertos” na linha Passo 2 do quadro “Avaliação” da tela principal. Se a escolha estiver errada outro quadro de mensagem é aberto e indica que a escolha foi errada com a respectiva justificativa. Neste caso é somado o valor 1 ao campo “Erros” na linha “Passo 2” do quadro “Avaliação” da tela principal. Para uma escolha errada o usuário deverá continuar e escolher outra opção. Em caso de acerto o usuário deverá clicar “<<RETORNA” e seguir para o “Passo 3” clicando sobre a tecla “PASSO 3” na janela principal.

Os erros e acertos cometidos vão sendo indicados sucessivamente nos campos do quadro “Avaliação” a medida que os passos vão sendo desenvolvidos. Os erros são acumulativos e podem assumir 0 ou um valor maior ou igual a 1 para uma determinada linha enquanto os acertos só



assumem o valor 1 ou 0. Em qualquer estágio do módulo o próximo passo só se torna acessível após a conclusão do passo atual, ou seja, é necessário obter a resposta correta e o campo relativo ao acerto conterà o valor 1 independentemente do número de erros.

O “Passo 3” envolve a aplicação da relação geométrica obtida no “Passo 2”. O usuário deverá tomar partido desta relação para resolver o problema. Neste passo são fornecidas algumas opções para aplicação da relação e como de praxe deverá ser escolhida uma alternativa, quando então se abrirá um quadro de mensagem para confirmação.

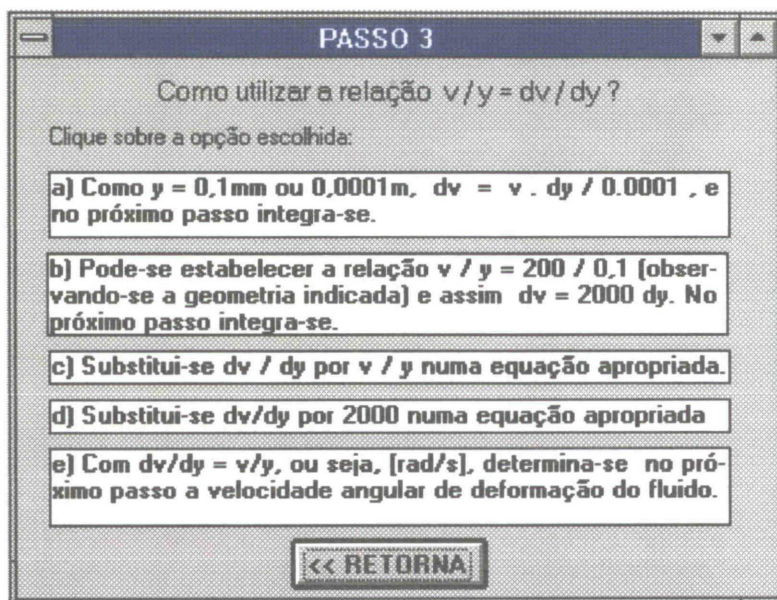


Figura 43 - Janela referente ao “Passo 3”

Em caso de acerto abre-se um quadro de mensagem indicando o acerto e é atribuído o valor 1 ao campo “Acertos” na linha “Passo 3” do quadro “Avaliação” da tela principal. Se a escolha estiver errada outro quadro de mensagem é aberto e indica que a escolha foi errada com a respectiva justificativa. Neste caso é somado o valor 1 ao campo “Erros” na linha “Passo

3” do quadro “Avaliação” da tela principal. Para uma escolha errada o usuário deverá continuar e escolher outra opção. Em caso de acerto o usuário deverá clicar “<<RETORNA” e seguir para o “Passo 4” clicando sobre a tecla “PASSO 4” na janela principal.

As teclas “PASSO” na janela principal só ficam disponíveis seqüencialmente, isto é, tendo-se concluído o “Passo 3” e voltando à janela principal não é possível acessar um passo qualquer a não ser o “Passo 4”; esta será a única tecla hábil e desta maneira o módulo é conduzido de forma ordenada já que esta característica é comum em todas as etapas do módulo “AVALIAÇÃO”.

A tecla “<<RETORNA”, dentro da janela de um passo, estará sempre disponível, porém, se acionada antes da conclusão do respectivo passo, terá função apenas para o abandono prematuro do programa, já que a janela principal terá seus parâmetros inalterados desde o início do passo em andamento.

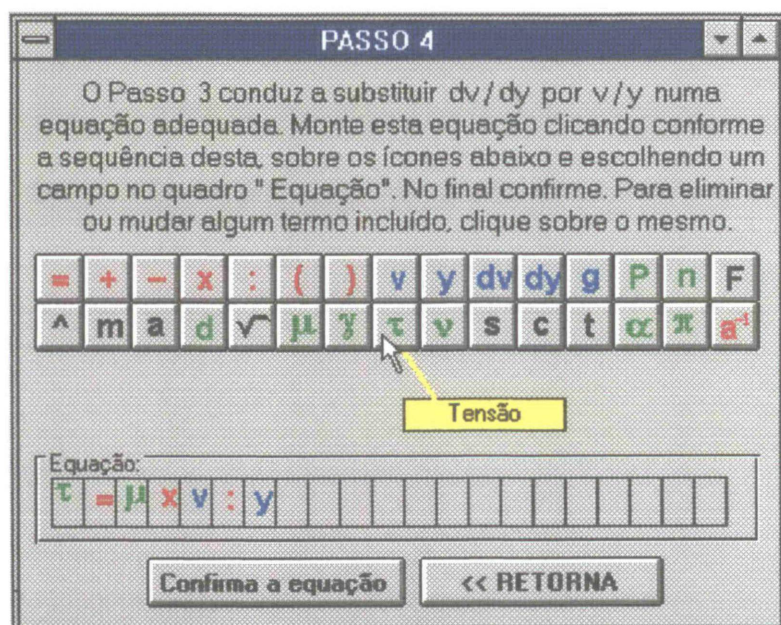


Figura 44 - Janela referente ao “Passo 4”.



O “Passo 4” envolve a escolha da equação adequada para a resolução do problema e aqui não existem alternativas. O usuário terá de literalmente “escrever” a equação utilizando uma série de símbolos que estão incluídos na janela do “passo”. Quando o cursor do mouse estaciona em um determinado símbolo, aparece um pequeno quadro de texto indicando o significado do símbolo. Para selecionar um símbolo, este deve ser “clicado” e para incluí-lo no campo da equação, um dos quadros deste campo deve ser “clicado”. Se o campo for “clicado” sem que um símbolo tenha sido selecionado é inserido um espaço em branco, ou apagado um símbolo pré-inserido. Dessa forma pode-se montar equações com uma infinidade de variações. Após a montagem dessa equação o usuário deverá confirmar sua resposta. Em caso de acerto abre-se um quadro de mensagem indicando o acerto e é atribuído o valor 1 ao campo “Acertos” da linha “Passo 4” do quadro “Avaliação” da tela principal. Em caso de erro outro quadro de mensagem é aberto com a respectiva justificativa. Nesse caso é somado o valor 1 ao campo “Erros” na linha “Passo 4” do quadro “Avaliação” da tela principal. Para uma escolha errada o usuário deverá continuar e mudar a equação.

O “Passo 5” apresenta alternativas quanto à adaptação da Lei da Resistência Viscosa de Newton para o problema.

Em cada alternativa deverá ser verificada a coerência com os dados do problema e a inclusão de valores numéricos. A escolha de uma alternativa certa ou errada produz o mesmo efeito comentado para os passos anteriores.

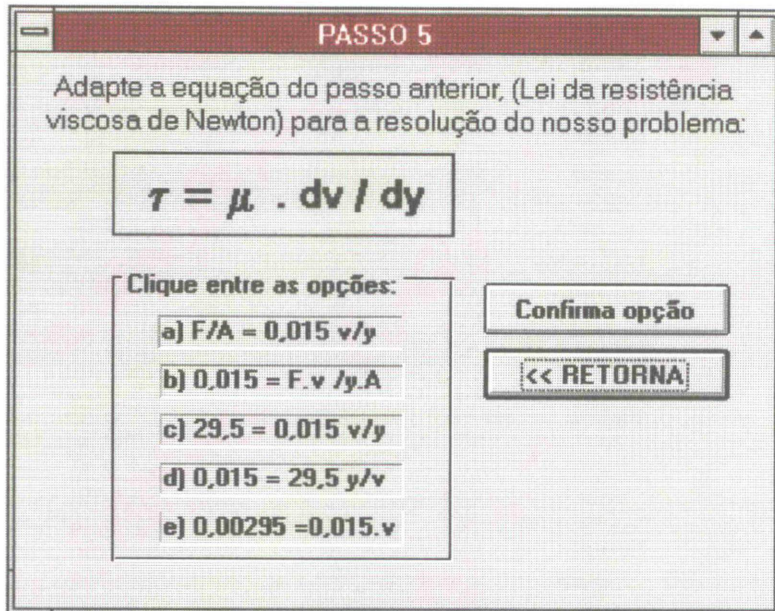


Figura 45 - Janela para o "Passo 5".

Finalmente, o "Passo 6" solicita um resultado numérico. A resposta para o problema é uma velocidade de 1,56 m/s; entretanto, devido a arredondamentos, será aceita uma resposta entre 1,5 e 1,6 m/s, sendo que o resultado deve ser digitado sobre o quadro numérico da janela e utilizando o símbolo (.) ponto decimal com no máximo duas casas decimais.

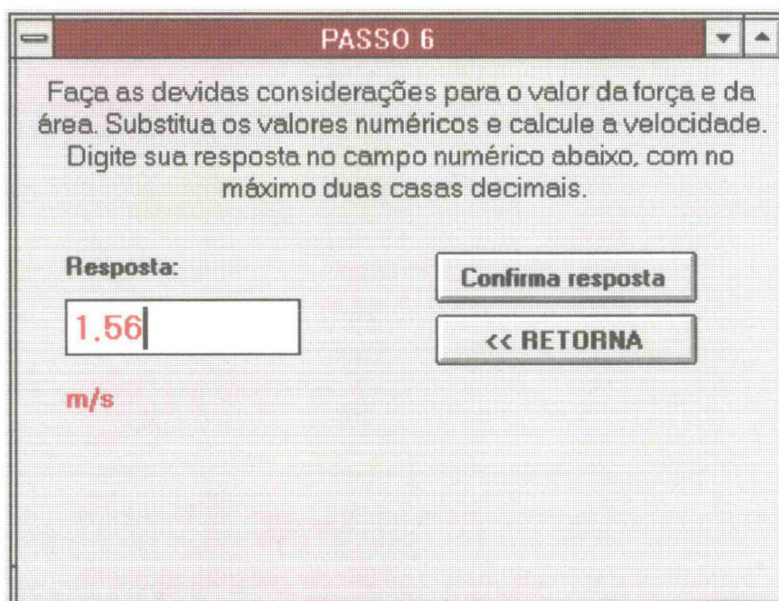


Figura 46 - Janela do "Passo 6".

A confirmação de um valor errado provoca a abertura de um quadro de mensagem que indica o erro e solicita uma revisão de cálculos. Este mesmo quadro pode ser repetido até 3 vezes. Na quarta tentativa, se ainda não for introduzido um valor correto, o quadro de mensagem para erro inclui uma explicação a respeito do emprego da fórmula e finalmente, numa quinta tentativa com inclusão de valores errados, é demonstrada a solução e a resposta. Neste ponto o programa impede novas tentativas e obriga o retorno à janela principal.

Os escores obtidos no decorrer da resolução do módulo estarão nos campos do quadro “Avaliação” e no final será emitido um conceito a respeito do desempenho que foi convencionado da seguinte forma:

- EXCELENTE: Nenhum erro;
- BOM: Um ou dois erros;
- REGULAR: Dois ou três erros;
- SOFRÍVEL: Quatro ou mais erros.



### 3 PERDA DE CARGA

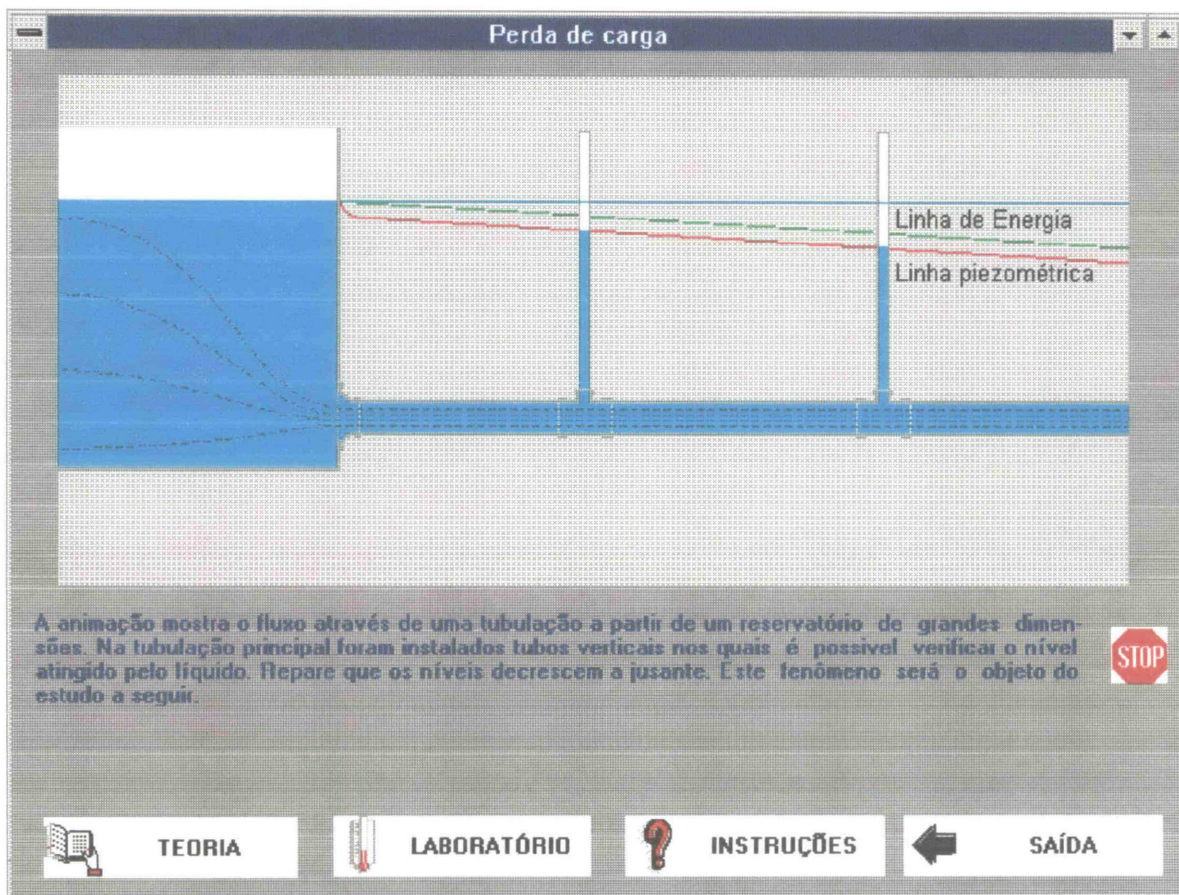


Fig. 47 - Tela de abertura do conjunto PERDA DE CARGA. Nesta etapa o usuário pode ingressar nos módulos componentes “clitando” sobre um dos quadros, TEORIA ou LABORATÓRIO. Para o usuário iniciante, há um módulo de ajuda acessado pelo quadro INSTRUÇÕES. O quadro SAÍDA, abre um campo de diálogo, solicitando a confirmação de saída do conjunto.

O título **PERDA DE CARGA** é composto pelos módulos TEORIA e LABORATÓRIO:

O módulo **TEORIA**, para esse título, em sua parte discursiva, apresenta uma breve introdução com fundamentos conceituais. Nesse exemplo de tratamento do conteúdo teórico, a parte textual é minimizada e o contexto se refere a uma atividade prática relacionada com a perda de carga em tubulações. Nessa modalidade serão praticadas várias formas de visualização dos efeitos da perda de carga, sua medição e conseqüências. O módulo irá simular operações reais num conjunto de tubulações e os resultados poderão ser verificados nas animações geradas na tela e também em “displays” numéricos. Essa é uma modalidade prático-experimental para o módulo **TEORIA** e faz parte do conjunto de programas experimentais que foram intitulados de “UTILITÁRIOS”. Se esta modalidade for somada a um embasamento discursivo mais detalhado, (como no título **VISCOSIDADE**), obtém-se um módulo bastante adequado, faltando ainda, um tratamento indutivo, ou seja, que estimule a pesquisa.

O módulo **LABORATÓRIO** simula uma experiência real que consiste no escoamento de água através de um conjunto de tubulações que apresenta uma rugosidade interna criada artificialmente. No simulador foram adicionadas algumas operações de realização inviável no experimento real, como a variação da rugosidade interna da tubulação. Com a simulação pretende-se estimular o usuário à prática da averiguação e confrontação de resultados. Esse módulo retrata fielmente os procedimentos do respectivo ensaio real; assim, terá, também, a função de revisão da aula prática.

### **3.1 Perda de Carga - Módulo Teoria**

Os módulos “TEORIA”, deverão ser compostos, normalmente, por páginas de texto acompanhadas de gráficos, ilustrações, animações e “UTILITÁRIOS” que complementem o assunto. No caso do assunto VISCOSIDADE, o conteúdo desse módulo refere-se aos textos acompanhados da parte gráfica. Para o módulo TEORIA do título “PERDA DE CARGA” trabalhou-se na concepção de um **UTILITÁRIO**, que consiste na montagem de um dispositivo onde sejam aplicados os conceitos referentes ao assunto estudado de forma que seus efeitos práticos possam ser percebidos de maneira esclarecedora. Suas características básicas são:

- Apresentação de um equipamento ou uma instalação que possua uma conotação real, ou seja, possa ser executada na prática;
- O dispositivo deverá ter um estreito relacionamento com o assunto em pauta e a interligação deverá ser óbvia;
- Os parâmetros que determinam os resultados deverão ter uma ampla gama de variações, podendo, inclusive, simular situações que dificilmente seriam obtidas na realidade, porém com a ressalva de uma ocorrência hipotética;
- Os resultados obtidos devem ser **visualizados**, ou seja, enfatiza-se a necessidade de se **observar o fenômeno**, além de se obter resultados numéricos;
- Os valores obtidos deverão ser esclarecidos através do cálculo e da formulação apropriada. Deverá haver uma sustentação teórica para aquilo que é apresentado como resultado de uma situação;



- Haverá uma conotação interativa, isto é, será provocada a participação do usuário para considerar uma variação dos parâmetros envolvidos, obtendo-se, em conseqüência, uma correspondente resposta;
- Todos os cálculos e seus resultados, procedimentos e operações incluídas no utilitário estarão fundamentados na bibliografia correspondente. As rotinas computacionais empregadas deverão se conduzir embasadas na formulação teórica adequada.

Com base no exposto acima e dirigindo o estudo para o título “Perda de Carga”, introduziu-se um dispositivo constituído pela interligação de dois reservatórios de água, através de uma canalização para a qual se calculam as perdas de energia em pontos localizados e em sua extensão. A esta canalização foram incluídos dois pontos intermediários de verificação de alturas representados por dois piezômetros. Assim, o usuário pode ter a noção da utilidade destes dispositivos. A entrada da canalização pode ser alterada entre três opções: entrada com cantos vivos, entrada com cantos arredondados e entrada de Borda. Foi incluída uma redução brusca em um ponto intermediário com diâmetros que podem ser variados pelo usuário entre os limites de 5 cm e 40 cm. Esta redução define os diâmetros anterior e posterior à redução para toda a canalização. Os comprimentos reais da canalização também podem ser alterados entre os limites de 50m e 1000m. Existe a possibilidade de se optar pelo material da tubulação entre PVC, Ferro Galvanizado novo, Ferro Galvanizado com 3 anos de uso, Ferro Fundido e Concreto. Na operação do programa aparecerão as linhas piezométrica e de energia para o escoamento que estiver estabelecido. O fluxo se dará do

reservatório esquerdo (R1) para o reservatório direito (R2). Dessa forma o nível do reservatório R1 será o necessário para ser mantida a vazão do escoamento estabelecido. Este nível estará representado automaticamente no vídeo de forma gráfica e numericamente através de um “display” acima do reservatório. A vazão será escolhida pelo usuário clicando sobre a respectiva barra de rolagem e terá limites entre 0 e 20 l/s. A figura 48 da página 75 mostra a página inicial (página de texto) que contém algumas informações a respeito da operação e do conteúdo do exercício prático. Nessa tela de texto é importante salientar o último parágrafo:

Vazões altas ou diâmetros reduzidos podem acarretar excessiva perda de carga e neste caso os gráficos extrapolarão os limites do vídeo. Entretanto, não foi incluída nenhuma restrição à essa prática, com a intenção de mostrar todos os efeitos possíveis. Tenha em mente, porém, que para um escoamento real, existem limites físicos para a vazão e para a velocidade.
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Quadro 3 - Parágrafo do quadro de texto no utilitário do título PERDA DE CARGA.

Acima de determinados limites, a vazão provocará perdas de carga com valores que extrapolarão os limites do vídeo em função da escala de desenho adotada para o nível do reservatório e para as linhas piezométrica e de energia. O desenho desses níveis é controlado por um temporizador que verifica a cada cinco décimos de segundo a variação de algum parâmetro como vazão, diâmetro, comprimento, material ou tipo de entrada. Todos estes itens, em conjunto, e em combinação de valores, proporcionam a perda de carga total que acarreta o respectivo desnível entre os reservatórios. Para não haver um excessivo controle sobre os parâmetros, limitando de forma drástica a operação do usuário e estabelecendo uma série geométrica de combinações

de rotinas de processamento, seus valores foram deixados irrestritos dentro dos limites usuais.

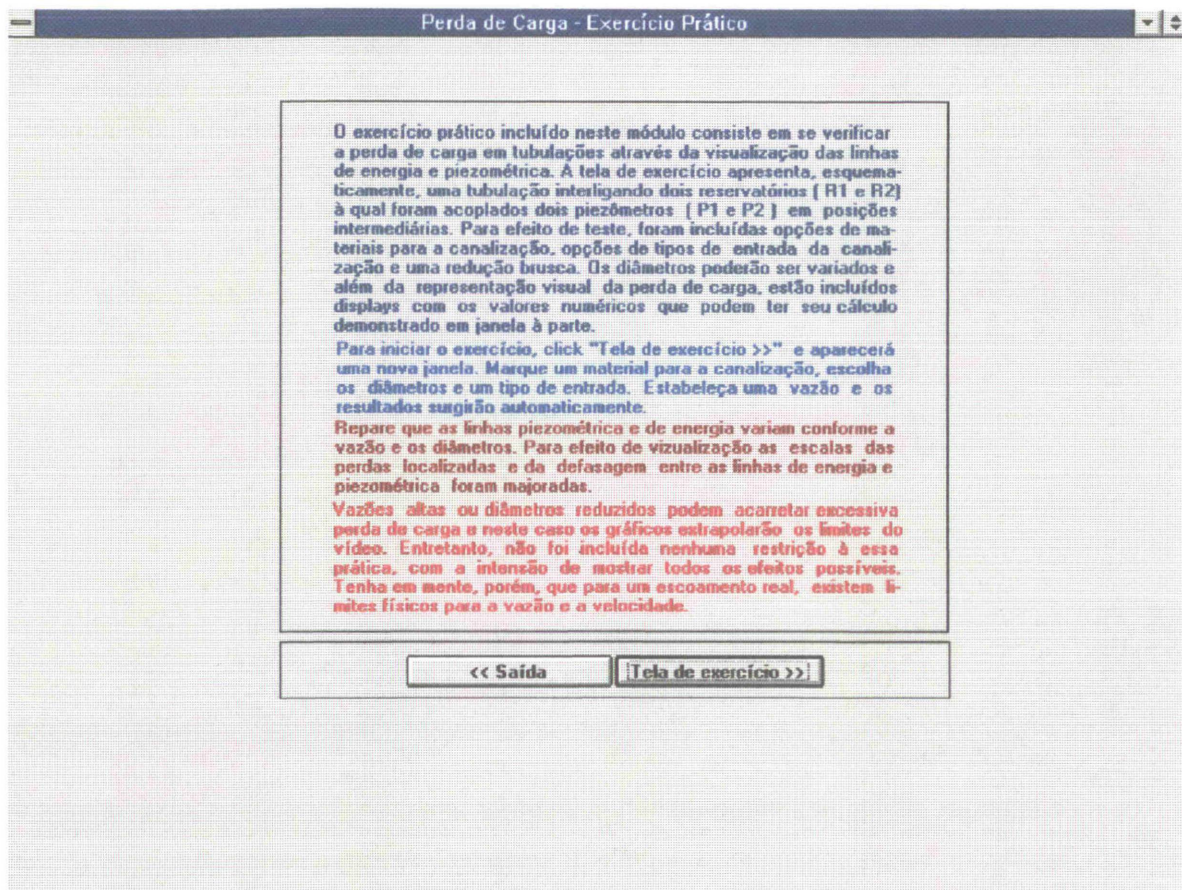


Figura 48 - Tela inicial do exercício prático do módulo TEORIA. A tecla "<<Saída" encerra o módulo voltando ao índice do assunto. A tecla "Tela de exercício >>" conduz ao utilitário.

A figura 49, da página 76, mostra a tela de exercício onde já foram acionados alguns controles, como a vazão, a opção por material da canalização e seus diâmetros e a entrada com cantos arredondados. Pode-se notar, pela figura, as ferramentas disponíveis para se trabalhar com esta ampla variação de "entrada de dados".



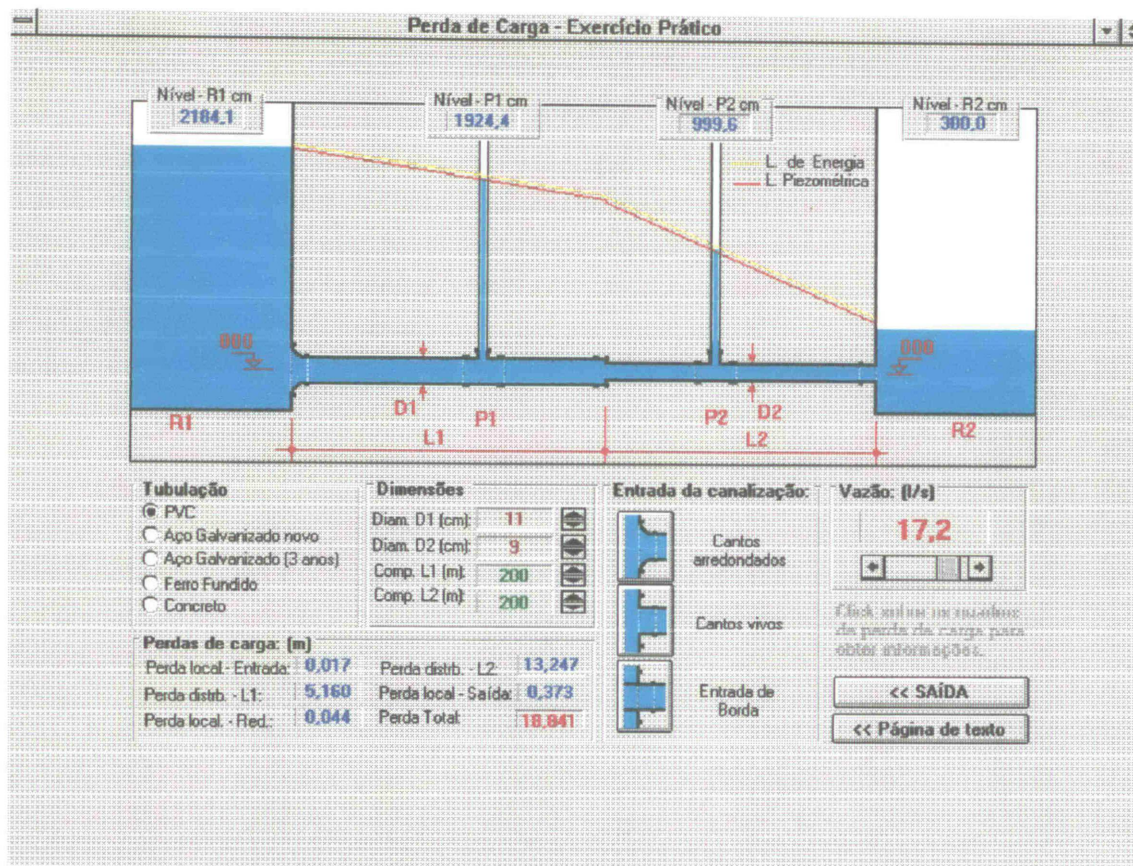


Figura 49 - Tela do exercício prático do módulo TEORIA.

Descrevem-se a seguir as rotinas em código “fonte” que foram incluídas nesse módulo.

Com relação ao quadro de opções para o material da tubulação, foram empregados valores de rugosidade interna (  $k$  ) encontrados na bibliografia<sup>16</sup> e que se encontram descritos no quadro 4 da página 77.

<sup>16</sup> PINTO, Nelson Luiz de Souza e outros. Noções Básicas de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica. Ver REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

```

Sub Option3D1_Click (Vale As Integer)      {Opção p/ PVC}
k = .000001                                {Não usar k=0; isso provocaria um erro
                                           na rotina iterativa que calcula o fator
                                           de resistência "f", através da
                                           formulação de Colebrook e White.}

End Sub

Sub Option3D2_Click (Vale As Integer)      {Opção p/ Ferro galvanizado novo}
k = .0001524

End Sub

Sub Option3D3_Click (Vale As Integer)      {Opção p/ Ferro galvanizado c/ 3 anos
                                           de uso.}
k = .00028

End Sub

Sub Option3D4_Click (Vale As Integer)      {Opção p/ Ferro fundido.}
k = .00023

End Sub

Sub Option3D5_Click (Vale As Integer)      {Opção p/ concreto.}
k = .0007

End Sub

```

Quadro 4 - Código fonte para o controle de materiais da tubulação.

O diâmetro da canalização possui um valor original de 20 cm para toda a sua extensão. Porém o usuário pode alterá-lo de forma a criar a redução brusca. Note-se que o diâmetro anterior à redução (DIAM1) terá de ser maior ou igual ao diâmetro posterior (DIAM2). Limitou-se a variação destes diâmetros entre 5 cm e 40 cm. O código "fonte" que manipula estes diâmetros se encontra definido a seguir:

```

Sub Spin1_SpinDown ()                                {Rotina que reduz o diâmetro anterior.}
  dn = Val(panel3d5.Caption)
  dn = dn - 1
  If dn > 4 And dn >= Val(panel3d6.Caption) Then
    panel3d5.Caption = dn
    diam1 = dn / 100
  End If
End Sub

Sub Spin1_SpinUp ()                                  {Rotina que aumenta o diâmetro anterior.}
  up = Val(panel3d5.Caption)
  up = up + 1
  If up < 41 Then
    panel3d5.Caption = up
    diam1 = up / 100
  End If
End Sub

Sub Spin2_SpinDown ()                                {Rotina que reduz o diâmetro posterior.}
  dn = Val(panel3d6.Caption)
  dn = dn - 1
  If dn > 4 And dn <= Val(panel3d5.Caption) Then
    panel3d6.Caption = dn
    diam2 = dn / 100
  End If
End Sub

Sub Spin2_SpinUp ()                                  {Rotina que aumenta o diâmetro posterior.}
  up = Val(panel3d6.Caption)
  up = up + 1
  If up < 41 And up <= Val(panel3d5.Caption) Then
    panel3d6.Caption = up
    diam2 = up / 100
  End If
End Sub

```

Quadro 5- Código fonte para o controle de diâmetros.



No quadro acima, Panel3dn.Caption acumula o valor do diâmetro. O controle “Spin”<sup>17</sup> aciona a rotina de alteração do valor do diâmetro e foi calibrada para a variação de uma unidade a cada pulso.

O comprimento de cada trecho possui um valor original de 200 m, o qual pode ser alterado entre 50 m e 1000 m conforme as rotinas a seguir:

```

Sub Spin3_SpinDown ()                                {Rotina que reduz o comprimento anterior.}
  dn = Val(panel3d7.Caption)
  dn = dn - 1
  If dn > 49 Then
    panel3d7.Caption = dn
    comp1 = dn
  End If
End Sub
Sub Spin3_SpinUp ()                                  {Rotina que aumenta o comprimento anterior.}
  up = Val(panel3d7.Caption)
  up = up + 1
  If up < 1001 Then
panel3d7.Caption = up
    comp1 = up
  End If
End Sub
Sub Spin4_SpinDown ()                                {Rotina que reduz o comprimento posterior.}
  dn = Val(panel3d8.Caption)
  dn = dn - 1
  If dn > 49 Then
    panel3d8.Caption = dn
    comp2 = dn
  End If
End Sub

```

Quadro 6a - Código fonte para o controle do comprimento da tubulação.

---

<sup>17</sup> Spin é um controle característico do ambiente “Windows”. Consiste em duas setas que quando acionadas pelo ponteiro do “mouse”, produzem um pulso que aciona uma determinada rotina, a qual pode ser, por exemplo, a alteração de uma variável em uma unidade.

```

Sub Spin4_SpinUp ()                                {Rotina que aumenta o comprimento posterior.}
  up = Val(panel3d8.Caption)
  up = up + 1
  If up < 1001 Then
    panel3d8.Caption = up
    comp2 = up
  End If
End Sub

```

Quadro 6b - Código fonte para o controle do comprimento da tubulação (continuação).

No quadro acima, Panel3dn.Caption acumula o valor do comprimento. O controle “Spin” aciona a rotina de alteração do valor do comprimento e foi calibrada para a variação de uma unidade a cada pulso.

A vazão é controlada por uma ferramenta do tipo “Barra de Rolagem”. O seu valor está compreendido entre 0 e 20 l/s. A rotina para determinação da vazão está incluída a seguir:

```

Sub HScroll1_Change ()
  panel3d28.Caption = Format$((hscroll1.Value) / 10, "0.0")
End Sub

```

Quadro 7 - Código fonte para controle e display da vazão.

Nesta rotina, “hscroll1.value”, pode ter valores entre 0 e 200 (adimensional). O valor da vazão que aparece no display “panel3d28”, é “hscroll1.value” dividido por dez. Na rotina identificada abaixo, a vazão (vaz) é convertida para metros cúbicos por segundo com a linha:

```
VAZ = hscroll1.value/10000
```

Quadro 8 - Código fonte para o valor da vazão.

A partir desses valores de entrada, que já possuem um valor original, ocorrerá o cálculo das perdas de carga e o respectivo desenho no vídeo. Esse processamento é controlado por um temporizador que é uma ferramenta que

restringe o tempo de verificação das eventuais mudanças que são introduzidas pelo operador. No caso em questão, esse tempo foi fixado em meio segundo. Dessa forma obtêm-se uma resposta bastante eficiente aos comandos do usuário e não sobrecarrega-se a máquina com a tarefa de verificação. Outro ponto introduzido para aliviar a máquina de um processamento ininterrupto foi o de rodar rotinas apenas quando uma informação for realmente modificada, isto é, uma tela não tem de ser continuamente desenhada enquanto o operador não altera um parâmetro. Estas precauções são necessárias em virtude das características gráficas do programa. Quando rodado em uma máquina mais lenta o “redesenho” seria visível o que se tornaria um inconveniente. As rotinas do temporizador, que manipulam os dados de entrada e proporcionam os resultados, são apresentadas a seguir:

```

Sub Timer1_Timer ()
    area1 = pi * diam1 ^ 2 / 4           {Área da seção da tubulação 1}
    area2 = pi * diam2 ^ 2 / 4           {Área da seção da tubulação 2}
    a1a2 = area2 / area1
    If a1a2 >= .9 Then                   {As linhas a seguir desenharam a
                                        redução brusca}

        picture2.Picture = picclip1.GraphicCell(0)
        kl = (.9 - a1a2) * .2 + .02      {kl é o fator para calculo da perda de
                                        carga na redução brusca. Seu valor é
                                        determinado por interpolação entre os
                                        valores designados para a razão
                                        área1/área2}

    End If
    If (a1a2 < .9 And a1a2 >= .8) Then
        picture2.Picture = picclip1.GraphicCell(1)
        kl = (.8 - a1a2) * .4 + .06
    End If

```

Quadro 9a - Código fonte do processamento dos dados de entrada.



```

If (a1a2 < .8 And a1a2 >= .7) Then
    picture2.Picture = picclip1.GraphicCell(2)
    kl = (.7 - a1a2) * .6 + .12
End If
If (a1a2 < .7 And a1a2 >= .6) Then
    picture2.Picture = picclip1.GraphicCell(3)
    kl = (.6 - a1a2) * .6 + .16
End If
If (a1a2 < .6 And a1a2 >= .5) Then
    picture2.Picture = picclip1.GraphicCell(4)
    kl = (.5 - a1a2) * .8 + .24
End If
If (a1a2 < .5 And a1a2 >= .4) Then
    picture2.Picture = picclip1.GraphicCell(4)
    kl = (.4 - a1a2) * .6 + .3
End If
If (a1a2 < .4 And a1a2 >= .3) Then
    picture2.Picture = picclip1.GraphicCell(5)
    kl = (.3 - a1a2) * .6 + .36
End If
If (a1a2 < .3 And a1a2 >= .2) Then
    picture2.Picture = picclip1.GraphicCell(6)
    kl = (.2 - a1a2) * .5 + .41
End If
If (a1a2 < .2 And a1a2 >= .1) Then
    picture2.Picture = picclip1.GraphicCell(7)
kl = (.1 - a1a2) * .5 + .46
End If
If a1a2 < .1 Then
    picture2.Picture = picclip1.GraphicCell(7)
    kl = .5 - a1a2 * .4
End If

vaz = hscroll1.Value / 10000           {Transforma a vazão p/ m³/s}
vel1 = vaz / area1                    {Velocidade no trecho 1}
vel2 = vaz / area2                    {Velocidade no trecho 2}
kd1 = k / diam1                       {Rugosidade relativa no trecho 1}
kd2 = k / diam2                       {Rugosidade relativa no trecho 2}
reyn1 = vel1 * diam1 / .00000101264  {Número de Reynolds para o trecho 1}

```

Quadro 9b - Código fonte do processamento dos dados de entrada (continuação).

```

reyn2 = vel2 * diam2 / .00000101264      {Número de Reynolds para o trecho 2}
If vaz > 0 Then                          {A rotina a seguir calcula o Fator de
                                          Resistência "f" para a fórmula de perda
                                          de carga de Darcy - Weisbach. Essa
                                          rotina não é executada se a vazão for
                                          zero.}

h4 = 10000
Do                                        {O loop, a seguir, calcula o fator "f"
                                          através da fórmula de Colebrook e
                                          White}

f1 = f1 + .001
h1 = 2 * (Log(kd1) / Log(10)) + 1 / Sqr(f1)
h2 = 1.14 - 2 * (Log(1 + 9.35 / (reyn1 * Sqr(f1) * kd1)) / Log(10))
h3 = Abs(h1 - h2)
If h3 < h4 Then
    h4 = h3
Else
    Exit Do
End If
Loop
fres1 = f1                               {Fator de resistência para o trecho 1}
h4 = 10000
Do
f2 = f2 + .001
h1 = 2 * (Log(kd2) / Log(10)) + 1 / Sqr(f2)
h2 = 1.14 - 2 * (Log(1 + 9.35 / (reyn2 * Sqr(f2) * kd2)) / Log(10))
h3 = Abs(h1 - h2)
If h3 < h4 Then
    h4 = h3
Else
    Exit Do
End If
Loop
fres2 = f2                               {Fator de resistência para o trecho 2}
End If
If ca Then h11 = .1 * vel1 ^ 2 / 19.62    {h11 é a perda localizada na entrada
                                          da canalização. A variável "ca" quando
                                          verdadeira (true), indica entrada de
                                          cantos arredondados.}

```

Quadro 9c - Código fonte do processamento dos dados de entrada (continuação).

<pre>If cv Then hl1 = .5 * vel1 ^ 2 / 19.62</pre>	{ A variável "cv" quando verdadeira (true) indica entrada de cantos vivos}
<pre>If eb Then hl1 = vel1 ^ 2 / 19.62</pre>	{ A variável "eb" quando verdadeira (true) indica entrada de borda.}
<pre>hd1 = fres1 * comp1 * vel1 ^ 2 / (19.62 * diam1)</pre>	{hd1 é a perda distribuída no trecho 1}
<pre>hl2 = kl * vel2 ^ 2 / 19.62</pre>	{hl2 é a perda localizada na redução brusca}
<pre>hd2 = fres2 * comp2 * vel2 ^ 2 / (19.62 * diam2)</pre>	{hd2 é a perda distribuída no trecho 2}
<pre>hl3 = vel2 ^ 2 / 19.62</pre>	{hl3 é a perda localizada na saída da canalização}
<pre>ht = hl1 + hd1 + hl2 + hd2 + hl3</pre>	{ht é a perda total}
<pre>panel3d27.Caption = Format\$(ht, "0.000")</pre>	{apresentação das perdas em displays}
<pre>panel3d26.Caption = Format\$(hl3, "0.000")</pre>	
<pre>panel3d25.Caption = Format\$(hd2, "0.000")</pre>	
<pre>panel3d24.Caption = Format\$(hl2, "0.000")</pre>	
<pre>panel3d23.Caption = Format\$(hd1, "0.000")</pre>	
<pre>panel3d22.Caption = Format\$(hl1, "0.000")</pre>	
<pre>If ht &lt;&gt; mud Then</pre>	{Redesenho apenas em caso de mudança de parâmetros}
<pre>shape1.Top = 2340 - ht * 100</pre>	{Desenho do nível do reservatório}
<pre>shape1.Height = 2340 - shape1.Top</pre>	
<pre>line3.Y1 = shape1.Top + hl1 * 400</pre>	{Majoração da escala de perda localizada}
<pre>line3.Y2 = line3.Y1 + hd1 * 100</pre>	
<pre>line6.Y1 = line3.Y1 - vel1 ^ 2 / .1962 - 30</pre>	
<pre>line6.Y2 = line3.Y2 - vel1 ^ 2 / .1962 - 30</pre>	{Desenho da linha de energia com majoração da escala}
<pre>line4.Y1 = line3.Y2</pre>	
<pre>line4.Y2 = line4.Y1 + hl2 * 600</pre>	
<pre>line5.Y1 = line4.Y2</pre>	
<pre>line5.Y2 = 2340 - hl3 * 200</pre>	
<pre>line7.Y1 = line5.Y1 - vel2 ^ 2 / .1962 - 30</pre>	
<pre>line7.Y2 = line5.Y2 - vel2 ^ 2 / .1962 - 30</pre>	
<pre>line8.Y1 = line6.Y2</pre>	
<pre>line8.Y2 = line7.Y1</pre>	
<pre>line1.Y2 = (line3.Y1 - line3.Y2) * 43 / 110 + line3.Y2</pre>	{Nível do piezômetro P1}
<pre>line2.Y2 = (line5.Y1 - line5.Y2) * 113 / 190 + line5.Y2</pre>	{Nível do piezômetro P2}

Quadro 9d - Código fonte do processamento dos dados de entrada (continuação).



```

panel3d1.Caption = Format$(ht * 100 + 300, "0.0")      {Display do nível do
                                                    reservatório R1.}
panel3d3.Caption = Format$(300, "0.0")                {Display do nível do
                                                    reservatório R2.}
                                                    {Display do nível do
                                                    piezômetro P1}
panel3d2.Caption = Format$((ht - hl1 - hd1 / 2) * 100 + 300, "0.0")
                                                    {Display do nível do
                                                    piezômetro P2}
panel3d4.Caption = Format$((ht - hl1 - hd1 - hl2 - hd2 / 2) * 100 + 300, "0.0")
mud = ht
End If
End Sub

```

Quadro 9e - Código fonte do processamento dos dados de entrada (continuação).

Essas rotinas caracterizam o módulo atuando em todo o tempo da atividade. A barra "<<SAÍDA" proporciona a finalização do módulo.

Poderá se observar, quando da operação do utilitário, a grande flexibilidade que proporciona, verificando efeitos da troca de entradas, materiais ou diâmetros para uma mesma vazão, verificando a ocorrência das linhas de energia e piezométrica e do nível do reservatório para a manutenção da vazão especificada, verificando o efeito da alteração da vazão para as demais características constantes, enfim, as possibilidades de manuseio do utilitário são diversas.

Para efeito de uma sustentação teórica e fornecimento de um embasamento de cálculo foram incluídas janelas onde são apresentados os cálculos referentes aos resultados numéricos para as perdas de carga. Assim, o resultado apresentado em "display" é justificado e o usuário poderá fazer um cálculo manual à parte para confrontar os valores. Além disso, ficará claro o

emprego da fórmula universal e das fórmulas de perda localizada no dimensionamento das tubulações. O uso da fórmula em conjunto com a apresentação de seus efeitos, por intermédio da geração gráfica, aparenta ter o devido “impacto” necessário à motivação ao estudo deste tema, bem como, complementa a introdução à hidráulica, criando uma forma de ver que antes não era possível com a utilização de desenhos ou ilustrações.

As janelas de demonstração de cálculos são acessadas “clitando” sobre o respectivo “display” de perda de carga. A figura 50 mostra a janela aberta após o “clique” sobre o display de perda de carga distribuída no trecho 1.

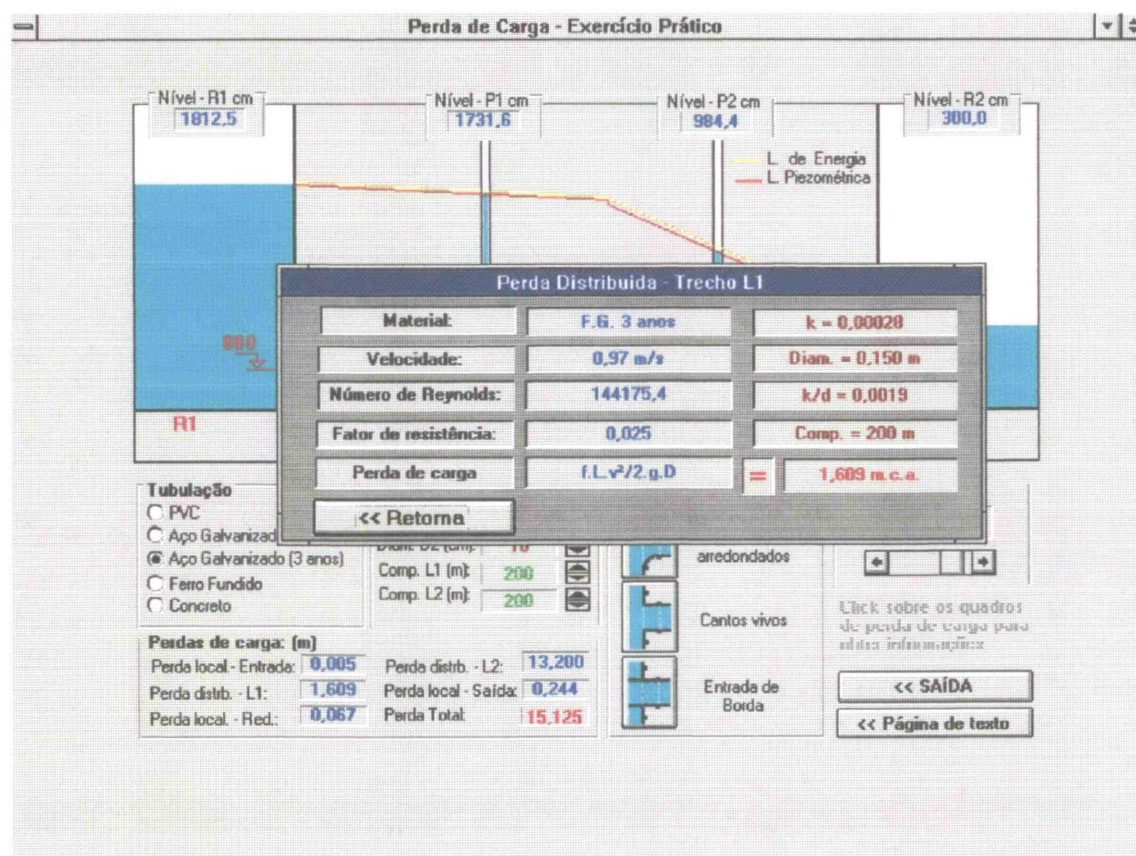


Figura 50 - Janela de demonstração de cálculos para a perda distribuída no trecho 1.

O utilitário deverá ser o item complementar de todos os módulos TEORIA. O seu uso pressupõe o conhecimento dos conceitos que regem o fenômeno estudado e tem a finalidade de fixar e ver seus efeitos numa situação prática. A utilização do computador neste sentido tende a ser eficaz quando se propõe uma atividade aplicativa onde se simulem efeitos que raramente poderíamos presenciar ao vivo. É neste sentido que percebe-se a eficiência desses utilitários. Sua concepção para os diversos assuntos deve ser estudada de forma a envolver a prática comum e visível no dia a dia, bem como as situações hipotéticas que eventualmente poderiam ocorrer, porém com uma simulação fiel na tela do computador e aos olhos do usuário.

### **3.2 Perda de Carga - Módulo Laboratório**

A aula prática de laboratório aborda o assunto Perda de Carga utilizando um painel composto por um conjunto de tubulações com pontos de tomada de pressão que podem ser conectados a manômetros de mercúrio ou água. A tubulação possui uma rugosidade interna produzida artificialmente da ordem de 1,2 mm. O fluxo é produzido por meio de um conjunto moto-bomba e a vazão é regulada manualmente através de válvulas.

O método para determinação da vazão consiste em cronometrar o tempo necessário para encher um compartimento denominado de “Câmara de Calibragem”. São realizados ensaios referentes às determinações das perdas de carga contínua e localizada para os quais os manômetros são conectados adequadamente. O objetivo dos ensaios consiste em se obter leituras nos manômetros indicando as diferenças de pressão provocadas pelas perdas de carga decorrentes do escoamento e posterior confrontação com valores



teóricos. Também é requisitada a repetição dos ensaios para sucessivos incrementos da vazão com a finalidade de se obter a relação “vazão x perda de carga”.

A simulação que se inclui no módulo LABORATÓRIO procura reproduzir o mesmo contexto da aula prática, ainda criando algumas possibilidades adicionais, como, variação do diâmetro, comprimento e rugosidade da tubulação, tornando mais dinâmica a operação do módulo. Enumeram-se, a seguir, os componentes deste módulo (figura 51).

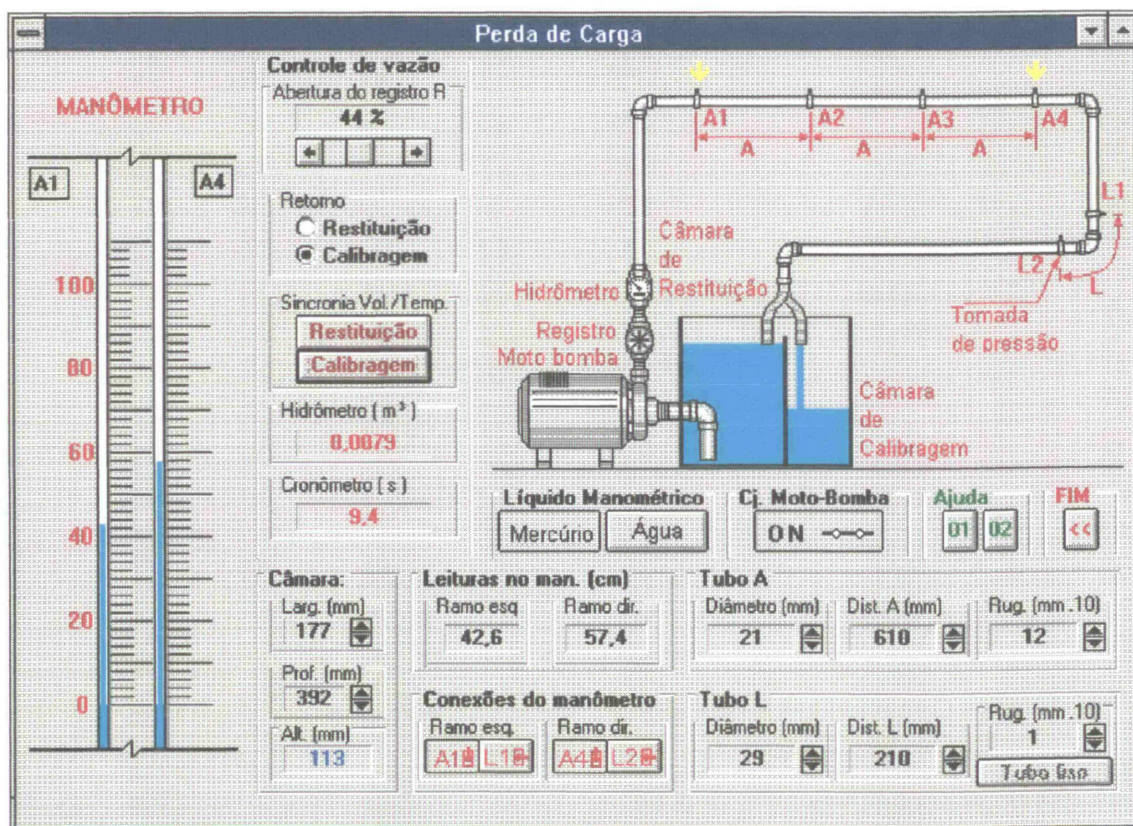
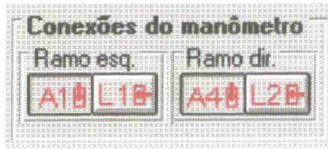


Figura 51 - Tela principal do módulo LABORATÓRIO para o assunto PERDA DE CARGA.

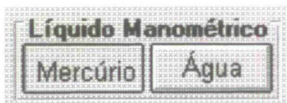


1. Conexões do manômetro:



São as possíveis tomadas de pressão a serem conectadas. Na abertura do módulo são os primeiros controles a se tornarem disponíveis; os demais o estarão segundo uma seqüência lógica; por exemplo, não é possível acionar a moto-bomba ou o registro sem antes conectar o manômetro. Os controles de conexão do manômetro quando acionados permanecerão fixos até novo acionamento para eventual mudança de conexão. As combinações possíveis são A1 e A4 para o ensaio de perda contínua e L1 e L2 para o ensaio de perda localizada. Em caso de “clicação” sobre uma combinação diferente das mencionadas acima surgirá um quadro de mensagem indicando as combinações permitidas.

2. Líquido manométrico:



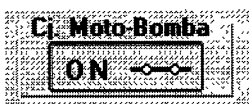
É o segundo controle a ficar disponível e com opções entre água e mercúrio. Esse controle é necessário em virtude da ampla gama de variações de pressão envolvidas nos ensaios. Normalmente será utilizado o mercúrio para o ensaio de perda de carga contínua e água para o ensaio de perda de carga localizada. Entretanto, será permitido utilizar qualquer um dos dois líquidos em qualquer ensaio, já que quando uma leitura estiver comprometida, devido a níveis de extravasamento do líquido, surgirá um quadro de mensagem alertando para a necessidade de troca do líquido manométrico ou da redução da vazão.

### 3. Registro de controle da vazão:



Controle da vazão com variação entre 0 a 100%. Esse controle é do tipo “Barra de Rolagem” com valores internos compreendidos entre 0 e 100. “Clicando” sobre as setas o valor é incrementado ou reduzido em uma unidade; “clicando” sobre a haste direita ou esquerda a variação é de 5 unidades. É possível, ainda, arrastar o botão da barra de rolagem, estabelecendo um valor arbitrário. É necessário um valor diferente de zero para esse controle para que o conjunto moto-bomba possa ser acionado. O valor da vazão é calculado segundo uma série de interpolações entre intervalos pré-determinados com o intuito de se obter vazões bastante próximas daquelas que ocorrem no equipamento real que é um registro tipo “Borboleta”. Detalhes da programação relativa a esse controle e às demais variáveis desse módulo são apresentados após a definição dos componentes.

### 4. Conjunto Moto - Bomba:



Controle com uma tecla do tipo ON / OFF. Permanece no estado em que foi acionada até novo acionamento. Esse controle ativa automaticamente os contadores hidrômetro e cronômetro e ainda proporciona leituras de níveis no manômetro. Em suma, estabelece as condições que ocorrem normalmente quando o escoamento está estabelecido. Pode-se alterar a vazão, verificar seu valor através da operação de calibragem, mudar as conexões do manômetro e

o líquido manométrico, enfim todas as operações necessárias para o andamento do ensaio.

5. Quadro de opções Restituição/Calibragem:

Retorno
<input type="radio"/> Restituição
<input checked="" type="radio"/> Calibragem
Sincronia Vol./Temp.
<b>Restituição</b>
<b>Calibragem</b>
Hidrômetro [ m <sup>3</sup> ]
<b>0,0079</b>
Cronômetro [ s ]
<b>9,4</b>

Torna apta a operação de calibragem. Em conjunto com o acionamento do botão Calibragem, faz com que o retorno do escoamento se dirija para a câmara de calibragem e zera os contadores hidrômetro e cronômetro estabelecendo as condições para o cálculo da vazão. Para retornar à condição normal, o botão Restituição passa a ser acessível.

Para uma perfeita adaptação ao instrumental utilizado no ensaio real, foi incluído um quadro “Câmara”, que contém as dimensões da câmara de calibragem. As medidas da base possuem valores

<b>Câmara:</b>
Larg. (mm)
<b>177</b>
Prof. (mm)
<b>392</b>
Alt. (mm)
<b>113</b>

originais que correspondem às medidas reais da câmara do equipamento (177 x 392 mm). Seus valores podem, porém, opcionalmente, serem alterados “clitando” e mantendo essa operação sobre as setas dos controles “Larg” e “Prof”.

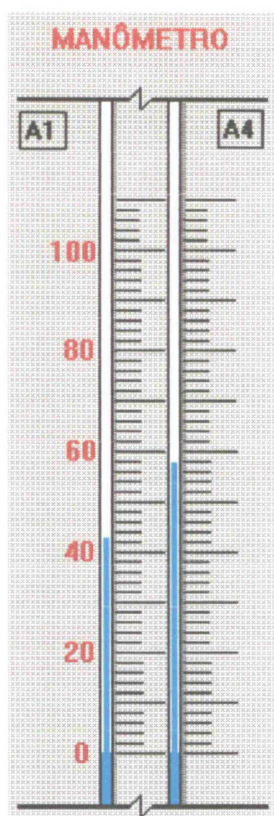
O valor da altura (quadro “Alt. (mm)”) é incrementado à medida que a câmara enche na operação de calibragem.

6. Contadores de nível:

<b>Leituras no man. (cm)</b>	
Ramo esq	Ramo dir.
<b>42,6</b>	<b>57,4</b>

Os níveis no manômetro podem ser visualizados graficamente na figura que retrata o manômetro, porém para maior precisão esses níveis aparecem numericamente nos contadores do quadro “Leituras no man. (cm)”. Na situação de vazão zero, os contadores indicarão o nível 50,0 cm para os ramos esquerdo e direito.

#### 7. Manômetro:



A apresentação gráfica do manômetro é constituída por dois ramos graduados de 0 a 100 cm. A cada ramo é designada uma conexão: A1 e A4 ou L1 e L4. Como é possível optar por um líquido manométrico entre mercúrio e água e as conexões nos ramos para cada caso são distintas, sendo uma conexão superior para o mercúrio e uma conexão inferior para a água, os ramos apresentam-se seccionados, de forma que a apresentação gráfica independe do líquido manométrico utilizado. Os níveis apresentados são calculados a partir da marca 50cm e segundo um

equacionamento abordado na seção de descrição de variáveis desse capítulo.

#### 8. Alteração de parâmetros:

Tubo A		
Diâmetro (mm)	Dist. A (mm)	Rug. (mm.10)
21	610	12

Tubo L		
Diâmetro (mm)	Dist. L (mm)	Rug. (mm.10)
29	210	1
Tubo fixo		



Os valores de diâmetros, comprimentos de tubulação e rugosidade podem ser alterados a qualquer tempo durante a execução do módulo; essas alterações respondem prontamente nas leituras do manômetro. Originalmente estes valores estão fixados segundo aqueles utilizados no laboratório, ou seja, 21 mm para o diâmetro da tubulação do ensaio de perda de carga distribuída, 610 mm para a distância "A", uma rugosidade de 1,2 mm para a tubulação. Para o ensaio de perda de carga localizada os valores originais são de um diâmetro de 29 mm, uma rugosidade de 0,1 mm e um comprimento de 210 mm para a tubulação. Porém, para a perda de carga distribuída, pode-se alterar o diâmetro entre valores de 10 a 40 mm, o comprimento de cada setor da tubulação entre 450 e 800 mm e a rugosidade para um intervalo entre 0,8 e 1,4 mm. Para o ensaio de perda de carga localizada a rugosidade pode atingir o valor 1,4 mm. Existe também a opção de se ensaiar a perda de carga localizada com um tubo liso acionando-se a respectiva tecla. Na realidade, não se pode considerar, nesse programa, uma rugosidade igual a zero. Isto provocaria um erro de processamento na rotina que calcula o fator de resistência "f" através da fórmula de "Colebrook e White", pois esta utiliza o logaritmo da razão entre a rugosidade e o diâmetro. Assim, tornou-se esta relação bastante pequena (ordem de  $10^{-6}$ ) e os resultados finais foram satisfatórios, com uma aproximação adequada à curva para tubos lisos no diagrama de Moody (ver figura 52). Convém salientar que em virtude da fidelidade ao equipamento real, a operação com "tubo liso" só é permitida para o ensaio de perda localizada e uma vez acionada esta modalidade, só será possível trabalhar com outras rugosidades quando o manômetro for reconectado. Essa restrição se deve a controles sobre rotinas internas do

programa que provocam um desvio de fluxograma para a opção de ensaio com rugosidade nula. Na operação do programa surge um quadro de aviso observando esta característica.

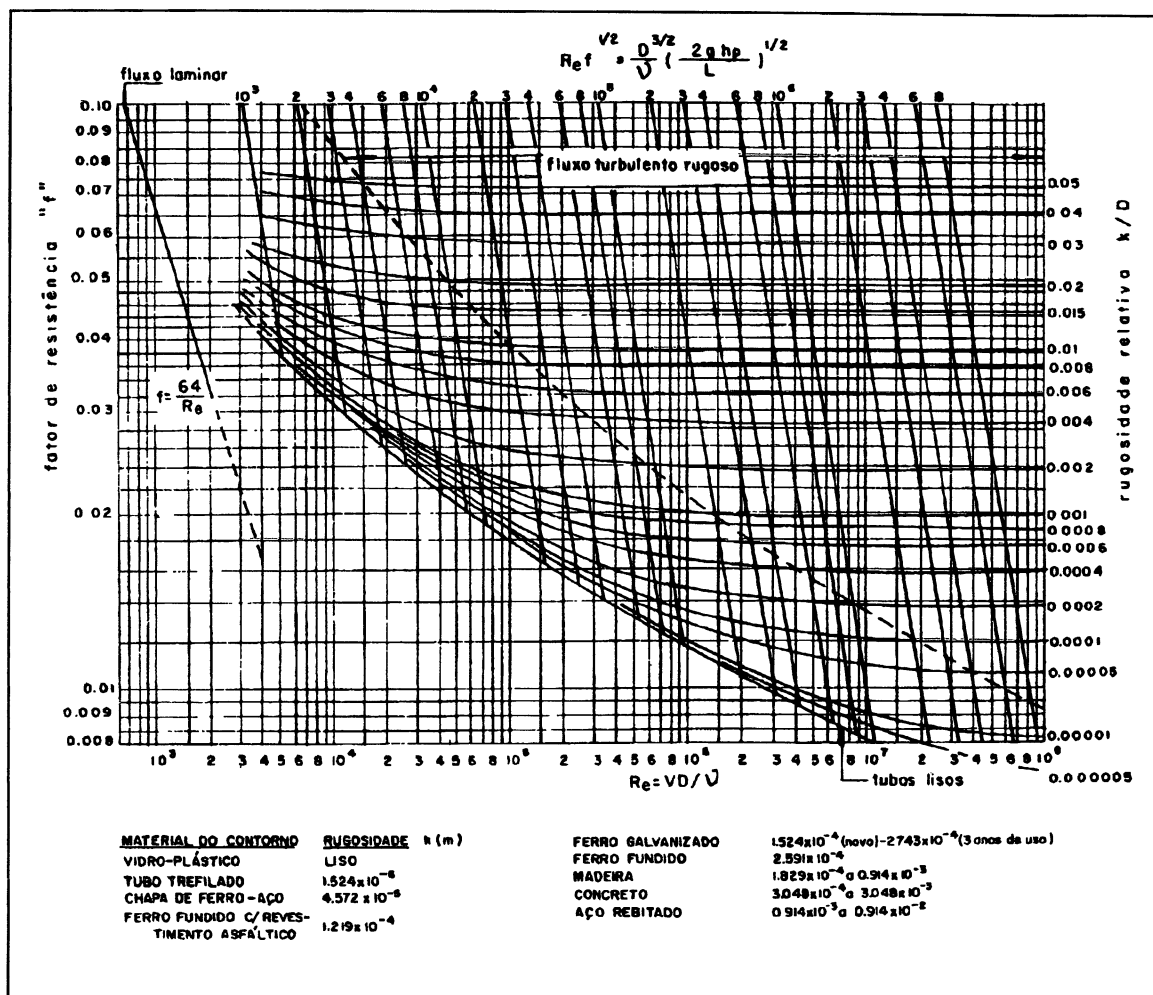
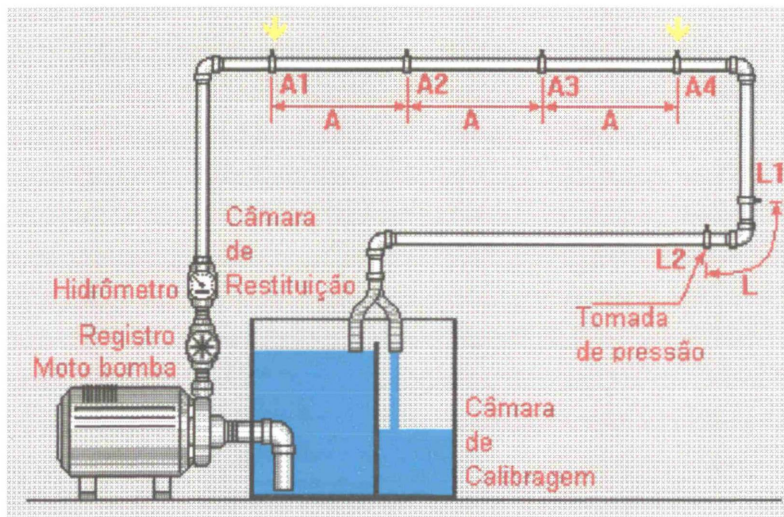


Figura 52 - Diagrama de Moody - Escala  $Re \cdot \sqrt{f}$  ( Fonte: PINTO, Nelson Luiz de Souza, e outros. Noções Básicas de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica. Ver REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.).

## 9. Esquema do ensaio:



Trata-se da representação gráfica do ensaio, constando do conjunto moto-bomba, câmaras de restituição e calibragem, tubulação de sucção e recalque com o posicionamento dos dispositivos tais como, registro, hidrômetro, tomadas de pressão e cotovelo 90° para perda localizada. Durante a operação de calibragem ocorre uma animação mostrando o enchimento do tanque de calibragem. Os locais de conexão do manômetro são assinalados por setas.

## 10. Botões de ajuda

Abrem quadros com um resumo básico a respeito da operação do módulo.

## 11. Botão “FIM”

Abre um quadro para confirmação de saída do módulo.

Todos os controles são basicamente instrumentos de “interface”, ou seja, são meios de comunicação com o usuário estabelecendo a entrada e a saída de informações. Assim, sua descrição é auto suficiente pelo que se

apresenta na tela do computador. Além do mais, excetuando-se os gráficos particulares do ensaio, os controles são característicos do *software* utilizado.

Torna-se importante, agora, a descrição do processamento dos dados de entrada que originam os resultados. Este sim, envolve um tratamento matemático e físico com as variáveis, o que é apresentado na seqüência.

### Variáveis envolvidas :

- **DIAM:** Diâmetro da tubulação com valor original ou alterado com o controle "Diam", entre 10 e 40mm. Como o controle fornece valores em milímetros a variável é convertida em metros na seguinte linha em código fonte:

$DIAM = \text{val}(\text{Panel3d2.Caption}) / 1000$
-----------------------------------------------------

Quadro 10

Onde Panel3d2.Caption é o valor do respectivo controle.

- **AREA:** Área interna do tubo. Cálculo:

$AREA = PI * DIAM^2/4$
------------------------

Quadro 11

- **COMP:** Comprimento do tubo. É utilizado o valor original ou alterado pelo controle "Comp.". Como o controle apresenta a medida em milímetros e no caso da perda contínua a distância é de apenas um dos três setores a variável COMP será calculada da seguinte forma:

$COMP = \text{Val}(\text{Panel3d3.Caption}) * 0.003$	{Para perda contínua}
$COMP = \text{Val}(\text{Panel3d6.Caption}) / 1000$	{Para perda localizada}

Quadro 12



- **KD:** É a relação entre a rugosidade (k) e o diâmetro. No controle da rugosidade (rug.) o valor aparece multiplicado por 10, assim o cálculo da variável KD será feito da seguinte forma:

KD=Val (Panel3d4.Caption)/DIAM*10000)	{Panel3d4.Caption acumula o valor do controle}
---------------------------------------	------------------------------------------------

Quadro 13

- **VAZ:** É a vazão do escoamento. Seu valor é obtido a partir do valor da barra de rolagem que controla a abertura do registro na tubulação de recalque localizado após o conjunto moto-bomba. O valor da vazão é atualizado constantemente. Essa atualização ocorre de segundo em segundo, através de uma sub-rotina (Sub Timer3) que verifica as eventuais alterações no valor de abertura do registro ( barra de rolagem hscroll1). Para cálculo da vazão a rotina inclui o valor da barra de rolagem entre os intervalos de interpolação que foram tomados do equipamento real e que estão incluídos na sub-rotina que transcreve-se a seguir:

Sub Timer3_Timer ()	{Sub-rotina com temporizador Timer - O controle interno limita em um segundo o ciclo desta sub-rotina}
If Grouppush3d1 And hscroll1.Value <> 0 And Not vazalta Then	{ Grouppush3d1 representa a tecla que liga a Moto-Bomba. Se verdadeiro (Moto-Bomba ON ) a rotina prossegue} {hscroll1.value acumula o valor de abertura do registro} {vazalta corresponde a uma variável que indica excesso de vazão}
If hscroll1.Value < 20 Then	{Registro c/ abertura < 20%}
vaz = hscroll1.Value * .0000215	

Quadro 14a - Código fonte para o temporizador "Timer3".

```

End If
If hscroll1.Value >= 20 And hscroll1.Value < 25 Then
    {Registro: 20% <= abertura < 25%}
    vaz = hscroll1.Value * .000042 - .00041
End If
If hscroll1.Value >= 25 And hscroll1.Value < 40 Then
    {Registro: 25% <= abertura < 40%}
    vaz = hscroll1.Value * .0000126667 + .0003233333
End If
If hscroll1.Value >= 40 Then
    {Registro c/ abertura >= 40%}
    vaz = hscroll1.Value * .0000026667 + .0007233333
End If
End If
End Sub

```

Quadro 14b - Código fonte para o temporizador “Timer3” (continuação).

- VELOC: Velocidade a partir da fórmula  $v = Q / A$  :

```

veloc = vaz / area

```

Quadro 15

- REYN: Número de Reynolds. A partir da fórmula:  $R_e = U.D / \nu$

```

reyn = veloc * diam / .00000101264

```

Quadro 16

- FRES : Representa o fator de resistência “f” da Fórmula Universal de Darcy-Weisbach. Seu cálculo é decorrente de um processo de iterações utilizando a fórmula semi-empírica de Colebrook e White. Os termos da igualdade da fórmula de Colebrook e White são calculados sucessivamente para valores crescentes de uma variável auxiliar F até que a igualdade se verifique. A rotina para este cálculo está representada a seguir :

```

h4 = 10000
Do                                     {Início do loop "do"}
f = f + .001
h1 = 2 * (Log(kd) / Log(10)) + 1 / Sqr(f)      {1º membro da igualdade}
h2 = 1.14 - 2 * (Log(1 + 9.35 / (reyn * Sqr(f) * kd)) / Log(10))
                                                {2º membro da igualdade}

h3 = Abs(h1 - h2)
If h3 < h4 Then
    h4 = h3                                {Minimizando a diferença}
Else
    Exit Do                                 {Saída do loop}
End If
Loop                                       {Fim do loop "do"}
fres = f

```

Quadro 17 - Cálculo por iterações do fator de resistência "f" por meio da fórmula de Colebrook e White.

A condição estabelecida pelo "If" impõe o menor valor possível para a diferença entre os termos da igualdade para o incremento de 0,001 adotado. Em sucessivos testes realizados com essa rotina obteve-se diferenças da ordem de  $10^{-3}$  ou menores. Continuando uma bateria de testes para uma ampla gama de valores para o Número de Reynolds e para a relação K/D, pode-se verificar um enquadramento plenamente aceitável para a obtenção do fator de resistência quando comparado ao obtido com as respectivas entradas no Diagrama de Moody.

- PC : Perda de Carga, calculada pela Fórmula Universal de Darcy - Weisbach:

$$PC = FRES * COMP * VELOC ^2 / (19.62 * DIAM)$$

Para a perda de carga localizada foi adicionado o termo  $K_L \cdot v^2 / 2g$ :

$$PC = PC + 0.65 * VELOC ^2 / 19.62 \quad \{ K_L = 0,65 - \text{Valor tabelado para o cotovelo de } 90^\circ \}$$

Quadro 18.

A partir do valor numérico para a perda de carga, existem rotinas de manipulação que criarão a imagem dos níveis manométricos através de uma proporção do valor numérico com a escala gráfica; os “displays” dos níveis manométricos são calculados a partir do nível 50 cm, adicionando ou subtraindo 50% da perda de carga em cada ramo. Esse processo é controlado por outro “temporizador” que limita em um segundo a verificação de alteração de parâmetros, isto é, somente de segundo em segundo o programa verifica se algum parâmetro, como vazão, diâmetro, comprimento, etc., foi modificado. Dessa forma o sistema não fica extremamente sobrecarregado com a tarefa de verificação e os resultados em termos de funcionamento são satisfatórios, tanto quanto ao processamento interno quanto à rapidez na resposta aos comandos do usuário. Outro item verificado foi o enquadramento no programa de toda a faixa possível para o Número de Reynolds e pode-se chegar às seguintes conclusões:

1. Para o regime laminar com  $R_e < 2000$ :

Nessas condições as diferenças de pressão são pequenas para o modelo ensaiado não havendo apreciável diferença no resultado final utilizando-se o cálculo do fator de resistência pelo método acima ou pela expressão “ $f = 64 / R_e$ ”, indicada na bibliografia. Assim, manteve-se o cálculo do fator  $f$  pelo mesmo processo.

2. Para o regime de transição com  $R_e$  entre 2000 e 4000:

A fórmula de Colebrook e White enquadrou-se satisfatoriamente nesta região, levando-se em conta as pequenas diferenças de pressões que ocorrem nesta faixa e tendo-se como objetivo apenas o resultado final que é a deflexão entre as colunas no manômetro.



3. Para o regime turbulento com  $R_e > 4000$  :

Duas situações de escoamento podem ocorrer dependendo da relação entre a espessura da sub-camada laminar ( $\delta$ ) e a altura de rugosidade do conduto ( $k$ ). Para  $\delta > k$  a altura de rugosidade encontra-se mergulhada no interior do escoamento laminar e não apresenta efeito de resistência ao escoamento turbulento; define o escoamento **turbulento liso**. Para  $\delta < k$  a altura de rugosidade está em contato com o escoamento turbulento e para este caso o escoamento é dito **turbulento rugoso**.

Para o regime turbulento rugoso a utilização da fórmula de Colebrook e White enquadrou-se satisfatoriamente nesta região.

Para o regime turbulento liso, o programa, no ensaio de perda contínua, não contemplará essa situação pelo fato de consideração de perda de carga em tubulações com rugosidade provocada. O intervalo de operação permitido ocasionará uma relação “rugosidade / diâmetro” mínima de 0,02 ( para  $k = 0,8$  mm e  $d = 40$  mm). Para o ensaio de perda de carga localizada, que considera o escoamento turbulento liso, a fórmula de Colebrook e White enquadrou-se satisfatoriamente nesta região.

Todos os testes se fundamentaram numa comparação com a entrada manual de valores no Diagrama de Moody. Levando-se em conta as características peculiares do equipamento do laboratório, o uso de um fluido real, e os erros fortuitos ou crônicos, normais na operação do ensaio, é previsível a ocorrência de discrepâncias entre os resultados obtidos a partir deste simulador e do experimento real, acredita-se, porém, que enquadrados em níveis aceitáveis.

## 4 FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES

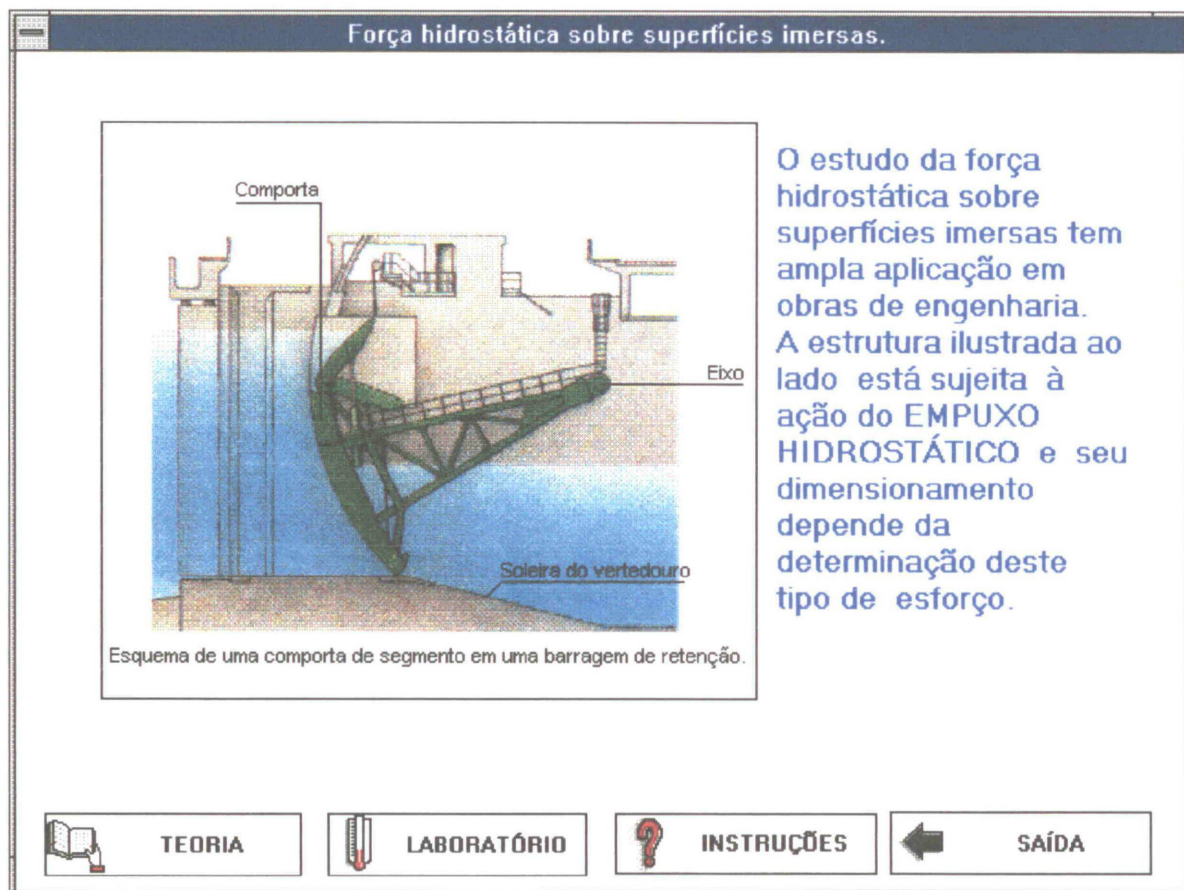


Figura 53 - Tela de abertura do conjunto "FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES". Nesta etapa o usuário pode ingressar nos módulos componentes clicando sobre um dos quadros, TEORIA, ou LABORATÓRIO. Para o usuário iniciante, há um módulo de ajuda acessado pelo quadro INSTRUÇÕES. O quadro SAÍDA, abre um campo de diálogo, solicitando a confirmação de saída do conjunto.

O título **FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES** é composto pelos módulos TEORIA e LABORATÓRIO, com as seguintes particularidades:

1. O módulo **TEORIA** foi desenvolvido de forma a fornecer um embasamento teórico inicial e propor a continuidade através de questões para pesquisa. O módulo inclui um exercício prático (utilitário) que interage com as causas e efeitos decorrentes das forças de pressão de um fluido e dessa forma procura induzir o usuário à procura de respostas para algumas questões. Essa modalidade para o componente **TEORIA** tem um caráter “**prático - indutivo**”, onde a leitura de textos é minimizada e procura-se o envolvimento do usuário com o assunto de forma a despertar um interesse sobre os aspectos relativos ao fenômeno físico em si. Pode-se perceber, aqui, a diferença entre essa modalidade e aquela encontrada no módulo “**VISCOSIDADE**”, na qual a apresentação do assunto tem um caráter discursivo.

2. O módulo **LABORATÓRIO** simula uma experiência real que utiliza um dispositivo para determinação do ponto de aplicação da resultante da força hidrostática sobre uma superfície plana vertical. Foram adicionadas algumas condições não possíveis de serem realizadas no experimento real, como a variação da massa específica do fluido ensaiado. Com a simulação pretende-se estimular o usuário à prática da averiguação e confrontação de resultados. Como esse módulo retrata fielmente os dispositivos e os procedimentos adotados no respectivo ensaio real, engloba, também, a função de revisão da aula prática.

## 4.1 Força Hidrostática sobre Superfícies - Módulo Teoria

O módulo TEORIA para o título FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES, compõe uma modalidade de apresentação que intitulou-se de “Prático - Indutiva”.

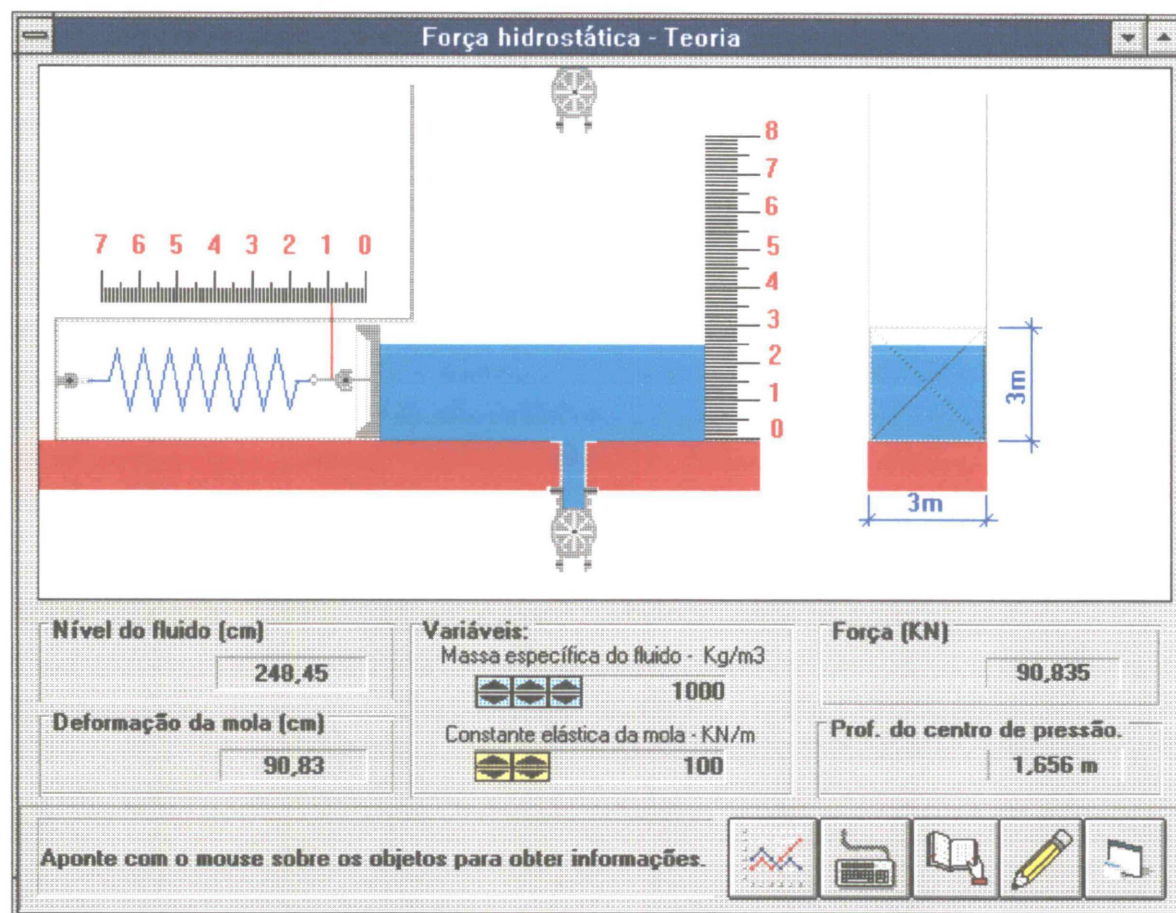


Figura 54 - Reprodução da tela principal do módulo “TEORIA”, para o assunto “FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.”.

A modalidade **prático-indutiva**, nesse módulo, procura, através de um exercício interativo e de questões propostas, despertar o interesse pelo fenômeno físico, relacionando o efeito da força hidrostática com o tratamento teórico. Existe um conjunto de propriedades integradas embutidas no programa que proporcionam uma série de informações e efeitos para um



determinado estado. Essas informações se resumem em proporcionar o envolvimento do usuário com a situação apresentada na tela e a resolução dos valores fornecidos, isto é, o programa fornece valores numéricos para os parâmetros da situação e em conjunto apresenta a visualização do efeito, um gráfico dinâmico da variação da força aplicada sobre uma comporta com a altura da coluna líquida por ela contida, um sistema paralelo de medição de força representado por um dinamômetro e um controle interativo de nível da coluna líquida. Além disso, foram incluídas opções adicionais relativas à massa específica do fluido e à constante elástica da mola do dinamômetro. A forma de operação, os efeitos obtidos, e as capacidades do programa estão descritas a seguir.

A figura 54, página 104, mostra a tela principal do módulo onde aparecem os vários controles inseridos no programa. Nessa tela o usuário poderá obter um breve texto explicativo sobre cada objeto bastando apontar com o cursor do mouse sobre ele. O texto aparece no “display” da região inferior da tela e será útil para fornecer informações a respeito da operação do programa, bem como das funções de cada controle. Todos os botões, figuras, quadros e objetos, entre os quais os componentes do dispositivo hidráulico empregado, possuem um determinado texto que é acionado relativamente ao posicionamento do cursor e quando este não estiver sobre um elemento significativo o “display” mostrará a mensagem: *“Aponte com o mouse sobre os objetos para obter informações.”*. Uma pesquisa, posicionando o cursor sobre os objetos, é uma forma rápida e eficiente para aprendizado da operação do módulo.

A região superior da tela apresenta uma janela gráfica onde está representado um esquema longitudinal e transversal do dispositivo empregado para o exercício. A figura 55, mostra, em detalhe esta janela.

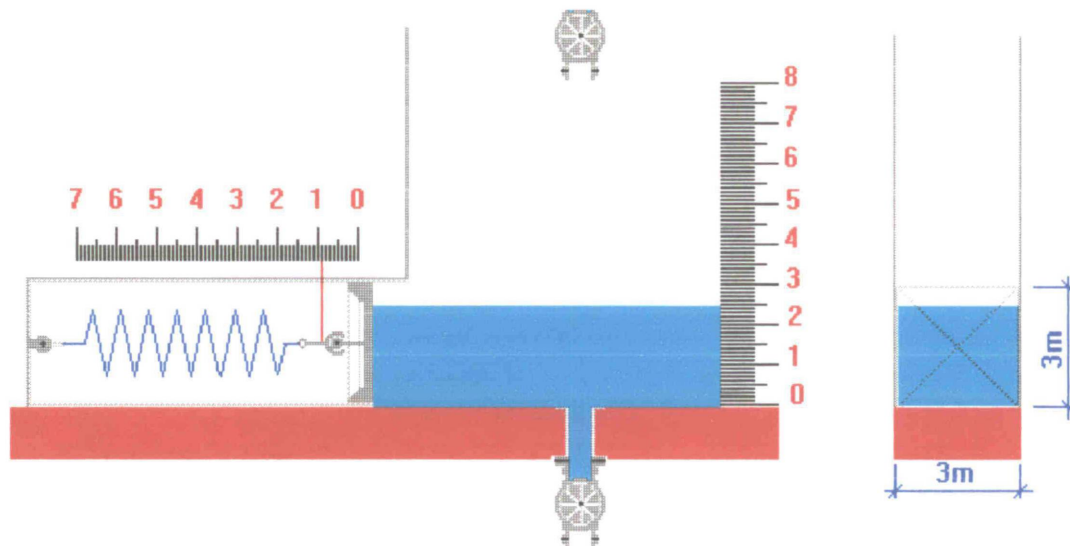


Figura 55 - Janela gráfica do módulo TEORIA.

À esquerda da janela está representado um corte longitudinal do dispositivo do exercício e à direita um corte transversal. No corte longitudinal aparece um compartimento para o dinamômetro e respectiva escala graduada. O dinamômetro tem a função de fornecer uma medição alternativa para a força aplicada sobre a comporta em função da deformação de sua mola e do valor de sua respectiva constante elástica. O nível do líquido, que aparece em ambos os esquemas, longitudinal e transversal, é dinâmico, isto é, varia em tempo real e é dependente da abertura ou não dos registros que aparecem no corte longitudinal. Os registros podem ser abertos ou fechados com um simples “clique” sobre as respectivas figuras. Se, por exemplo, o registro superior for aberto o nível da coluna líquida irá subir gradualmente e todos os

efeitos decorrentes poderão ser percebidos, entre os quais, a imagem do nível do líquido, a movimentação da comporta e respectiva deformação da mola do dinamômetro, os valores numéricos para a força aplicada, o valor da deformação da mola e da profundidade do centro de pressão, e outros que serão discutidos adiante.

Enquanto um dos registros permanecer aberto, o nível do líquido varia e os valores da força, deformação da mola, nível do fluido e profundidade do centro de pressão são calculados ininterruptamente. Para se obter uma leitura fixa é necessário fechar o registro que se encontra aberto de forma a manter o nível constante. Os valores numéricos são apresentados em “displays” específicos como mostra a figura 56:



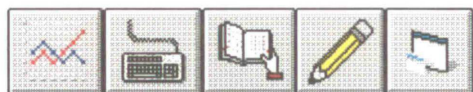
<b>Nível do fluido (cm)</b>	<b>Variáveis:</b>	<b>Força (KN)</b>
248,45	Massa específica do fluido - Kg/m <sup>3</sup>	90,835
	 1000	
<b>Deformação da mola (cm)</b>	Constante elástica da mola - KN/m	<b>Prof. do centro de pressão.</b>
90,83	 100	1,656 m

Figura 56 - Área de apresentação de resultados e modificação de parâmetros na tela principal do módulo.

A qualquer tempo, durante a execução do programa, os parâmetros massa específica e constante elástica da mola poderão ser modificados. Pode-se, por exemplo, manter o nível do líquido fixo e variar a sua massa específica; o efeito dessa operação será notado através do acréscimo ou decréscimo de deformação da mola, como também nos valores numéricos apresentados. Para um valor alto da massa específica ( o máximo permitido foi fixado em 13600 kg/m<sup>3</sup>), é necessário aumentar o valor da constante elástica para que os níveis de deformação permaneçam compatíveis com a força aplicada. O valor

original para a constante elástica é de 100 kN/m e deverá ser mantido assim se a massa específica do líquido utilizado for mantida com o valor, também original, de 1000 kg/m<sup>3</sup>. O programa está calibrado para trabalhar com esses valores originais e o uso de outros valores acarreta numa experimentação pelo usuário dos valores máximos de forças suportados pelo dinamômetro sem uma deformação total. A variação da constante elástica tem efeito imediato com relação à posição da comporta e à deformação da mola. Todos os itens são interligados: os efeitos da mudança em um parâmetro são sentidos em todos os demais.

Até aqui foi visto como obter valores numéricos para um determinado nível e como utilizar as ferramentas básicas que manipulam os dados integrados. A seguir encontra-se a descrição das ferramentas avançadas que envolvem o tratamento apurado dos dados referente ao exercício.



O conjunto de teclas gráficas na extremidade inferior direita da tela tem as seguintes funções, respectivamente, da esquerda para direita:

1. Acesso à plotagem gráfica dinâmica;
2. Acesso à tela de ajuda à operação do programa;
3. Acesso ao embasamento teórico;
4. Acesso ao memorial descritivo de cálculo;
5. Saída do programa com retorno ao menu do título.



A plotagem gráfica dinâmica apresenta um gráfico da variação da força com o nível do líquido com plotagem em tempo real, ou seja, o gráfico é construído à medida que o nível do líquido varia na janela gráfica principal. Para tanto é necessário acessar a janela da plotagem gráfica com um dos registros abertos. O acesso, com um nível fixo do líquido, também é permitido, quando então, o gráfico se apresentará com a plotagem de um único ponto.

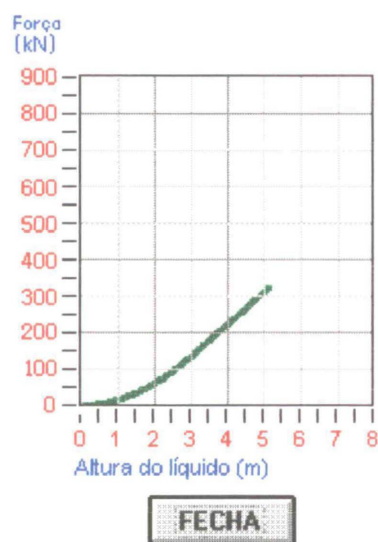


Figura 57 - “Janela” de plotagem dinâmica do gráfico Força x Altura do líquido.

O gráfico é útil para a visualização da evolução da força aplicada, por exemplo, no transcorrer da operação de enchimento do tanque; pode-se perceber que até a comporta ser totalmente submersa a evolução é exponencial ( $F \propto h^2$ ) enquanto que a partir da profundidade de 3m a evolução é linear.

A tecla seguinte dá acesso à tela de ajuda para a operação do módulo; entretanto será exigido que ambos os registros estejam fechados ou o acesso será negado.

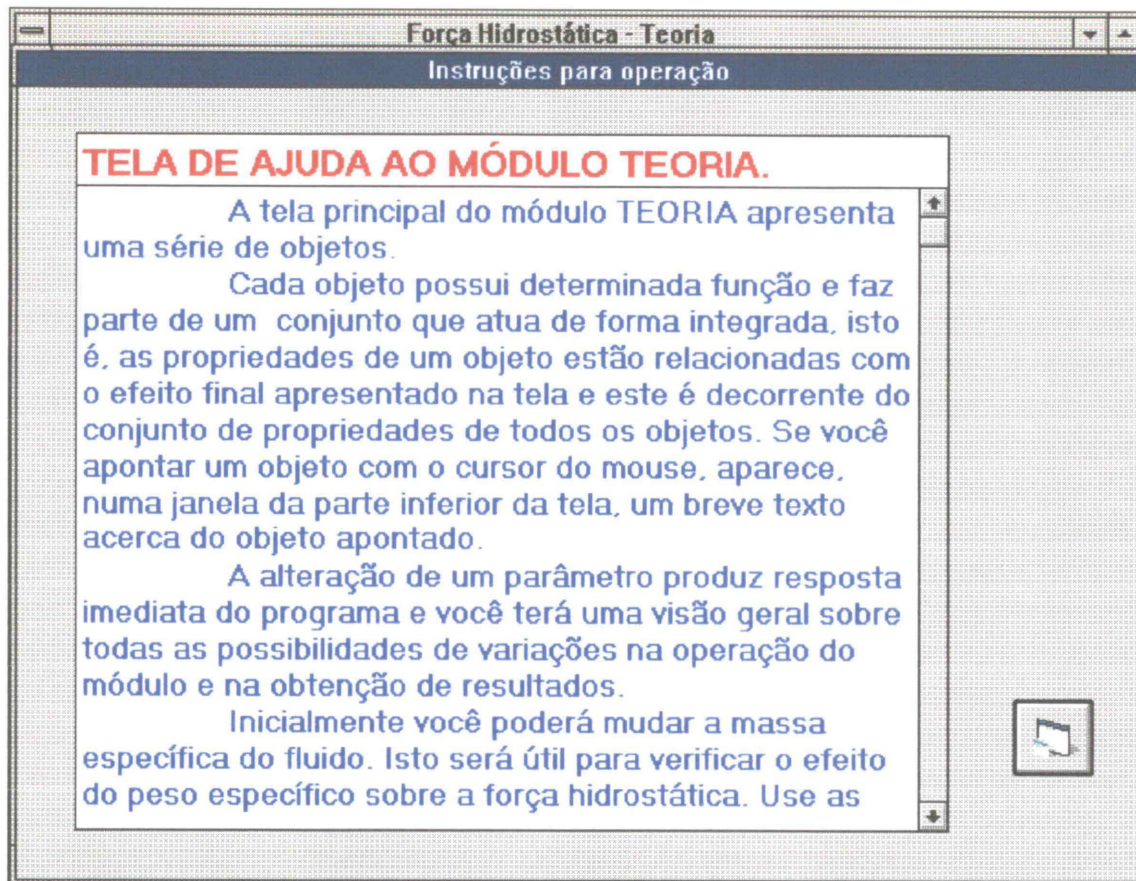


Figura 58 - Tela de ajuda ao módulo TEORIA.

O texto pode “rolar” “clitando-se” sobre as setas ou sobre a haste da barra vertical de “rolagem” no lado direito da janela de texto. Ainda é possível “arrastar” o botão da barra fazendo com que o texto “salte” para uma posição qualquer. A íntegra do texto de ajuda se encontra nos quadros 19a e 19b, a seguir:

A tela principal do módulo TEORIA apresenta uma série de objetos.

Cada objeto possui determinada função e faz parte de um conjunto que atua de forma integrada, isto é, as propriedades de um objeto estão relacionadas com o efeito final apresentado na tela e este é decorrente do conjunto de propriedades de todos os objetos. Se você apontar um objeto com o cursor do mouse, aparece, numa janela da parte inferior da tela, um breve texto acerca do objeto apontado.

Quadro 19a - Íntegra do conteúdo da tela de ajuda ao módulo TEORIA.

A alteração de um parâmetro produz resposta imediata do programa e você terá uma visão geral sobre todas as possibilidades de variações na operação do módulo e na obtenção de resultados.

Inicialmente você poderá mudar a massa específica do fluido. Isto será útil para verificar o efeito do peso específico sobre a força hidrostática. Use as setas para aumentar ou diminuir a massa específica em centenas, dezenas ou unidades. Esses controles estarão aptos para uso em qualquer tempo, de forma que você pode manter a altura do líquido fixa e variar a massa específica ou mesmo mudá-la no decorrer do enchimento do tanque.

Para valores altos da massa específica, é necessário adequar a constante elástica da mola, caso contrário, a partir de determinado valor, ela sofrerá toda a deformação permissível e não será mais referência para medição da força aplicada sobre a comporta. Utilize as setas de controle para definir a constante elástica da mola num valor entre 50 e 1000 kN/m. No caso da utilização de água, massa específica de 1000 kg/m<sup>3</sup>, mantenha a constante em 100 kN/m.

Inicie o exercício clicando sobre o registro superior. Isto faz com que o nível do líquido comece a subir e os primeiros efeitos já possam ser percebidos. Entre eles está o valor da força aplicada, a deformação da mola, o nível do fluido e a profundidade do centro de pressão. Para fixar determinado nível, clique novamente no registro superior, fechando-o. Para rebaixar o nível clique no registro inferior. Proceda o exercício com uma ampla variação de parâmetros e procure associar os correspondentes efeitos.

O exercício inclui a apresentação do gráfico da força sobre a comporta em função da altura do líquido. Para visualizar este gráfico basta clicar sobre o botão apropriado localizado na região inferior direita da tela. Para melhor proveito deste recurso abra o registro de entrada, mantenha-o desta forma e clique sobre o botão do gráfico. O gráfico aparece na parte superior do vídeo e a função é plotada em tempo real, ou seja, à medida que o nível de líquido sobe, a força cresce e o gráfico é desenhado ponto a ponto. O mesmo efeito pode ser obtido em situação inversa, isto é, quando o nível do líquido estiver baixando.

É interessante que você calcule manualmente os resultados obtidos para efeito de assimilação, entretanto, para cada situação estática na tela, você pode acessar uma janela com um memorial de cálculo que mostra todos os cálculos para os resultados apresentados. Use a tecla de cálculos na região inferior direita, porém, será necessário fechar os registros.

Quadro 19b - Íntegra do conteúdo da tela de ajuda ao módulo TEORIA (continuação).

O terceiro botão permite acesso ao embasamento teórico. Novamente será exigido que os registros estejam fechados. Esta medida é necessária para impedir o processamento ininterrupto dos cálculos relativos à condição de



nível do fluido que continuará variando mesmo com o usuário trabalhando numa janela alheia que é o caso do embasamento teórico.

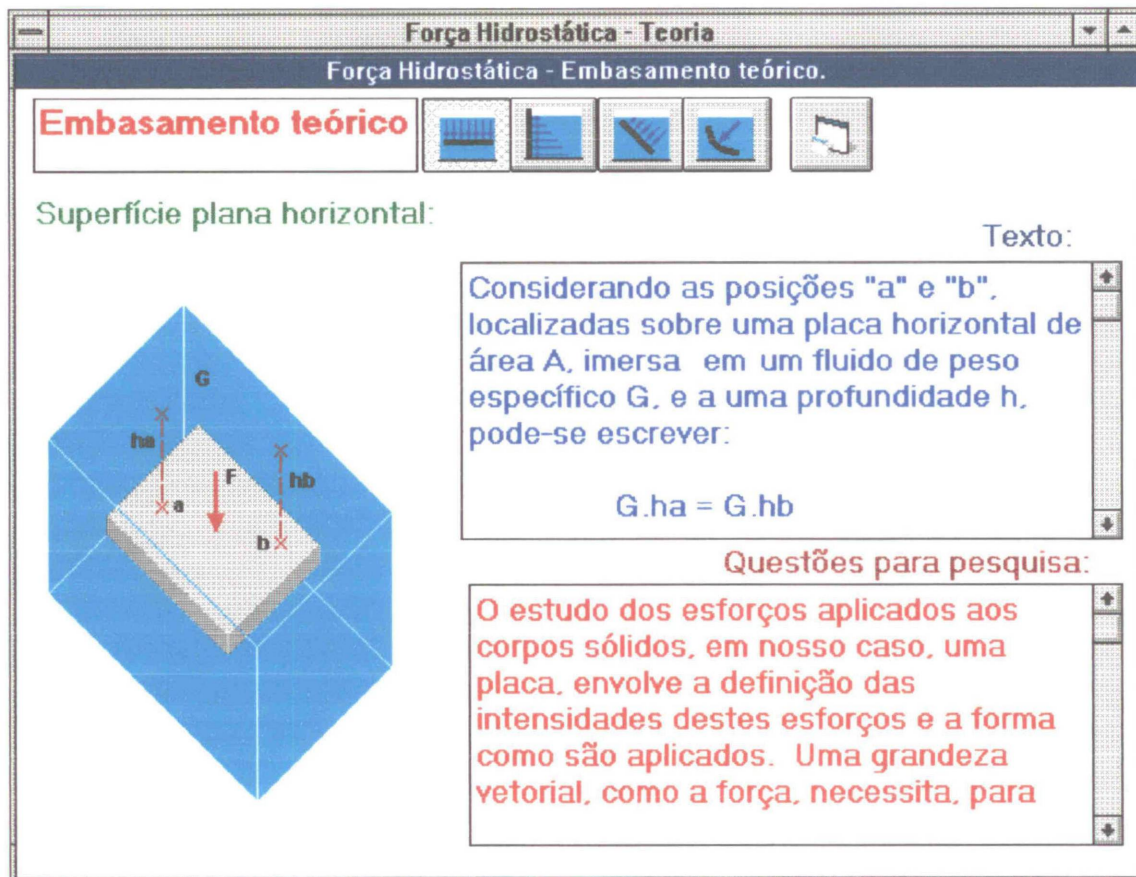


Figura 59 - Tela para a seção "EMBASAMENTO TEÓRICO" com o preenchimento relativo à força sobre uma superfície horizontal.

A seção "EMBASAMENTO TEÓRICO" apresenta quatro itens para estudo:<sup>18</sup>

<sup>18</sup> O texto incluído nas telas da seção "EMBASAMENTO TEÓRICO", utilizou um dispositivo do "software" Visual Basic 3.0, chamado de "Quadro de Texto". Para este dispositivo existe uma limitação quanto ao uso de fontes que definem os tipos de caracteres que aparecem na tela. Com esta limitação não é possível representar caracteres especiais como  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ou  $\int$ , ou ainda representar índices ou expoentes. Entretanto, espera-se, que a próxima versão ( Visual Basic 4.0) já disponível no mercado, tenha a capacidade de mesclar fontes de caracteres tornando possível a inclusão em um mesmo quadro de texto de caracteres especiais ao lado do texto normal.



1. Força hidrostática sobre superfície plana horizontal;
2. Força hidrostática sobre superfície plana vertical;
3. Força hidrostática sobre superfície plana inclinada;
4. Força hidrostática sobre superfície curva.

Cada item é acionado pela respectiva tecla que apresenta um gráfico e um texto a respeito do assunto. As teclas são auto-seletivas, isto é, quando uma é acionada a anterior é desabilitada. A tela referente ao item “Força hidrostática sobre superfície horizontal” está reproduzida na figura 59 da página 112 e as íntegras dos textos das janelas “Texto:” e “Questões para pesquisa:” do mesmo item estão nos quadros 20 e 21 respectivamente.

Considerando as posições "a" e "b", localizadas sobre uma placa horizontal de área A, imersa em um fluido de peso específico G, e a uma profundidade h, pode-se escrever:

$$G \cdot h_a = G \cdot h_b$$

$$P_a = P_b$$

$$dF_a / dA = dF_b / dA$$

$$dF_a = dF_b$$

Ou seja, as componentes "dF" da força resultante "F" sobre a placa horizontal, são iguais em qualquer ponto desta placa já que a pressão é constante no plano horizontal.

Assim pode-se concluir:

$$dF_a = dF_b = \dots = dF = P_a \cdot dA = P_b \cdot dA = \dots = P \cdot dA$$

Integrando:

$$F = P_a \cdot A = P_b \cdot A = \dots = P \cdot A$$

$$F = G \cdot h \cdot A$$

Onde:

F é a força total sobre a placa horizontal imersa;

G é o peso específico do fluido;

h é a profundidade da placa e

A é a área da placa.

Quadro 20 - Íntegra do conteúdo da janela “Texto:” do item “Força Hidrostática Sobre Superfície Plana Horizontal” da seção “Embasamento teórico”.

O estudo dos esforços aplicados aos corpos sólidos, em nosso caso, uma placa, envolve a definição das intensidades destes esforços e a forma como são aplicados. Uma grandeza vetorial, como a força, necessita, para sua definição, de um valor para sua intensidade (módulo), uma direção e um sentido. Ainda, para a definição do efeito provocado pela força no corpo sólido, é necessário se complementar as características acima com um ponto de aplicação sobre o sólido.

Consultando as notas de aula, a bibliografia fornecida neste módulo ou a indicada no curso, procure respostas para a formulação relativa à direção, sentido e ponto de aplicação.

Quadro 21 - Íntegra do conteúdo da janela “Questões para Pesquisa”, comum a todos os itens.

A segunda tecla aciona o item “Força hidrostática sobre superfície plana vertical.” cuja tela está reproduzida na figura 60:

The screenshot shows a software window titled "Força Hidrostática - Teoria" with a sub-header "Força Hidrostática - Embasamento teórico." Below the header is a navigation bar with icons. The main content area is titled "Embasamento teórico" and "Superfície plana vertical:". On the left is a 3D diagram of a rectangular plate submerged in a fluid. The fluid has a specific weight  $G$ . The plate is at depth  $h_a$  at its top edge (point 'a') and  $h_b$  at its bottom edge (point 'b'). A resultant force  $F$  is shown acting on the plate. On the right, there is a "Texto:" box containing the text: "Considerando as posições 'a' e 'b', localizadas sobre uma placa vertical de área A, imersa em um fluido de peso específico G, e às profundidades 'ha' e 'hb' respectivamente, pode-se escrever:" followed by the formula  $P_a = G \cdot h_a$ . Below this is a "Questões para pesquisa:" box containing the text: "O estudo dos esforços aplicados aos corpos sólidos, em nosso caso, uma placa, envolve a definição das intensidades destes esforços e a forma como são aplicados. Uma grandeza vetorial, como a força, necessita, para".

Figura 60 - Tela para a seção “EMBASAMENTO TEÓRICO” com o preenchimento relativo à força sobre uma superfície vertical.

O quadro 22 apresenta a íntegra da janela “Texto:” do item “Superfície plana vertical”:

Considerando as posições "a" e "b", localizadas sobre uma placa vertical de área A, imersa sobre um fluido de peso específico "G", e a profundidades "ha" e "hb" respectivamente, pode-se escrever:

$$P_a = G \cdot h_a$$

$$P_b = G \cdot h_b$$

$$P_b - P_a = G \cdot (h_b - h_a)$$

$$dF_b / dA - dF_a / dA = G \cdot (h_b - h_a)$$

$$dF_b - dF_a = G \cdot (h_b - h_a) \cdot dA$$

Para a força resultante "F" e para a diferença  $(h_b - h_a) = h$ , pode-se escrever:

$$dF = G \cdot h \cdot dA$$

A integral de  $(h \cdot dA)$  conduz ao produto  $(hg \cdot A)$  - momento estático da área:

$$F = G \cdot hg \cdot A$$

Onde:

F é a Força resultante sobre a placa vertical imersa;

G é o peso específico do fluido;

hg é a profundidade do centróide<sup>19</sup> da área;

A é a área da placa.

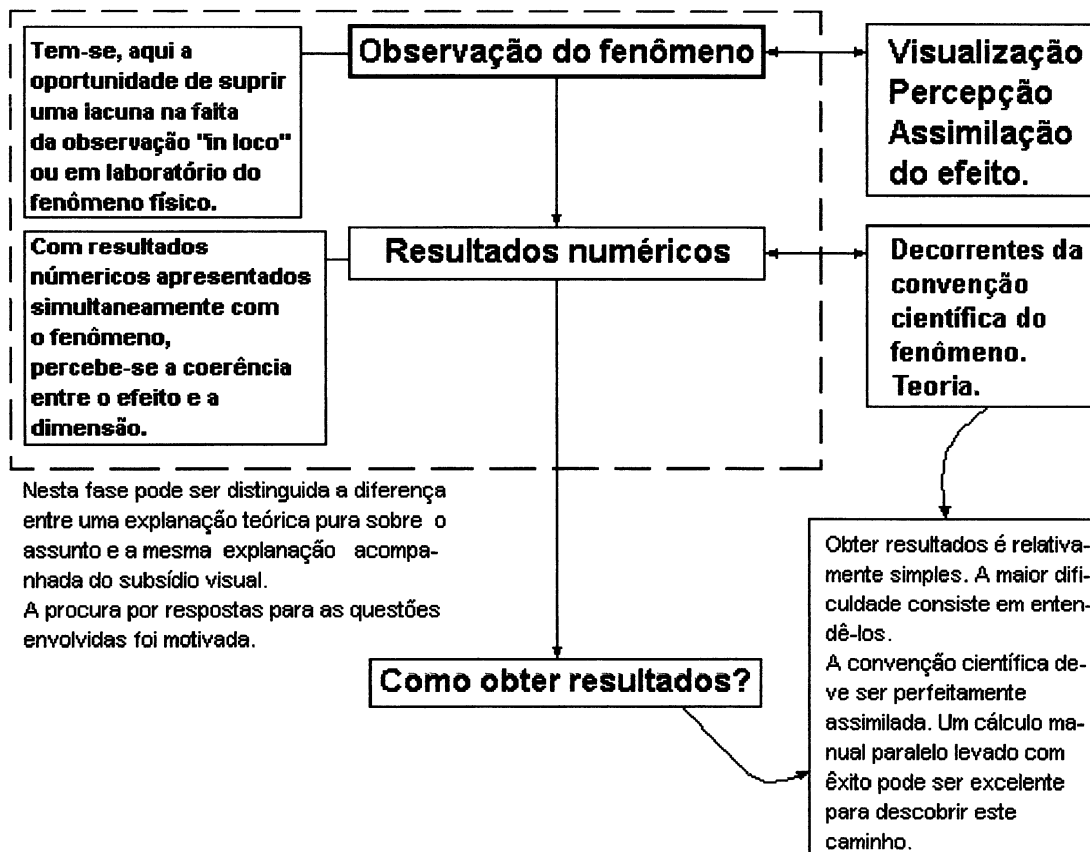
Quadro 22 - Íntegra da janela “Texto:” do item “Superfície plana vertical.”

A janela “Questões para pesquisa:” tem um texto idêntico ao apresentado anteriormente.

<sup>19</sup> “...Estas equações definem as coordenadas x e y do baricentro de uma placa homogênea. O ponto de coordenadas x e y é também conhecido como **centróide** da área A da placa... ...O centróide costuma, ainda, ser chamado de **centro geométrico**...”. BEER, Ferdinand P., **Mecânica Vetorial para Engenheiros - Estática** - Volume I, 3ª edição. Citação do capítulo *Forças Distribuídas: Centróides e Baricentros*. pág. 171. Ver REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Note-se que o conteúdo fornecido é mínimo e apenas procura inicializar o assunto. Esta característica foi introduzida nesta modalidade para induzir à pesquisa por parte do aluno. Partindo-se da apresentação do fenômeno relativo à força resultante de uma coluna líquida, com o exercício prático, onde são verificados os efeitos da força de pressão hidrostática e resultados numéricos simultâneos, liga-se o elo entre a ocorrência e a convenção científica que a modelou. Começa-se a relacionar o efeito com o número e a perceber suas interdependências. Complementa-se, apresentando um memorial de cálculo ( ver seção Memorial de Cálculo) de forma sumária e, finalmente, o subsídio teórico solicita uma extensão ao assunto após apresentar uma breve “demonstração” de como obter resultados.

Desta forma tem-se um fluxograma de ocorrências:





A terceira tecla aciona o item “Superfície Plana Inclinada” cuja tela está reproduzida na figura 61:

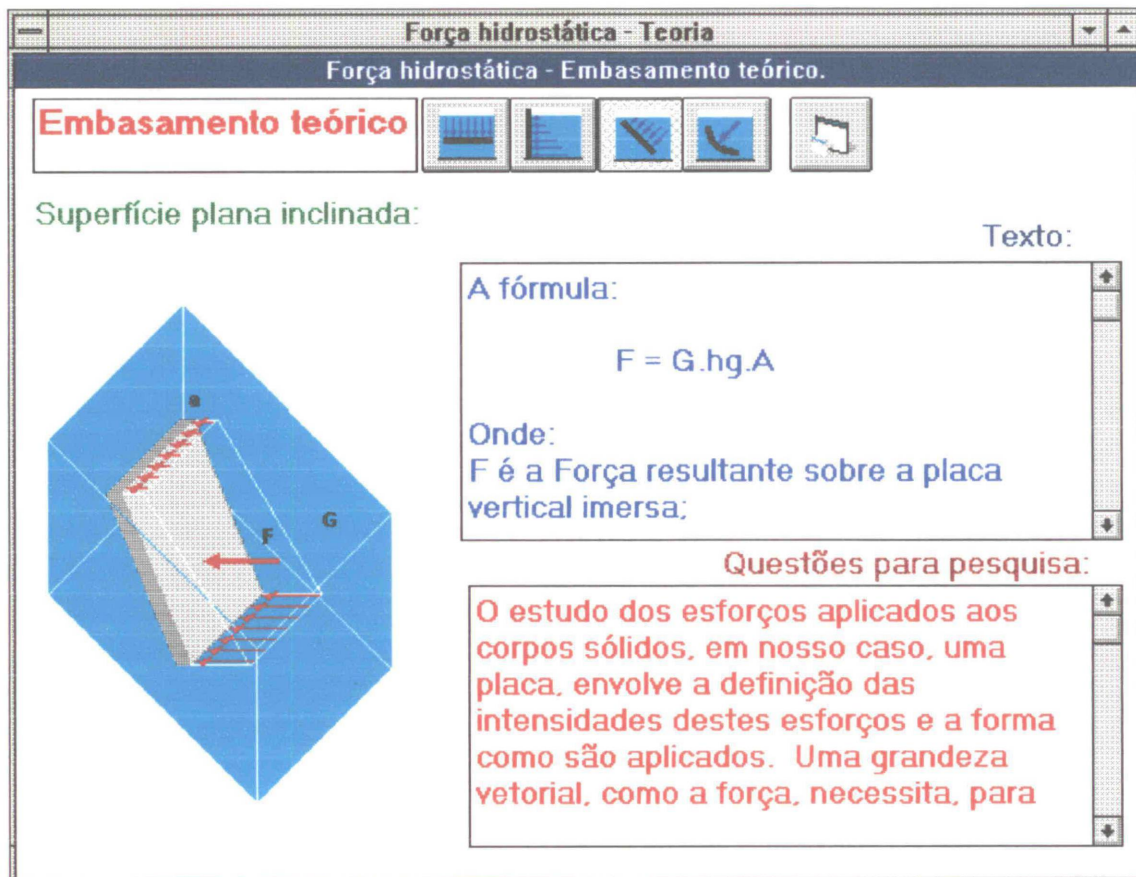


Figura 61 - Tela referente ao item “Superfície Plana Inclinada”.

A íntegra da janela “Texto:” está no quadro 23:

A fórmula:

$$F = G \cdot hg \cdot A$$

Onde:

F é a força resultante sobre a placa vertical imersa;

G é o peso específico do fluido;

hg é a profundidade do centróide da área e

A é a área da placa.

Pode ser usada indistintamente para placas planas verticais ou inclinadas e com qualquer forma geométrica. A diferença está na direção da linha de aplicação da força. Verifique as questões para pesquisa e procure deixar claro o emprego da fórmula.

Quadro 23 - Íntegra da janela “Texto:” para o item “Superfície plana inclinada”.

A quarta tecla dá acesso às informações relativas ao esforço hidrostático sobre uma superfície curva. Apesar deste módulo tratar o esforço relativo a superfícies planas, o item “Superfície Curva” foi incluído devido a inter-relação entre os assuntos evitando-se descontinuidades. A figura 62 reproduz a tela respectiva:

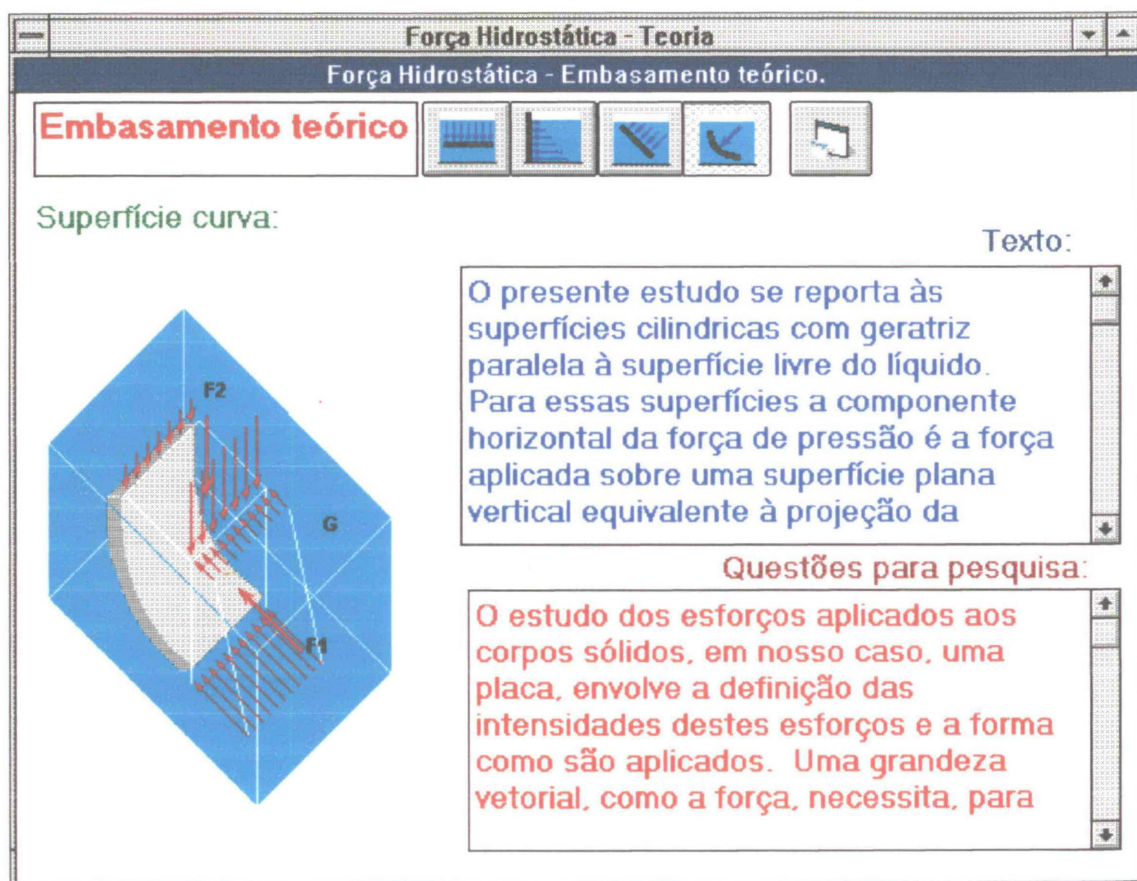


Figura 62 - Tela do item “Superfície Curva”.

O texto para o embasamento teórico é apresentado em sua íntegra no quadro 24:



O presente estudo se reporta às superfícies cilíndricas com geratriz paralela à superfície livre do líquido.

Para essas superfícies a componente horizontal da força de pressão é a força aplicada sobre uma superfície plana vertical equivalente à projeção da superfície curva sobre um plano vertical paralelo à geratriz da placa curva.

A componente vertical sobre a placa curva é igual à resultante do peso da coluna fluida sobre a placa. O módulo da força resultante é calculado através da soma vetorial das componentes.

Quadro 24 - Íntegra da janela "Texto:" do item "Superfície Curva."<sup>20</sup>

Entre os recursos adicionais do programa, resta falar sobre a seção "Memorial de cálculo". Esta seção mostra um cálculo sumário a respeito dos resultados apresentados na tela para uma situação estática. Para acesso ao memorial é necessário que ambos os registros estejam fechados, ou seja, o memorial será relativo a um estado fixo escolhido pelo usuário.

A figura 63 mostra a tela do memorial para um determinado resultado:

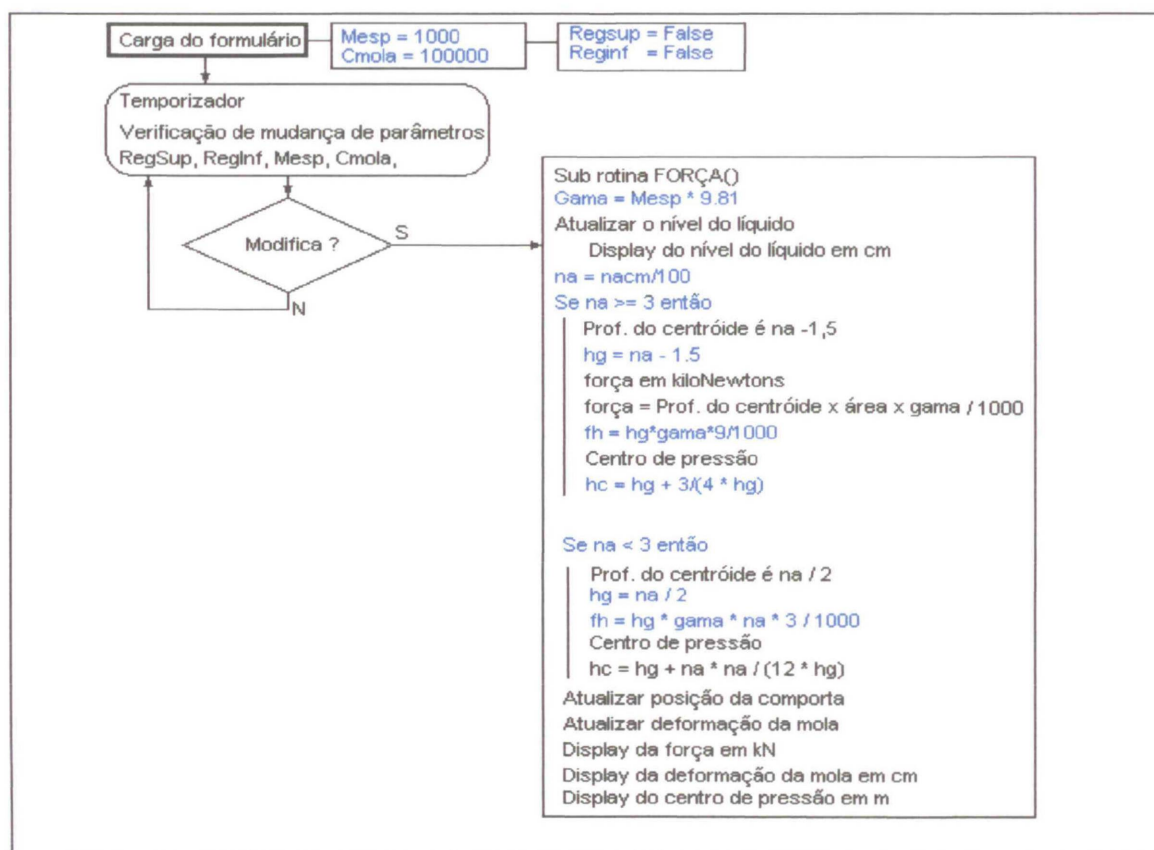
Memorial de cálculo					
<b>Força de pressão:</b>					
Peso específico	Prof. do centróide	Área		Força (N)	
9810,00	X 2,343	X 9,0000	=	206837	
Deformação (m)	Constante elástica (N/m)			Força (N)	
2,0684	X 100000	=		206837	
<b>Profundidade do centro de pressão:</b>					
Prof. do centróide	Mom. de inércia	Área	Prof. do centróide	Prof. do centro de pressão.	
2,343	+ 6,75000	/ ( 9,000	X 2,343 )	=	2,663
<b>Observação: Os valores apresentados são arredondados internamente.</b>					

Figura 63 - Janela referente à seção "Memorial de cálculo".

<sup>20</sup> O embasamento teórico incluído nesse módulo foi fundamentado na publicação **Noções Básicas de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica**. 1º volume, novembro de 1984. Ver REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

A apresentação dos cálculos tem a intenção de auxiliar o iniciante a averiguar os seus próprios cálculos. Além disso poderá haver uma comparação entre o resultado obtido pelo dinamômetro e o decorrente da teoria sobre a força hidrostática. Caso haja uma deformação excessiva da mola, (o valor máximo admissível é de 577,7 cm) ela deixa de ser um referencial para o cálculo da força hidrostática e a palavra “EXCESSO” passa a ser mostrada no “display” “Deformação”. Este fato, porém, não impede o curso normal do ensaio. Foi deixado a critério do usuário a calibragem da constante elástica da mola para um valor adequado.

As páginas anteriores mostraram um panorama geral sobre o funcionamento e as capacidades do módulo. A seguir está contida a descrição da operação interna do programa, seu fluxograma e o código fonte relativo ao processamento que envolva aplicação da Mecânica dos Flúidos.



Quadro 25 - Fluxograma inicial do módulo TEORIA.



O temporizador verifica a cada 0,5 segundos a modificação de algum parâmetro como abertura ou não de algum registro, mudança de massa específica ou da constante elástica da mola. Se algum parâmetro é modificado a sub rotina “Força” é acionada e todos os valores referentes aos objetos da tela são atualizados. No caso dos registros, a sub rotina “Força” é sempre acionada a não ser que ambos se encontrem fechados.

O código fonte para o fluxograma acima, incluindo, rotinas de manipulação gráfica da tela encontra-se reproduzido nos quadros 26a, 26b e 26c:

Sub Força ()	
NAcm = (978.882 - shape3.Top * .33126)	{A partir da posição do nível do líquido no vídeo (shape3.Top), calcula-se o nível em cm.}
If NAcm < .05 Then NAcm = 0	{Valor zerado para um nível menor que 0,05 cm.}
Panel3d3.Caption = Format\$(NAcm, "0.00")	{Display zerado}
na = NAcm / 100	{Nível do líquido em metros}
If na >= 3 Then	{Condição em que o nível do líquido é superior ou igual à altura da placa}
hg = na - 1.5	{Profundidade do centróide}
fh = hg * Gama * 9 / 1000	{Força hidrostática}
Panel3d5.Caption = Format(fh, "0.000")	{Display da força}
hc = hg + 3 / (4 * hg)	{Cálculo de hc}
	hc = hg + lx/A.hg
	hc = hg + 3.3 <sup>3</sup> /12.3 <sup>2</sup> .hg
	hc = hg + 3 / 4 . hg

Quadro 26a - Código fonte inicial para o módulo TEORIA.

Panel3d10.Caption = Format(hc, "0.000") + " m"	{Profundidade do centro de pressão, Display}
area = 9	{Área da placa. Parâmetro utilizado na janela "Memorial de cálculo"}
End If	
If na < 3 Then	{Condição em que o nível do líquido é inferior à altura da placa.}
If na < .001 Then na = .001	{Valor mínimo para o nível de líquido.}
hg = na / 2	{Profundidade do centróide}
fh = hg * Gama * na * 3 / 1000	{Força hidrostática}
Panel3d5.Caption = Format(fh, "0.000")	{Display da força}
area = na * 3	{Área da placa - Parâmetro utilizado na janela "Memorial de cálculo"}
If hg < .002 Then	{Condição em que o nível de líquido é muito pequeno}
Panel3d10.Caption = Format(0, "0.000") + " m"	{Profundidade do centro de pressão = zero}
hc = 0	
Else	
hc = na * na / (12 * hg)	{Cálculo de hc}
Panel3d10.Caption = Format(hg + hc, "0.000") + " m"	{Profundidade do centro de pressão. - Display.}
End If	
End If	
X1 = 2400 - 1650 / (5.5 * Val(panel3d9)) * fh	{Manipulação gráfica do dinamômetro.}
If X1 > 660 Then	{Rotinas gráficas para o dinamômetro e posição da comporta.}
Image1.Left = X1	
Image4.Left = Image1.Left + 330	
Image7.Width = Image1.Left - 405	
Shape1.Left = X1 + 585	
Shape1.Width = 4710 - X1	
Line18.X1 = X1 + 195	
Line18.X2 = Line18.X1	
Line17.X2 = X1 + 45	
Line17.X1 = Line17.X2 - 127	
Line16.X2 = Line17.X1	
xx = (X1 - 600) * 5 / 72	
Line16.X1 = Line16.X2 - xx / 2	

Quadro 26b - Código fonte inicial para o módulo TEORIA (continuação).

```

line15.X2 = Line16.X1
line15.X1 = line15.X2 - xx
line14.X2 = line15.X1
line14.X1 = line14.X2 - xx
line13.X2 = line14.X1
line13.X1 = line13.X2 - xx
line12.X2 = line13.X1
line12.X1 = line12.X2 - xx
line11.X2 = line12.X1
line11.X1 = line11.X2 - xx
line10.X2 = line11.X1
line10.X1 = line10.X2 - xx
line9.X2 = line10.X1
line9.X1 = line9.X2 - xx
line8.X2 = line9.X1
line8.X1 = line8.X2 - xx
line7.X2 = line8.X1
line7.X1 = line7.X2 - xx
line6.X2 = line7.X1
line6.X1 = line6.X2 - xx
line5.X2 = line6.X1
line5.X1 = line5.X2 - xx
line4.X2 = line5.X1
line4.X1 = line4.X2 - xx
line3.X2 = line4.X1
line3.X1 = line3.X2 - xx
line2.X2 = line3.X1
Panel3d4.Caption = Format(fh * 100 / Val(panel3d9), "0.00")      {Display da
                                                                    deformação da mola.}
End If
End Sub

```

Quadro 26c - Código fonte inicial para o módulo TEORIA (continuação).

As demais seções são compostas por “displays” com resultados obtidos a partir do código acima, ou quadros de texto já apresentados anteriormente. Existem, ainda, manipulações gráficas, com descrição não pertinente ao âmbito deste trabalho.

## 4.2 Força Hidrostática sobre Superfícies - Módulo Laboratório

O MÓDULO LABORATÓRIO reproduz o ensaio prático relacionado com o assunto “FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIE PLANA VERTICAL”, adotado na disciplina de Mecânica dos Fluidos da Universidade Federal do Paraná. O ensaio consiste na utilização do equipamento descrito abaixo:

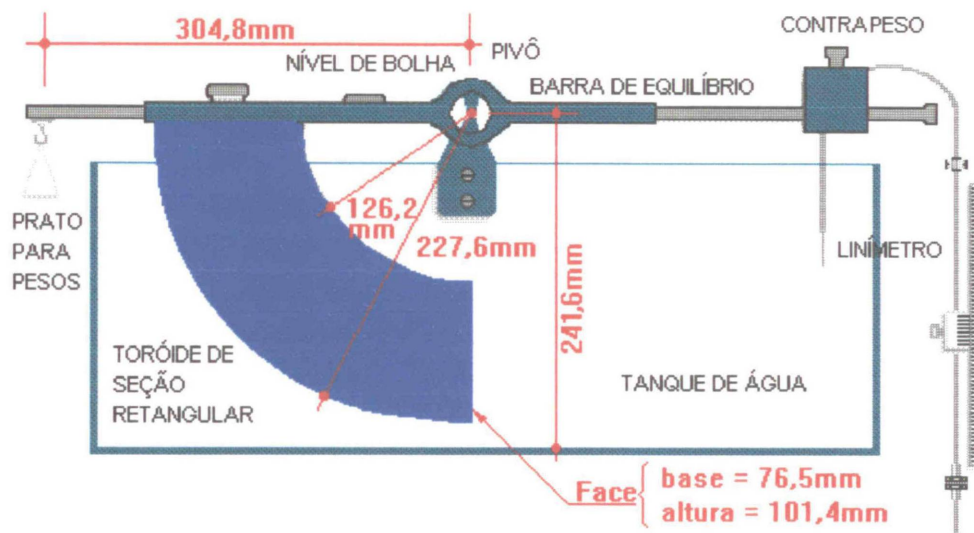


Figura 64. - Conjunto de dispositivos (Bancada Hidrostática) para o ensaio de laboratório relativo à força hidrostática sobre uma superfície plana vertical.

A “Barra de equilíbrio”, indicada na figura 64, encontra-se posicionada sobre cutelos localizados nas paredes laterais do tanque, permitindo, através de um pivô, o giro da barra em torno deste apoio. Inicialmente é necessário estabelecer-se a horizontalidade da barra, garantindo uma situação de equilíbrio. Esta operação é realizada por meio do ajuste de posição do contrapeso localizado à direita da barra.

Em qualquer situação a horizontalidade poderá ser verificada através de um nível de bolha localizado na face superior da barra; assim, em qualquer operação que requeira restabelecimento do equilíbrio inicial, este nível servirá de referência. Na próxima etapa, a partir de um reservatório sob a bancada hidrostática, bombeia-se água para o tanque de forma a submergir a face vertical



do toróide. Verifica-se a ação dos esforços hidrostáticos sobre a superfície do toróide quando este sofre uma deflexão em relação à sua posição inicial em torno do eixo de apoio. Evidencia-se, desta forma, o surgimento de um sistema de forças que atua sobre o corpo indicado na figura 65:

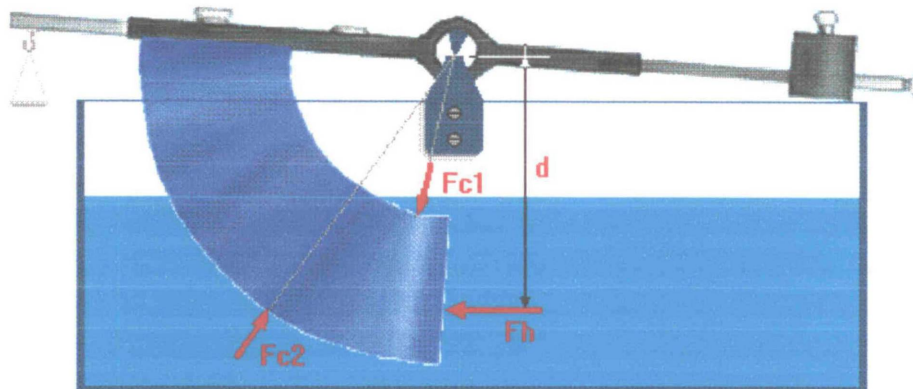


Figura 65 - Ação hidrostática sobre o corpo submerso.

As forças **Fc1** e **Fc2**, atuam sobre as superfícies curvas do toróide, entretanto, não contribuem para a deflexão sofrida pela barra, pois suas linhas de ação passam pelo eixo de giro e assim, as forças não geram momentos. A força **Fh** é a resultante da ação hidrostática que provoca a deflexão. Como encontra-se a uma distância “**d**” do eixo de giro, proporciona um momento,  $M = Fh.d$ , em sentido horário.

O objetivo do ensaio está em determinar a posição do ponto de aplicação da força **Fh** (Centro de Pressão), como também, poderia, como alternativa, estar em determinar a intensidade da força resultante **Fh**.

Se a distância “**d**” for determinada o objetivo estará alcançado, pois daí a determinar-se o Centro de Pressão (profundidade  $H_p$ ), a solução é puramente

geométrica. Neste intento o próximo passo do experimento é restabelecer a horizontalidade da barra pela adição de pesos ao prato localizado à sua esquerda e com auxílio de um linímetro efetuar a leitura do nível da água. Os pesos adicionados adequadamente, configurarão um novo sistema de forças, que em equilíbrio, proporcionarão o seguinte equacionamento:



Figura 66 - Sistema de forças que provocam momentos em torno do eixo de apoio.

As forças **P** (peso) e **Fh** (força hidrostática) possuem momentos contrários em relação ao eixo de apoio. Estando a barra equilibrada e em posição horizontal, a superfície sobre a qual atua **Fh** será vertical e a força será horizontal, com a distância “**d**” correspondendo à soma da profundidade do centro de pressão ( $H_p$ ) e da distância do nível da água ao eixo de apoio (**a**). Do esquema apresentado na figura 66, pode-se escrever:

$$F_h \cdot d = P \cdot 0,3048$$

$F_h$ , é obtido a partir da fórmula:

$$F = \gamma \cdot H_G \cdot A$$

onde  $\gamma$  é o peso específico do fluido,  $H_G$ , é a profundidade do centróide da placa, **A** é a sua área e **F** é a força hidrostática resultante “**Fh**”. Obtida a distância “**d**”, calcula-se a profundidade do centro de pressão, levando-se em conta a geometria do dispositivo e o nível da água anteriormente aferido. O resultado obtido deverá ter seu valor comparado com o decorrente da fórmula teórica:

$$H_P = H_G + \frac{I}{A.H_G}$$

onde  $H_P$  é a profundidade do centro de pressão e  $I$  é o momento de inércia da superfície em relação a um eixo horizontal que passa pelo seu centro de gravidade.

O MÓDULO LABORATÓRIO inclui a simulação do experimento compondo todos os dispositivos e procedimentos utilizados no ensaio real. A figura 67 reproduz a tela principal de operação do módulo.

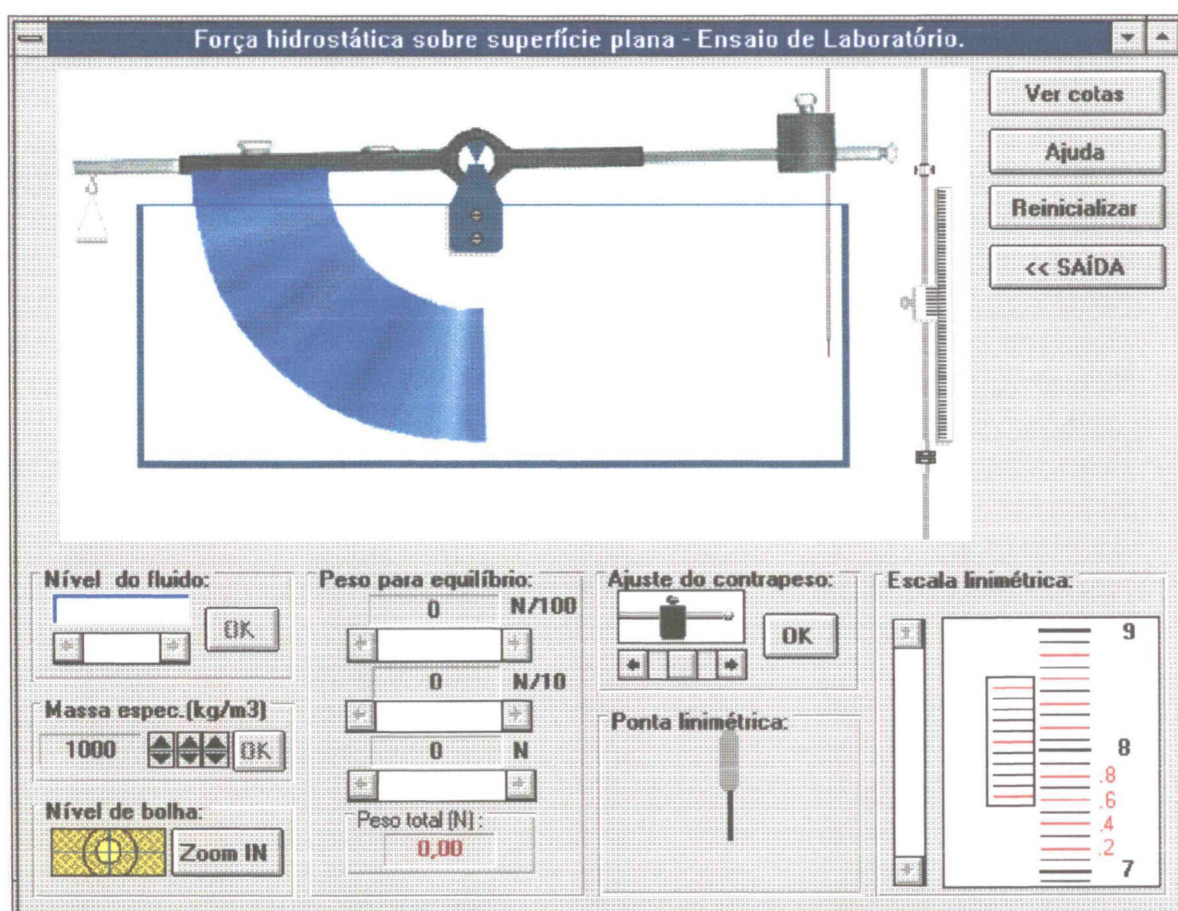


Figura 67 - Tela principal do módulo LABORATÓRIO para o título FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.



Descrevem-se, a seguir, os vários componentes desta tela, suas funções e efeitos. A janela gráfica (região superior à esquerda) mostra um esquema do dispositivo do ensaio com todos os seus componentes. Essa janela terá função de visualização da mobilidade da barra de equilíbrio, a qual é obtida por uma sobreposição de sucessivas imagens que são decorrentes do estado atual do dispositivo, como, situação de equilíbrio inicial, nível do fluido no tanque e pesos adicionados ao prato. Além disso é elucidativa com relação aos componentes, isto é, quando o cursor é posicionado sobre um componente aparece uma janela com um texto de especificação. Isto é o que ocorre, por exemplo, quando o cursor está sobre o toróide, como mostra a figura 68:



Figura 68 - O cursor posicionado sobre um componente faz com que se abra uma janela de texto.

A região superior direita da tela principal apresenta um conjunto de botões de comando. O botão “Ver cotas” abre uma janela com especificações de dimensões do dispositivo (figura 69). As cotas são importantes para o cálculo do equilíbrio dos momentos no final do ensaio. Para retornar à visão normal a tecla “Ver cotas” assume o rótulo “Vista normal”, e é necessário acioná-la.



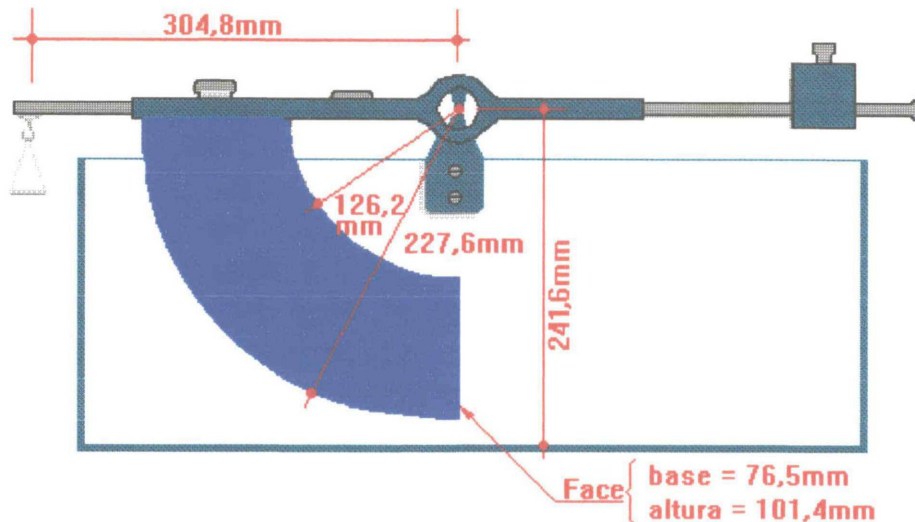


Figura 69 - Gráfico com as especificações de dimensões do dispositivo. Os valores estão rigorosamente de acordo com o dispositivo real de laboratório.

A tecla “Ajuda” abre uma janela de texto com instruções básicas a respeito da operação do módulo. A figura 70, mostra o conteúdo da ajuda:

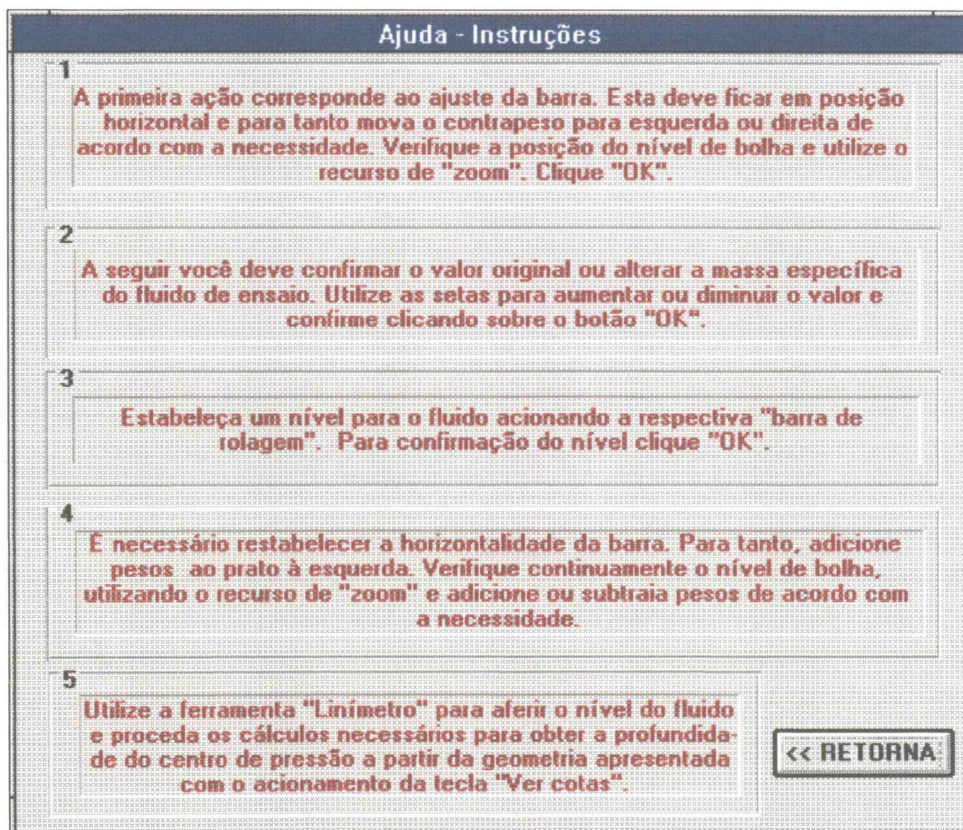
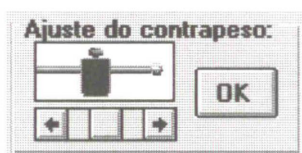


Figura 70 - Conteúdo da janela de ajuda. Para prosseguimento da simulação do ensaio, é necessário clicar sobre o botão “<< RETORNA”.

O botão “Reinicializar” estabelece as condições iniciais para um novo ensaio. Entre as condições iniciais, estão incluídas uma situação aleatória de desequilíbrio da barra (posição do contra peso), uma posição também aleatória da ponta linimétrica, tanque vazio, massa específica do fluido igual a  $1000 \text{ kg/m}^3$  e o peso sobre o prato igual a zero. O botão “<< SAÍDA”, abre um quadro solicitando confirmação para sair do módulo.

Após o carregamento do programa ou após sua reinicialização, a tela se apresenta como a figura 67 (página 127) e a primeira operação consiste em ajustar o equilíbrio da barra através do posicionamento do contrapeso localizado à sua direita. Enquanto esta operação não estiver concluída, os demais controles para prosseguimento do ensaio não estarão disponíveis.



O Controle utilizado para ajuste do contrapeso é uma barra de rolagem horizontal (HScroll2). O usuário deverá movimentar o contrapeso

de forma a obter um nível horizontal para a barra. Na carga do programa, a posição do contrapeso é aleatória e obtida pela geração de um número randômico. Os efeitos decorrentes estão em uma determinada inclinação para a barra do toróide e um deslocamento proporcional para a circunferência que reproduz o nível de bolha, e é por intermédio deste nível de bolha, localizado na região inferior esquerda da tela, que se tem referência para se estabelecer a horizontalidade da barra.



O nível de bolha possui uma interação dinâmica com os demais controles do programa, isto é, em



qualquer controle que se esteja trabalhando o nível de bolha responderá com um deslocamento do círculo central, caso haja alguma influência na deflexão da barra do toróide. Para fins de uma visualização perfeita do nível de bolha foi incluída uma janela de “zoom” que amplia em 10 vezes o quadro do nível de bolha. A utilização do recurso de “zoom” foi, propositadamente, restringida a uma observação instantânea, isto é, a janela de “zoom” não é dinâmica e apenas retrata a posição da bolha numa situação determinada deixando os demais controles temporariamente inoperantes. Para retornar ao prosseguimento normal é preciso acionar o botão “Zoom Out” e abandonar a tela de “zoom”. Esta restrição foi necessária em virtude do contexto do programa onde o usuário deve ver os efeitos gerais e não se ater a apenas resolver as etapas de forma mecânica. A figura 71 da página 132 retrata o uso da ferramenta “zoom”.

Após se verificar uma posição adequada para a bolha confirma-se a posição do contrapeso com a tecla “OK”. Caso a posição não for a ideal, por um controle interno de verificação, abre-se um quadro de mensagem indicando que o usuário deve prosseguir na tentativa de ajuste. Internamente (não visível para o usuário), existem 100 posições possíveis para o contrapeso. Se o ajuste for conduzido para uma posição entre 56 e 64 o programa aceitará o ajuste e automaticamente será definida como a posição 60.

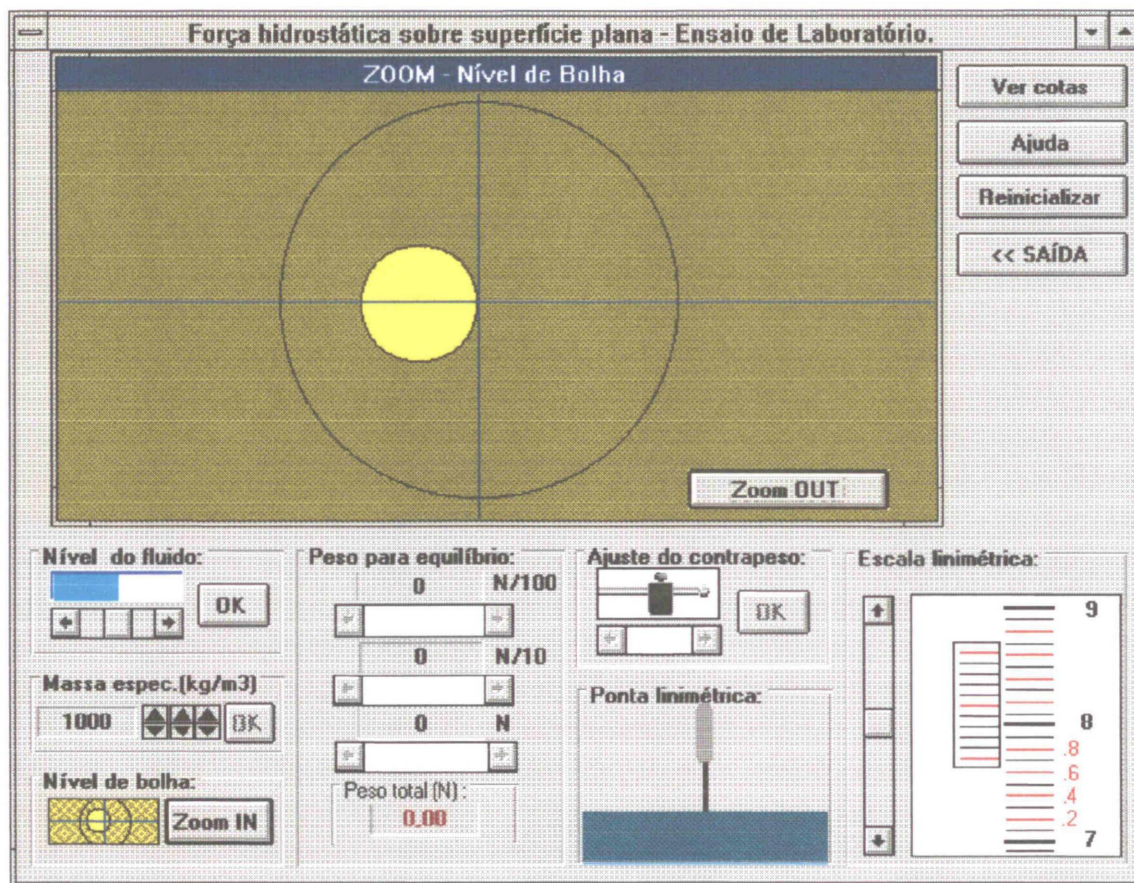


Figura 71 - Uso da ferramenta “Zoom”. Nesta situação os demais controles estão inoperantes. Será necessário teclar “Zoom OUT” para reativar as operações normais.

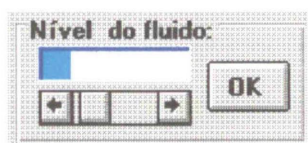
Se o ajuste for aceito, os controles de ajuste do contrapeso passam para um estado indisponível e os controles de definição da massa específica para o fluido passam a se encontrar aptos para operação. Neste caso os valores da massa específica podem ser variados entre  $600$  e  $13600 \text{ kg/m}^3$ . O valor original é de  $1000 \text{ kg/m}^3$  e poderá ser mantido assim apenas clicando “OK”.



Os controles de giro (“Spins”) mudam os valores da massa específica em centenas, dezenas e



unidades respectivamente. Após obter o valor desejado deve-se “clique” “OK”; assim os controles da massa específica passam para um estado indisponível e os controles referentes ao nível de fluido no tanque passam a estar aptos para operação e deverá ser o próximo procedimento a ser efetivado. O controle de nível de fluido é do tipo “Barra de rolagem horizontal” (“Hscroll1”) e pode variar o nível desde 0 até um máximo de 15 cm. Porém o programa só aceitará níveis acima de 1,5 cm, pois assim o líquido terá atingido o nível mínimo para influência sobre o toróide.



Após a definição de um nível adequado deve-se “clique” sobre o botão “OK” para confirmar a escolha e passar para um novo item.

Neste ponto são possíveis algumas variações na condução do experimento; exemplificando, é possível estabelecer um nível e a seguir medir a profundidade com a ferramenta linímetro, ou por opção, manter a ponta linimétrica em determinada posição e levar o nível do líquido até esta posição.

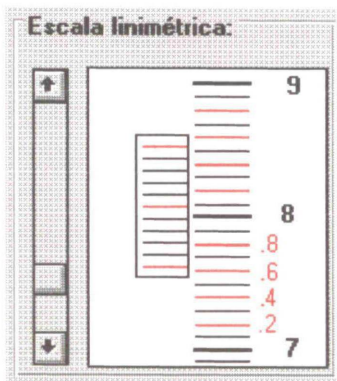
A ferramenta “linímetro” é discutida a seguir.

O linímetro, dispositivo de medição de precisão, utilizado para aferição de profundidades em lâminas líquidas foi reproduzido neste simulador com suas características principais. Ele aparece de forma genérica na janela gráfica geral e em detalhe nas janelas específicas de trabalho. Na carga do programa ou em sua reinicialização a ponta linimétrica assume um nível aleatório obtido a partir da geração de um número randômico. No quadro “Ponta linimétrica”, aparece a ponta, a superfície do líquido e o fundo do



tanque em uma escala ampliada em 3 vezes da janela geral. Este quadro será útil para uma visualização mais apurada sobre a posição da ponta linimétrica.

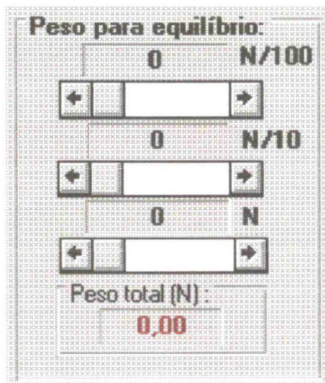
O quadro “Ponta linimétrica” é dinâmico, isto é, sua movimentação é solidária àquela ocorrida na bancada hidrostática com relação ao nível do fluido, o fundo do tanque e a ponta linimétrica.



O quadro “Escala linimétrica” tem dupla função. Primeiro com relação à posição da ponta linimétrica que é definida por um controle tipo “Barra de Rolagem Vertical” (VScroll1) e pode assumir 100 posições diferentes numa vertical que vai

do fundo do tanque ao nível máximo do fluido. Esta barra movimenta tanto a ponta linimétrica na janela gráfica geral como no quadro “Ponta linimétrica”. A segunda função está em fornecer uma leitura precisa da profundidade através de um nônio. No exemplo figurado acima a leitura é 7,64 cm. A movimentação e posicionamento do nônio é automática e concomitante com a ponta linimétrica. Após o equilíbrio inicial da barra do toróide o linímetro estará disponível e poderá ser operado a qualquer tempo, não havendo restrições à sua utilização, porém o usuário deverá estar ciente que a leitura só será correta, para efeito do ensaio, se for procedida após o restabelecimento da horizontalidade da barra.

Com o nível do líquido definido, e isto deve ser confirmado através do botão “OK” no quadro “Nível do fluido”, o usuário pode prosseguir no módulo iniciando a etapa onde deverá ser restabelecida a horizontalidade da barra. Neste ponto, estarão disponíveis, os controles de adição de peso ao prato situado à esquerda da barra do toróide. Os controles são do tipo “Barra de Rolagem Horizontal” (HScroll3, HScroll4 e HScroll5) e adicionam ou subtraem pesos ao prato na ordem de 1/100, 1/10 e 1 Newton a cada pulso respectivamente. Com a adição de pesos deve-se restabelecer a horizontalidade da barra, tendo como referência o nível de bolha.



Não haverá qualquer restrição ou mensagem com relação à adição ou subtração de pesos dentro da faixa de 0 a 210,89 N. O encontro do valor ideal ficará por conta do usuário que deverá observar o restabelecimento da horizontalidade.

Obtido o valor total dos pesos, o nível do fluido deverá ser aferido com a utilização do linímetro e o ensaio estará concluído. Uma nova seção poderá ser iniciada com o acionamento do botão “Reinicializar” ou o programa poderá ser finalizado com o botão “<< SAÍDA”.

A seguir encontra-se a reprodução do código fonte que envolve o equacionamento físico aplicado:

```
Sub Command4_Click ()
    Gama = Val(Panel3d1.Caption) * 9.81           {Cálculo do peso específico do
                                                fluido}
```

QUADRO 27a - Código fonte da manipulação de dados que envolvem aplicação de princípios físicos dentro do módulo LABORATÓRIO para o título FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES PLANAS E CURVAS.

```

Sub Command3_Click ()
    NA = HScroll1.Value * .15 / 100                                {Cálculo do nível d'água em metros}

    If NA <= .014 Then                                           {O nível d'água deve ser superior a 1,4 cm, caso contrário uma mensagem é exibida na tela}

        m% = MsgBox("O nível escolhido é insuficiente.", 0)
    End If

    If NA >= .1145 Then                                           {Superfície totalmente imersa}
        HG = NA - .0647                                           {Profundidade do Centro de Gravidade da superfície plana.}

        FH = HG * Gama * .0077571                                {Intensidade da força horizontal resultante sobre a superfície plana}

        HP = HG + .00085683 / HG                                  {Profundidade do Centro de Pressão}

        DF = .2416 - NA + HC                                      {Distância do Centro de Pressão ao eixo de apoio da barra do toróide}

    End If

    If NA > .014 And NA < .1145 Then                               {Superfície parcialmente imersa}

        FH = .03825 * Gama * (NA - .014) ^ 2                    {Intensidade da força horizontal resultante sobre a superfície}

        HP = 2 * (NA - .014) / 3                                  {Profundidade do Centro de Pressão}

        DF = .2416 - NA + HC                                      {Distância do Centro de Pressão ao eixo de apoio da barra do toróide}

    End If
End Sub

Sub HScroll2_Change ()
    Panel3d3.Caption = HScroll2.Value
    PE = HScroll2.Value / 100 + HScroll3.Value / 10 + HScroll4.Value
    Panel3d2.Caption = Format(PE, "0.00")                          {Display do valor do peso sobre o prato}
End Sub

```

QUADRO 27b - Código fonte da manipulação de dados que envolvem aplicação de princípios físicos dentro do módulo LABORATÓRIO para o título FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.



```

MP = FH * DF                                {Momento Positivo}
MN = PE * .3048                             {Momento negativo}
Perc = 1 - MN / MP                          {Diferença entre MP e MN}

Shape2.Left = 330 - HScroll1.Value * Perc    {Posição da bolha de nível}
Deflexão                                    {Sub rotina para redesenho da
                                           janela gráfica principal para
                                           uma eventual deflexão da
                                           barra do toróide}

End Sub
Sub HScroll3_Change ()                       {Mesmas observações acima}
panel3d4.Caption = HScroll3.Value
PE = HScroll2.Value / 100 + HScroll3.Value / 10 + HScroll4.Value
Panel3d2.Caption = Format(PE, "0.00")
MP = FH * DF
MN = PE * .3048
Perc = 1 - MN / MP
Shape2.Left = 330 - HScroll1.Value * Perc
Deflexão
End Sub
Sub HScroll4_Change ()                       {Mesmas observações acima}
panel3d5.Caption = HScroll4.Value
PE = HScroll2.Value / 100 + HScroll3.Value / 10 + HScroll4.Value
Panel3d2.Caption = Format(PE, "0.00")
MP = FH * DF
MN = PE * .3048
Perc = 1 - MN / MP
Shape2.Left = 330 - HScroll1.Value * Perc
Deflexão
End Sub

```

QUADRO 27c - Código fonte da manipulação de dados que envolvem aplicação de princípios físicos dentro do módulo LABORATÓRIO para o título FORÇA HIDROSTÁTICA SOBRE SUPERFÍCIES.

## 5 UTILITÁRIOS GENÉRICOS

Com a intenção de prover o estudo teórico da Mecânica dos Fluidos e Hidráulica com ferramentas que ajudem a compreender os fenômenos físicos relacionados através da visualização dos efeitos poderão ser desenvolvidos alguns “UTILITÁRIOS” que tenham um emprego genérico. Sua concepção se fundamenta nos mesmos princípios descritos anteriormente (ver página 72) e sua utilização pode ser versátil, adaptando-se a assuntos diversificados.

A título de exemplo da utilidade deste tipo de aplicativo desenvolveu-se um utilitário que simula alguns dispositivos clássicos que são aplicados na Mecânica dos Fluidos, este exemplo foi intitulado “INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO”.

O utilitário “INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO” não se relaciona à um TÍTULO específico. Sua aplicação é genérica e envolve princípios básicos da Mecânica dos Fluidos que foram integrados num único módulo. Este programa poderá fazer parte de um conjunto de módulos genéricos que possam ser aproveitados em aulas teóricas conforme é comentado, oportunamente, no capítulo “APLICAÇÕES”.

## 5.1 Utilitários genéricos - Instrumentos de Medição

Esse utilitário, bem como aqueles apresentados anteriormente, se enquadra na proposta de se fornecer uma ferramenta complementar na introdução à Mecânica dos Fluidos. Esse exemplo consiste na operação de alguns dispositivos de medição através da simulação do escoamento de um fluido ideal em um sistema composto por uma canalização, na qual se mostra, em detalhe, a seção onde estão incorporados um Tubo de Estagnação, um Tubo de Venturi e as tomadas de pressão acopladas a um manômetro de Bourdon e três manômetros diferenciais de mercúrio. O objetivo do utilitário é demonstrar, de forma interativa, a variação de pressões entre pontos específicos do sistema, aliando o conteúdo teórico da Mecânica dos Fluidos, relativo aos dispositivos, à uma visualização prática dos efeitos em conjunto com a obtenção de resultados. Propõe-se que os resultados sejam averiguados por cálculos manuais para uma variada combinação de parâmetros, como vazão, diâmetros e pressão.

Para a elaboração desse programa foi considerado o escoamento de um “Fluido Ideal”, incompressível, movimento irrotacional, distribuição homogênea de velocidades na seção transversal (cálculos conduzidos com a velocidade média), peso específico de  $9810 \text{ N/m}^3$  e aceleração da gravidade de  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Nos manômetros, o líquido manométrico foi considerado com uma massa específica de  $13600 \text{ kg/m}^3$ .

A tela principal desse utilitário encontra-se reproduzida na figura 72.

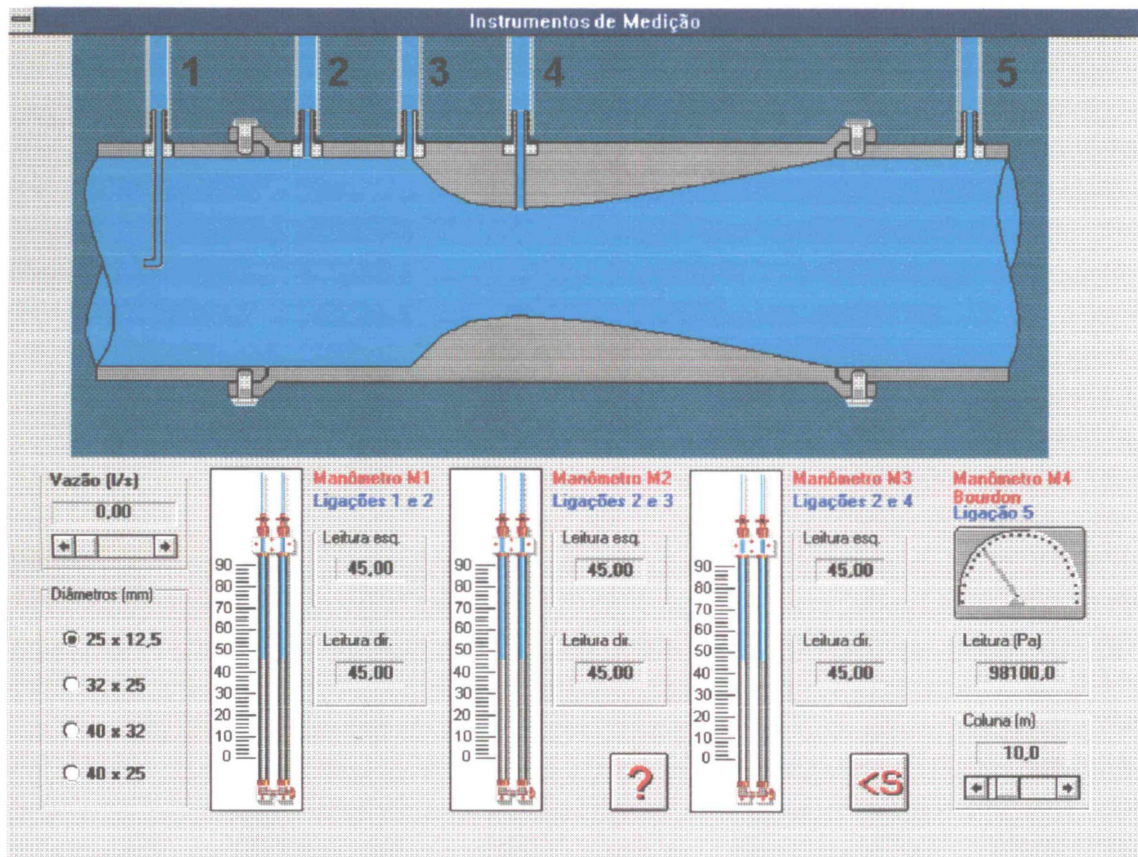


Figura 72 - Tela principal do utilitário “Instrumentos de Medição”. A reprodução mostra o conteúdo da tela no momento da inicialização do programa. Neste caso são apresentadas as situações iniciais, como vazão nula, manômetros diferenciais com níveis situados na posição 45 cm, coluna fluida de 10 m sobre o eixo da canalização, pressão de 98100 Pa e diâmetros de 25 e 12,5 mm para a canalização e para o estrangulamento do Tubo de Venturi<sup>21</sup>, respectivamente.



A orientação acerca da operação do programa é apresentada com um “clique” sobre o botão ao lado. Com esta operação o usuário tem acesso a uma nova “janela” de conteúdo textual. A íntegra do texto de orientação está nos quadros 28a e 28b da páginas 141 e 142.

<sup>21</sup> VENTURI, Giovanni Batista. Físico italiano (Bibiano 1746, Reggio 1822). Construiu um tubo de cones divergentes que leva seu nome (Tubo de Venturi), que possibilita estimar a vazão do fluido que o atravessa. Estudou, também, o alcance dos sons audíveis.



Esse utilitário propõe averiguar efeitos práticos nos dispositivos que estão incorporados a um sistema que se fundamenta no escoamento de um fluido ideal.

Os dispositivos a serem verificados são:

1. Tubo de Estagnação;
2. Tubo de Venturi;
3. Manômetro Diferencial de Mercúrio;
4. Manômetro de Bourdon.

Ao inicializar o programa tem-se à disposição os controles que gerenciam o desenvolvimento do exercício, os quais encontram-se descritos a seguir.

1. Campo "Coluna":

Nesse campo é possível alterar a altura da coluna fluida que abastece o sistema. Esta coluna é medida, em metros, a partir do eixo da canalização e pode assumir um valor entre 5 e 30 m. O valor inicial é de 10 m, e para alterar este valor "clique" sobre as setas ou sobre a haste da "barra de rolagem horizontal" que se encontra no campo "Coluna". Você também pode "arrastar" o botão da barra.

2. Campo "Diâmetros":

Aqui encontram-se as opções de diâmetros internos da canalização do sistema. As opções disponíveis relacionam-se ao diâmetro da canalização e ao diâmetro do estrangulamento no tubo Venturi, respectivamente. Selecione uma opção, "clique" sobre o botão correspondente ou mantenha a situação inicial que é 25 x 12,5 mm.

3. Campo "Vazão":

Altera a vazão do sistema com valores que podem estar compreendidos entre 0 e 4 l/s. Entretanto, para a opção de diâmetro 25 x 12,5 mm, o valor máximo admitido é de 1,89 l/s.

Estes controles estarão disponíveis em qualquer fase do programa e seus valores poderão ser modificados de forma a se perceber o correspondente efeito.

Os resultados para uma determinada situação são apresentados através de três Manômetros Diferenciais de Mercúrio e um Manômetro de Bourdon.

O manômetro M1 está ligado a um Tubo de Estagnação e à parede da canalização (pontos 1 e 2) e fornece a leitura da diferença de pressões na linha de corrente no eixo da canalização.

O manômetro M2 está ligado à parede da canalização e a um ponto de estagnação (pontos 2 e 3).

O manômetro M3 proporciona as leituras relativas ao Tubo Venturi. Tem seus ramos conectados à parede da tubulação e ao estrangulamento do tubo (pontos 2 e 4), fornecendo a diferença de pressões na linha de corrente central do escoamento.

Os manômetros de mercúrio apresentam seus resultados numa escala gráfica e também em "displays" numéricos para efeito de precisão na leitura. Os valores apresentados estão em centímetros.

O manômetro de Bourdon está conectado na parede da tubulação (ponto 5) e mede a pressão efetiva do escoamento. Neste caso, a pressão é decorrente da altura da coluna fluida sobre o eixo da canalização subtraída da altura relativa à velocidade. A unidade de pressão para o manômetro de Bourdon é o Pascal.

#### Utilização:

Para verificar a funcionalidade de todos os dispositivos utilize a variação da vazão em toda a gama permissível e para todos os diâmetros disponíveis. Anote as leituras dos manômetros para várias situações e proceda os cálculos manualmente. Confronte resultados; procure obter respostas para determinadas situações apresentadas na tela embasando-se no conteúdo teórico fornecido em aula.

Quadro 28b - Íntegra do texto de orientação (continuação).

Os elementos que compõe esse utilitário estão descritos a seguir.

#### 1. Representação da tubulação.

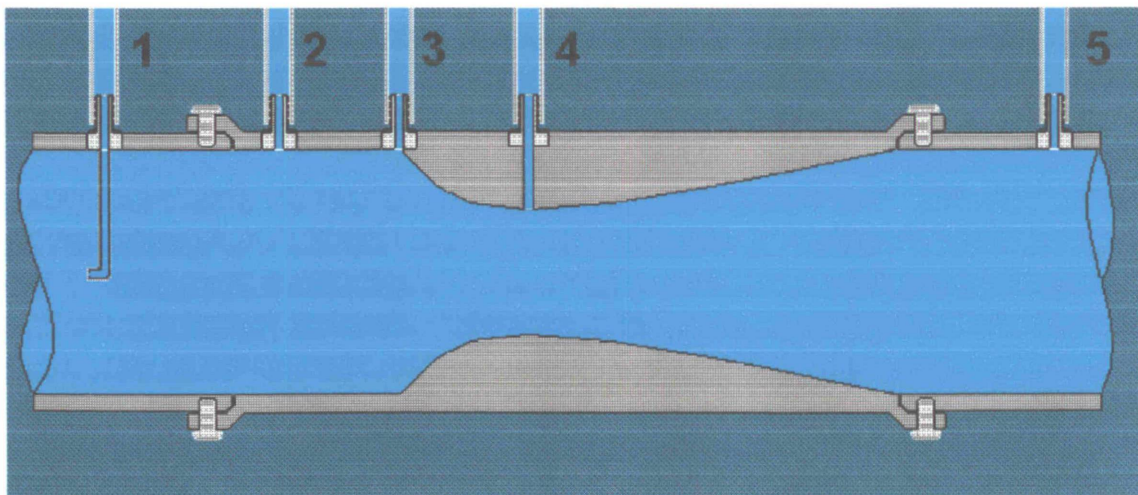
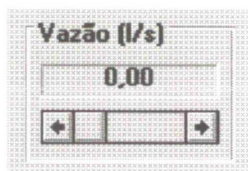


Figura 73 - Representação gráfica da tubulação que consiste na seção longitudinal de um Tubo de Venturi e adjacências onde estão acopladas as tomadas de pressão e um Tubo de Estagnação.

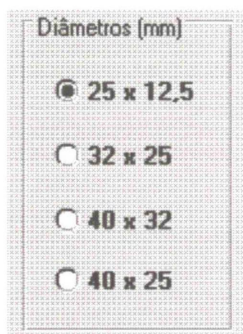
A representação gráfica mostrará a posição e forma dos dispositivos, bem como dará uma noção de movimento, através de uma animação de imagem, quando a vazão for fixada em um valor diferente de zero.

## 2. Quadro “Vazão (l/s)”:



Nesse controle é possível alterar a vazão para valores entre 0 e 4 l/s. O efeito da alteração de vazão é imediato nos manômetros.

## 3. Quadro “Diâmetros (mm):”

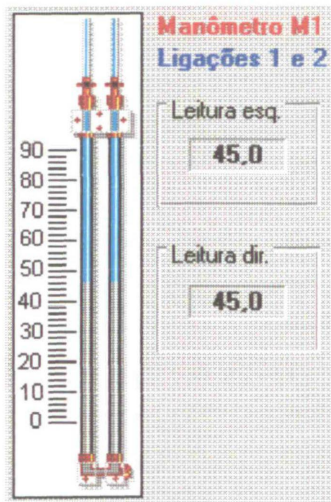


Nesse quadro são apresentadas as opções de diâmetros para a tubulação e estrangulamento do Tubo de Venturi. A opção inicial (25 x 12,5 mm) restringe a vazão para um máximo de 1,89 l/s. Caso o usuário insista em levar a vazão para além desse limite, abre-se uma “janela” de mensagem solicitando a redução da vazão em função de uma eminente extravazão do líquido manométrico. Com o surgimento do quadro de mensagem, a vazão será, automaticamente, definida em 1,89 l/s. Para os demais diâmetros, em virtude do decréscimo da velocidade, não existem restrições para a vazão no intervalo de 0 a 4 l/s.

## 4. Manômetros de mercúrio:

Os manômetros de mercúrio estão ligados de forma a proporcionarem a leitura da diferença de pressões entre dois pontos do sistema. Foram incluídos três manômetros de forma a se proceder os ensaios relativos a um Tubo de Estagnação, a um ponto de estagnação e a um Tubo de Venturi.





Para uma vazão nula os manômetros apresentarão seus níveis na marca de 45 cm. O desnível entre as colunas de mercúrio é calculado a partir desta cota e as leituras são fornecidas graficamente nos quadros que ilustram o manômetro. As leituras também são fornecidas numericamente nos “displays” para efeito de precisão. O equacionamento que produz os resultados fornecidos na tela está descrito no quadro 28 da

página 146, onde se encontra o código fonte gerador deste programa.

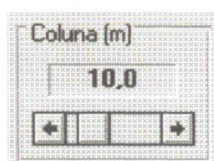
#### 5. Manômetro de Bourdon:



O manômetro de Bourdon é apresentado com a função de medição da pressão dinâmica efetiva na tubulação. Seu valor é decorrente da pressão estática proporcionada por uma hipotética coluna fluida sobre o eixo da canalização da qual é subtraída a altura decorrente da velocidade do

fluxo. O valor resultante é convertido em Pascal e apresentado de forma gráfica e numérica. O equacionamento, que produz os resultados, está incluído no código fonte dos quadros 28a e 28b.

#### 6. Quadro “Coluna (m)”:



A pressão sobre a canalização pode ser alterada através da variação da altura de uma coluna fluida hipotética sobre o eixo da canalização.



A coluna pode assumir valores entre 5 e 30 m e através dessa altura é calculada a pressão no manômetro de Bourdon.

As rotinas que envolvem o processamento de dados relativos ao equacionamento matemático e físico do programa encontram-se, em sua íntegra, a seguir, nos quadros 29a e 29b.

$Q = \text{hscroll1.Value} / 100000$	{Valor da vazão em m <sup>3</sup> /s}
$dh1cm = 0.655769 * Q^2 / d^4$	{Valor da diferença de pressões entre os pontos 1 e 2, em m de Hg.}
	{Desenvolvimento:
	$h = v^2/2g = Q^2/2gA^2 = 16Q^2/2g\pi^2d^4$
	$h = 0,0826269Q^2/d^4$
	Conversão para cm de Hg:
	$h = 100. 0,0826269 Q^2/d^4.12,6$
	$h = 0,655769 Q^2/d^4$ (em cmHg) }
$dh1 = \text{Int}(dh1cm * 11.25)$	{Escala gráfica}
$line1.Y2 = 2017 + dh1$	
$line2.Y2 = line1.Y2 - 30$	
$line3.Y2 = 2017 - dh1$	
$line4.Y2 = line3.Y2 - 30$	
$panel3d2.Caption = \text{Format}(45 - dh1cm / 2, "0.00")$	{Valor do display esquerdo p/ M1}
$panel3d3.Caption = \text{Format}(45 + dh1cm / 2, "0.00")$	{Valor do display direito p/ M1}
$line5.Y2 = line3.Y2$	
$line6.Y2 = line4.Y2$	
$line7.Y2 = line1.Y2$	
$line8.Y2 = line2.Y2$	
$panel3d5.Caption = \text{Format}(45 - dh1cm / 2, "0.00")$	{Valor do display direito p/ M2}
$panel3d4.Caption = \text{Format}(45 + dh1cm / 2, "0.00")$	{Valor do display esquerdo p/ M2}
$k = .7854 * d^2 * dr^2 / (\text{Sqr}(d^4 - dr^4))$	{Cálculo do desnível para o manômetro M3}
$dh3cm = .40451 * Q^2 / k^2$	
	{Desenvolvimento:
	$k = \pi.D^2.d^2 / 4(D^4-d^4)^{1/2}$
	$k = 0,7854 D^2.d^2 / (D^4-d^4)^{1/2}$
	$h = Q^2 / k^2.2 .g$
	Em cmHg:
	$h = 100.Q^2 / k^2.2 .g.12,6$
	$h = 0,40451 Q^2 / k^2$ }

Quadro 29a - Código fonte do utilitário INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO.

```

dh3 = Int(dh3cm * 11.25)           {Escala gráfica}
line9.Y2 = 2017 + dh3
line10.Y2 = line9.Y2 - 30
line11.Y2 = 2017 - dh3
line12.Y2 = line11.Y2 - 30
panel3d6.Caption = Format(45 - dh3cm / 2, "0.00") {Valor do display esquerdo p/ M3}
panel3d7.Caption = Format(45 + dh3cm / 2, "0.00") {Valor do display direito p/ M3}
lpa = 981 * hscroll4.Value - 2546.4791 * q ^ 2 / d ^ 4 {}
panel3d8.Caption = Format(lpa, "0.0")           {Display da pressão}

```

Quadro 29b - Código fonte do utilitário INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO (Continuação).

- **Variáveis envolvidas:**

- Q: Vazão;
- dh1cm: Desnível para o manômetro M1 em cmHg;
- dh1: Desnível para o manômetro M1 na escala gráfica de vídeo;
- d: Diâmetro da canalização;
- dr: Diâmetro da redução;
- k: Expressão:  $k = A_1 A_2 / (A_1^2 - A_2^2)^{1/2}$ , utilizada no cálculo do desnível manométrico para o Tubo de Venturi, onde  $A_1$  e  $A_2$  são as áreas das seções transversais da tubulação e da redução, respectivamente;
- dh3cm: Desnível para o manômetro M3 em cmHg;
- dh3: Desnível para o manômetro M3 na escala gráfica de vídeo;
- lpa: Valor da pressão dinâmica, em Pascal, para o manômetro de Bourdon.

## 6 APLICAÇÕES

Esse capítulo dedica-se à discussão de propostas para utilização de programas interativos. As propostas apresentadas discutem situações específicas e, evidentemente, não restringem as demais utilidades, que não são discutidas aqui, mas que poderão ser implantadas naturalmente. As propostas específicas relacionam-se a três aplicações:

1. AVALIAÇÃO MONITORADA COMPUTACIONALMENTE;
2. AULA AUTOMATIZADA COMPUTACIONALMENTE;
3. AUTO ESTUDO.

O primeiro item propõe a implantação de um processo computacional de avaliação de rendimento acadêmico, utilizando um conjunto de computadores interligados em rede. As vantagens da aplicação deste sistema estariam, principalmente, na forma de resolução das questões e na obtenção imediata de resultados do rendimento.

O segundo item propõe uma automatização da apresentação de conteúdos programáticos em aulas expositivas, proporcionando uma dinâmica planejada e subsidiada pelos recursos computacionais. Nesse item inclui-se um exemplo de automatização que consiste na própria apresentação dessa tese.

O último item discute a utilização desses programas em atividades de auto estudo orientado. Refere-se a uma atividade extra classe que se resume em exercícios, trabalhos e pesquisas em laboratório de informática.

## **6.1 Aplicações - Avaliação Monitorada Computacionalmente**

O capítulo 2.5 mostrou alguns exemplos de condução do monitoramento da resolução de um problema. As formas de monitoramento podem ser concebidas de diversas maneiras, seja em questões teóricas, discursivas, práticas, numéricas ou literais. É possível estabelecer-se um nível de relacionamento entre a máquina e o homem que possibilite uma avaliação que não esbarre nas barreiras do “perfeitamente certo” ou “totalmente errado”, tornando viável uma verificação automatizada e pormenorizada de conhecimentos e com uma visão completa do desenvolvimento da solução de um problema.

Com esses recursos é possível organizar a execução de uma prova, observar, em tempo de execução, o desempenho individual, geral e estatístico de um grupo, obter um relatório detalhado com resultados de forma imediata, inclusive com memorial descritivo de todos os passos dados por determinado participante, seu tempo de permanência em cada item, suas respostas finais e intermediárias, entrada de valores, desvios de conduta, ordem de resolução e todas as particularidades que possam estar envolvidas em determinada situação.

O sistema deverá ser composto por um computador central interligado em rede com os demais terminais de trabalho. No computador central



encontra-se o programa “servidor”, que monitora a atividade de todos os terminais.

O sistema é composto por um “formato” padronizado no que concerne à sua estrutura, isto é, o processo de monitoramento, de geração da interligação, de captação de dados e apresentação de resultados é fixo, porém o conteúdo a ser apresentado é totalmente dinâmico. Isto significa que os módulos de avaliação a serem apresentados terão um desenvolvimento à parte e poderão ser renovados continuamente. Isso pode ser comparado à formação de um banco de dados que vai crescendo à medida que vai sendo alimentado com informações. Com o decorrer do uso cria-se uma “biblioteca” de questões, cujos formatos, com pequenas alterações, em valores, em variáveis, em fluxos de resolução, em enunciados, nos passos intermediários, na forma de respostas e em pequenos contextos, geram outros formatos criando uma progressão substancial de alternativas de colocação para um módulo de avaliação.

O desenvolvimento dos diferentes formatos é um trabalho de imaginação e criatividade; sua concepção pode ser efetivada por qualquer professor da área, mesmo sem qualquer conhecimento de programação. Traduzir o formato proposto num programa interativo é uma tarefa que se torna uma rotina relativamente simples com a utilização dos “softwares” atuais que se encarregam de proporcionar de forma automática o processamento que seria mais oneroso em termos de esforço de programação. Porém, esta atividade estaria a cargo de programadores especializados os quais, com certeza, dedicariam a maior parte do tempo ao desenvolvimento das telas gráficas, se bem que, mesmo para estas, o desenvolvimento dos “softwares

gráficos” tem ocorrido com prodigiosa velocidade e a utilização de periféricos gráficos como “scanners” vem tornando a tarefa gráfica cada dia menos árdua.

A utilização em larga escala deste processo tende a criar um sistema que objetiva liberar os professores para atividades mais criativas, mais produtivas, deixando o trabalho repetitivo para a máquina, no qual, ela é especialista.

Ter uma visão do que ocorreu exatamente, passo a passo, durante uma avaliação, pode vir a ser um elemento que contribua para minorar o grau de incerteza ou injustiça na atribuição de um conceito. A padronização automatizada da correção elimina atribuições subjetivas ou desiguais, elimina erros e fraudes. A obtenção de resultados imediatos, confiáveis e organizados, agiliza o processo burocrático e elimina a perda de horas com custos inestimáveis.

## **6.2 Aplicações - Aula Automatizada Computacionalmente**

A apresentação de uma aula com recursos computacionais poderá ser motivo de um estudo mais atencioso após a leitura das considerações que são apresentadas a seguir. Novamente, leva-se em conta aqui, a possibilidade de formação de uma “biblioteca” com o decorrer do uso. Isto significa que existe um esforço inicial de programação e a partir desta introdução os benefícios vão se multiplicando, uma vez que um mesmo programa será utilizado em repetidas ocasiões. Não se elimina, evidentemente, a manutenção, que corresponde a atividades relativas a atualizações, alterações, complementos e

melhorias. Entretanto, o uso será capaz de formar, naturalmente, uma série prodigiosa de material à disposição.

A idéia básica relacionada a este tipo de automatização consiste em aliar os métodos tradicionais de explanação (quadro de giz, por exemplo) à visualização de exemplos práticos na tela do computador segundo uma metodologia pré concebida e específica para determinada apresentação. A automatização, em si, confere um grau de organização à apresentação, utilizando programas já prontos e que foram introduzidos na apresentação pelo programa de automatização, isto é, esse programa não cria algo novo relacionado ao conteúdo. Ele é na realidade um organizador, um condutor da tarefa de apresentar, e nessa condição, tem a função de uma “ficha de aula”, ou seja, em determinada situação apresenta-se um programa específico, a seguir outro e assim por diante; mas por trás desta seqüência existe um gerenciamento e um apelo visual proporcionado pelo programa de automatização e sob o comando do professor que manipula o programa. A manipulação do programa pelo professor segue uma seqüência lógica e pré determinada. Desta forma cria-se uma ferramenta que procura facilitar o manuseio de uma série de programas que, eventualmente, teriam que aparecer em seqüência; além disso, outros recursos podem ser incorporados, como o controle de tempo, o desvio para rotinas de esclarecimento de eventuais perguntas que previamente se saiba que possam ser feitas, como também, a chamada de programas não embutidos na seqüência planejada, enfim, uma série de alternativas que estarão à disposição do apresentador.

Para melhor demonstrar a potencialidade de um programa de automatização, encontra-se, a seguir, a descrição de um programa desta

categoria. O programa foi desenvolvido para apresentar esta própria tese e servirá como um exemplo bastante esclarecedor no sentido de se verificar a utilidade da automatização.

Basicamente, o programa é composto por telas de “menu”, isto é, telas com opções de acesso a outros programas (no caso deste exemplo, os programas que constituem esta tese). Estão incluídos, também, um protetor de tela, quadros de textos, algumas figuras com conteúdo integrado ao assunto e um controlador de tempo.

A tela geral do programa é constituída por uma campo livre onde surgirão “janelas” relativas a um determinado item. À esquerda da tela se encontram os botões de controle que acionam as rotinas de chamada para os itens. Esses botões estão dispostos segundo a seqüência lógica da apresentação e seu acionamento faz com que se abra a “janela”, relativa ao item acionado, na qual se encontram subdivisões do assunto. Após o “clique” sobre o botão “INTRODUÇÃO” (os botões estão descritos na seqüência), abre-se a respectiva janela na qual se encontram outros botões de opção e após o acionamento do primeiro botão, nessa janela, a tela geral se apresentará conforme a figura 74:



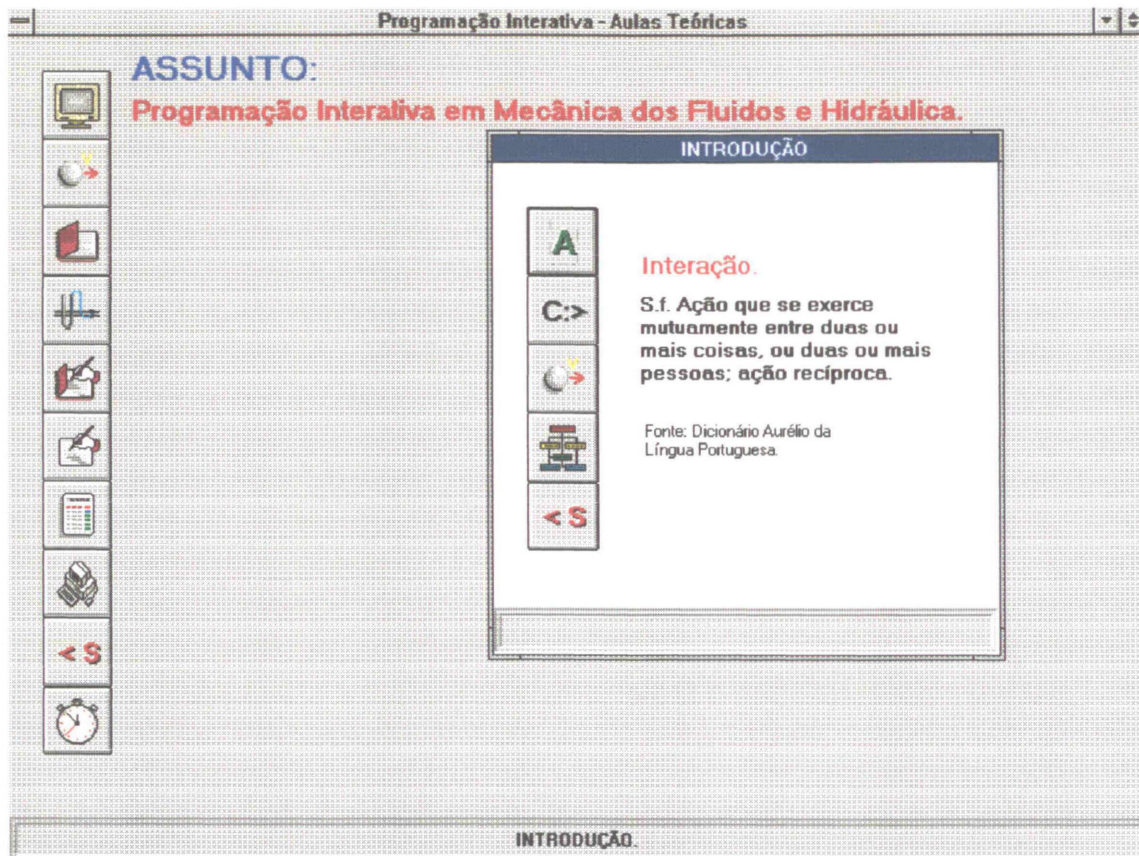


Figura 74 - Tela geral para o programa de automatização de aulas teóricas, onde aparece a janela relativa ao item “INTRODUÇÃO”.



Na ordem de cima para baixo, os botões de controle da tela geral acionam os itens:

- a) Descanso de tela;
- b) “INTRODUÇÃO”;
- c) “TEORIA”;
- d) “LABORATÓRIO”;
- e) “TAREFAS”;
- f) “AVALIAÇÃO”;
- g) “PROBLEMAS”;
- h) “APLICAÇÕES”;
- i) Saída do automatizador;
- j) Temporizador.

### a Tela geral - Item “Descanso de tela”:



A tecla “Descanso de tela” é útil para eventuais tempos de espera onde o computador deva permanecer ligado. No caso desse programa o “Descanso de tela” é constituído por texto em movimento e alternância de cores sobre fundo preto. O texto pode ser alterado de forma a se adequar a qualquer assunto. A tela de descanso está representada na figura 75.

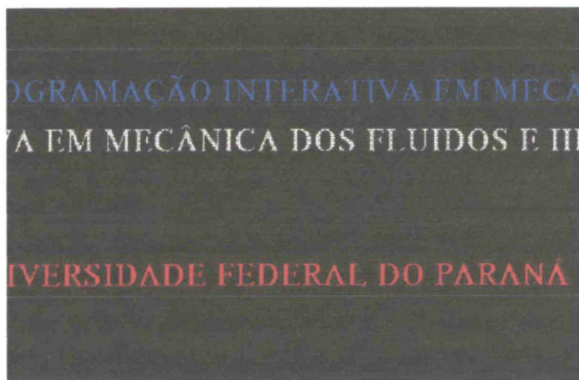
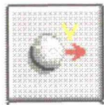


Figura 75 - Descanso de tela, com o texto “PROGRAMAÇÃO INTERATIVA EM MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA”, e “UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - MESTRADO EM ENGENHARIA HIDRÁULICA” que se apresentam em movimento e com alternância de cores.

### b Tela geral - Item “INTRODUÇÃO”:



A tecla “INTRODUÇÃO” dá acesso a uma nova janela onde obtém-se o acesso aos itens componentes da introdução dessa obra. A figura 76 reproduz a janela referente a essa fase da apresentação.

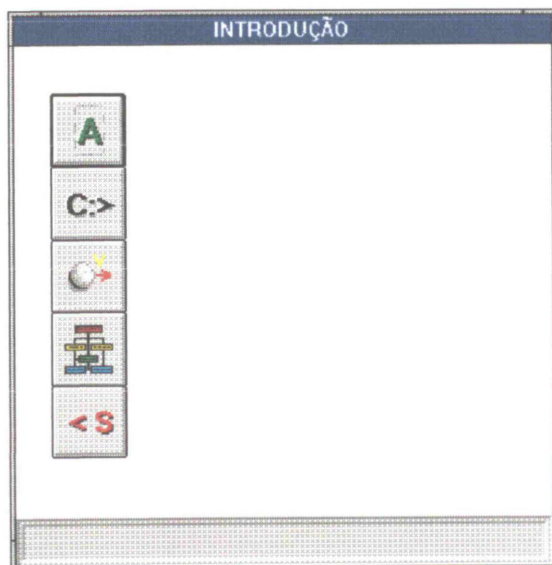
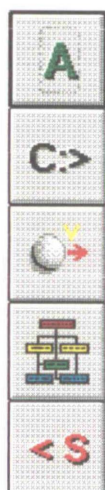


Figura 76 - Janela referente ao item “INTRODUÇÃO”.

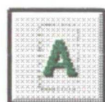
Os botões do item “INTRODUÇÃO” encontram-se descritos a seguir.



Na ordem de cima para baixo, os botões acionam os itens:

1. Definição;
2. “Programa convencional”;
3. “Programa interativo”;
4. “Estrutura geral”;
5. Saída do item.

#### b.1 Tela “INTRODUÇÃO” - Item “Definição”:



A tecla “DEFINIÇÃO” abre um texto sobre o espaço da janela conforme a figura 77:

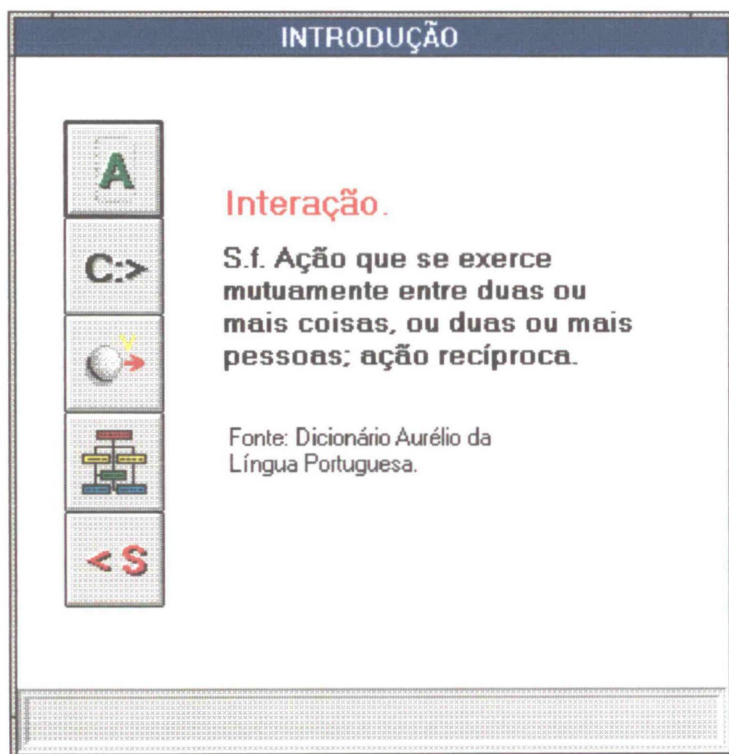
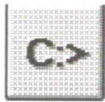


Figura 77 - Janela referente ao item “INTRODUÇÃO” após o acionamento da tecla “DEFINIÇÃO”.



### b.2 Tela “INTRODUÇÃO” - Item “Programa convencional.”:



A tecla “Programa convencional” aciona um programa que mostra a forma convencional de aplicações computacionais. Conforme o capítulo “INTRODUÇÃO”, dessa obra, empregou-se, aqui, um exemplo básico, onde calcula-se a velocidade média de um móvel a partir de valores fornecidos pelo usuário do espaço e do tempo. A simplicidade do programa ajuda a deixar clara a diferença entre um programa convencional e um programa interativo.

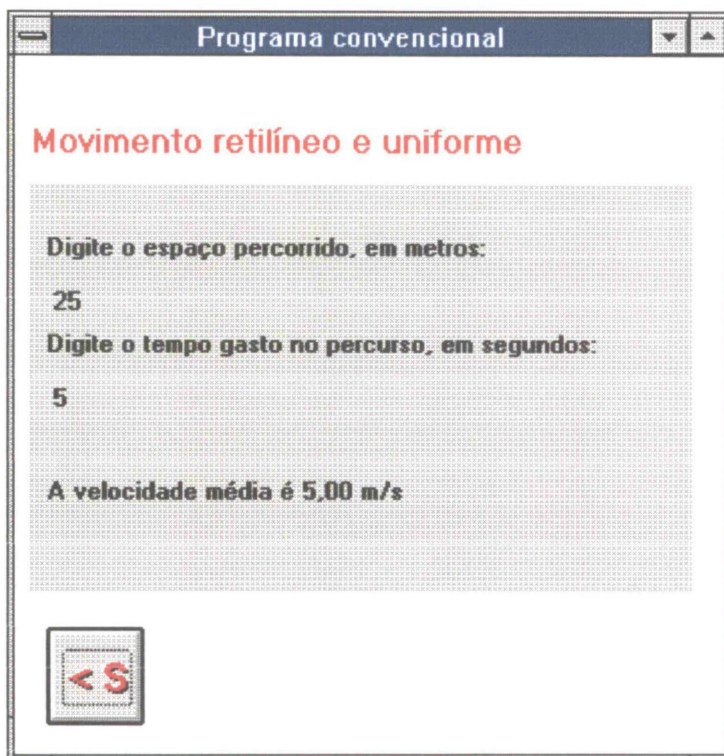
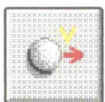


Figura 78 - Janela referente ao item “INTRODUÇÃO” após o acionamento da tecla “Programa convencional” e fornecimento dos dados pelo usuário.

### b.3 Tela “INTRODUÇÃO” - Item “Programa Interativo.”:



A tecla “Programa Interativo” aciona um programa que mostra a aplicação computacional para o mesmo problema, porém de forma interativa. Neste programa foram incluídas ferramentas como a visualização do móvel, a visualização do espaço percorrido, teclas de controle como a pausa do movimento para obtenção de resultados intermediários, a tecla de continuação e reinício. Ainda é possível alterar tempo e percurso durante o movimento e verificar os efeitos. Procura-se mostrar o potencial da

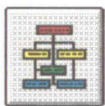


interatividade e da obtenção de resultados aliada à visualização do efeito. A figura 79 mostra a tela de trabalho referente a este programa.



Figura 79 - Exemplo de aplicação da programação interativa a um problema elementar.

#### b.4 Tela “INTRODUÇÃO” - Item “Estrutura Geral.”:



A tecla “Estrutura geral” abre três novos sub itens:

1. Estrutura geral 1 - Apresentação do conteúdo do trabalho;
2. Estrutura geral 2 - Instalação e inicialização;
3. Estrutura geral 3 - Requisitos de “*hardware e software*”.



Os três sub itens tem acesso através de novas teclas (“1”, “2” e “3”) que surgem através do “clique” no botão “Estrutura Geral”.

A tecla “1” (Estrutura Geral 1) apresenta, esquematicamente (figura 80), o conteúdo geral desse trabalho relacionado à programação aplicada.

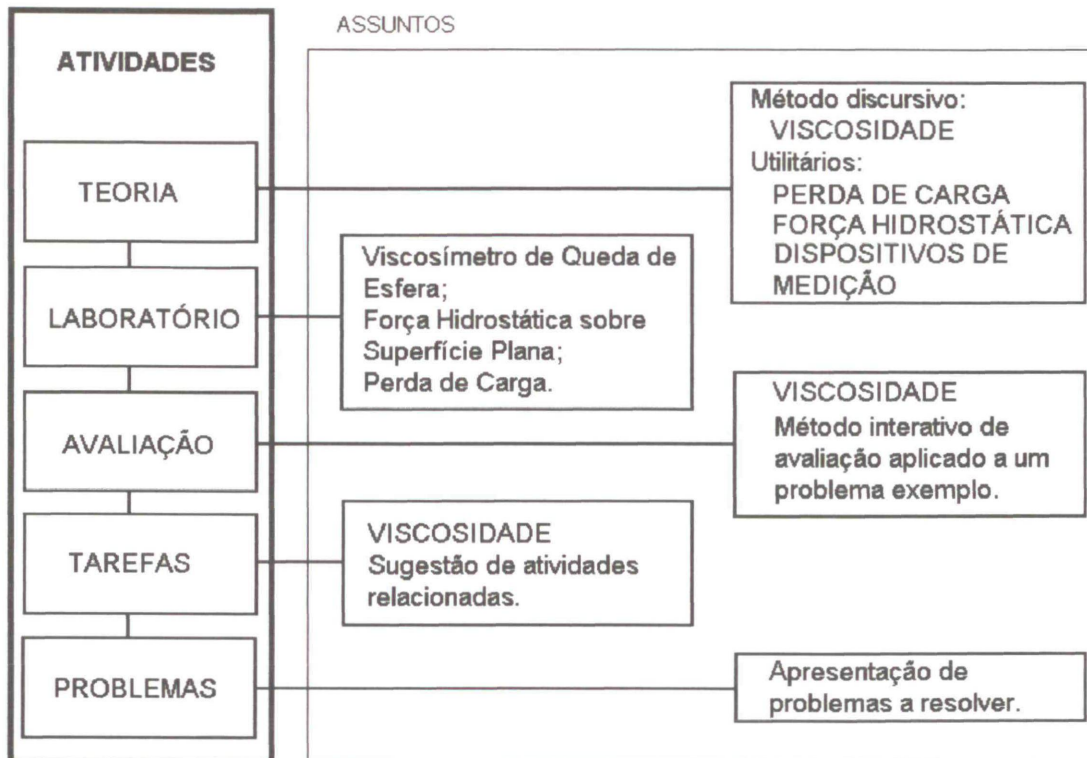


Figura 80 - Esquema do conteúdo geral da dissertação.

O sub item “Estrutura Geral - 2” aciona uma tela referindo-se à instalação e inicialização dos programas (Figura 81).



Figura 81 - Tela referente à instalação dos programas a partir do conjunto de disquetes com arquivos compactados.



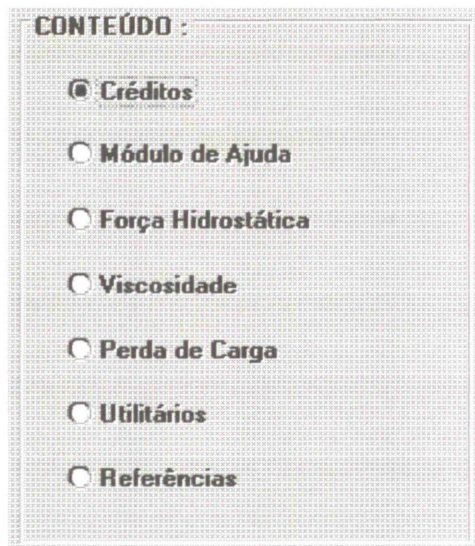


Figura 82 - Menu Principal.

O sub item “Estrutura geral - 3” refere-se às necessidades de “*hardware* e *software*” requeridas para a execução dos programas e apresenta a tela reproduzida na figura 83.

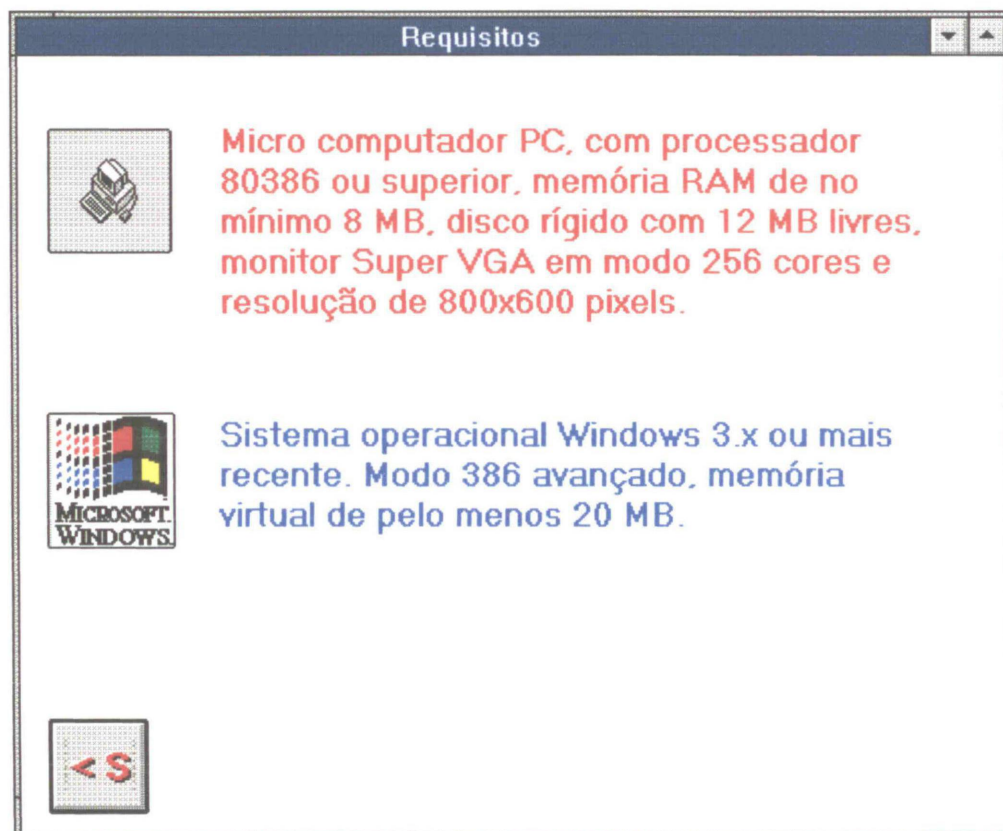
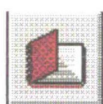


Figura 83 - Necessidades de “hardware e software”.



Em qualquer fase da apresentação, é necessário “clique” sobre o botão “< S”, para abandonar a janela atual e retornar às telas de “menu”.

### c Tela geral - Item “TEORIA”:



O botão “TEORIA” abre uma janela com o “menu” para acesso aos módulos “TEORIA” apresentados anteriormente.

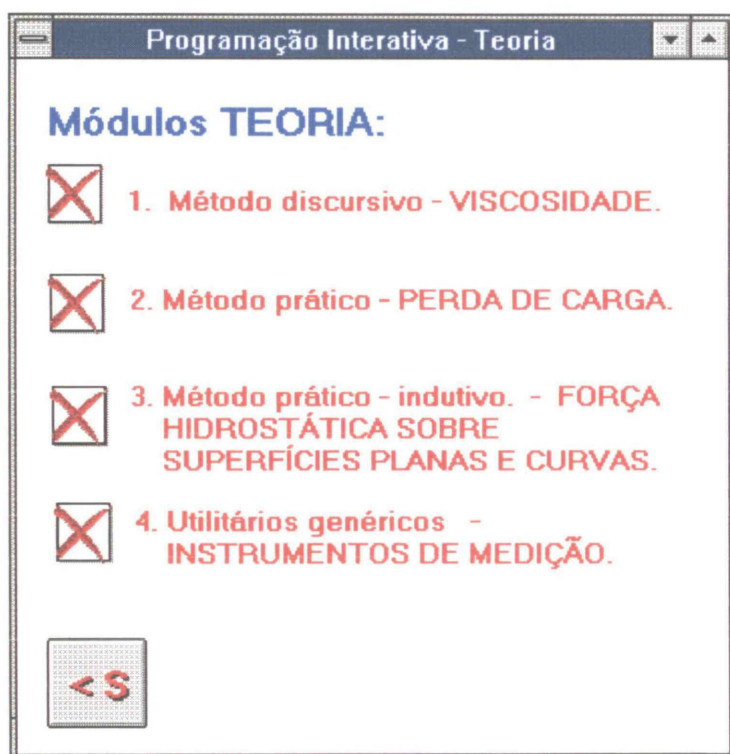


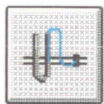
Figura 084 - Janela para acesso aos módulos “TEORIA”.

A chamada aos programas ocorre através de um “clique” sobre os quadros à esquerda dos itens quando, então, aparecerá o sinal “X” e acontecerá o desenvolvimento da chamada interna aos respectivos programas. Como os assuntos teóricos são os primeiros a serem abordados nessa



apresentação, a chamada aos programas é para a tela principal dos títulos onde se tem à disposição o índice geral de cada assunto.

#### d Tela geral - Item “LABORATÓRIO”.



A tecla “LABORATÓRIO” abre uma nova janela que permite acesso aos respectivos módulos.

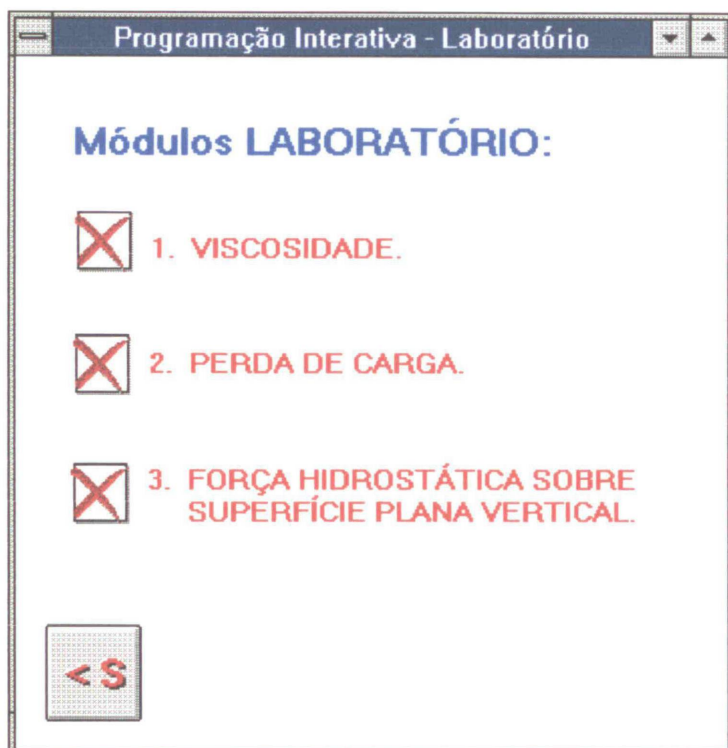


Figura 85 - Janela para acesso aos módulos “LABORATÓRIO”.

Agora o acesso é imediato aos módulos, sem passagem pelas telas de “menu” dos títulos, porém as características dos programas não foram alteradas, isto é, a passagem de um módulo para outro ou mesmo um assunto para outro, ainda é permitida e é facultativa ao apresentador. Isto garante uma certa liberdade na condução da apresentação o que pode ser útil em determinadas ocasiões. É conveniente salientar que o retorno ao programa de

automatização será , em qualquer situação, no mesmo ponto onde ocorreu a chamada ao módulo apresentado inicialmente. Exemplificando, se através do automatizador ocorreu uma chamada ao módulo LABORATÓRIO, e se por qualquer motivo houver uma inserção de outro assunto, o retorno ocorre na janela referente ao item LABORATÓRIO no automatizador. Este retorno sempre ocorre quando um módulo que está sendo apresentado é finalizado.

#### e Tela geral - Item “TAREFAS”.



Com a tecla “TAREFAS” abre-se uma janela que contém o botão que possibilita ingresso no módulo “TAREFAS” do assunto VISCOSIDADE.

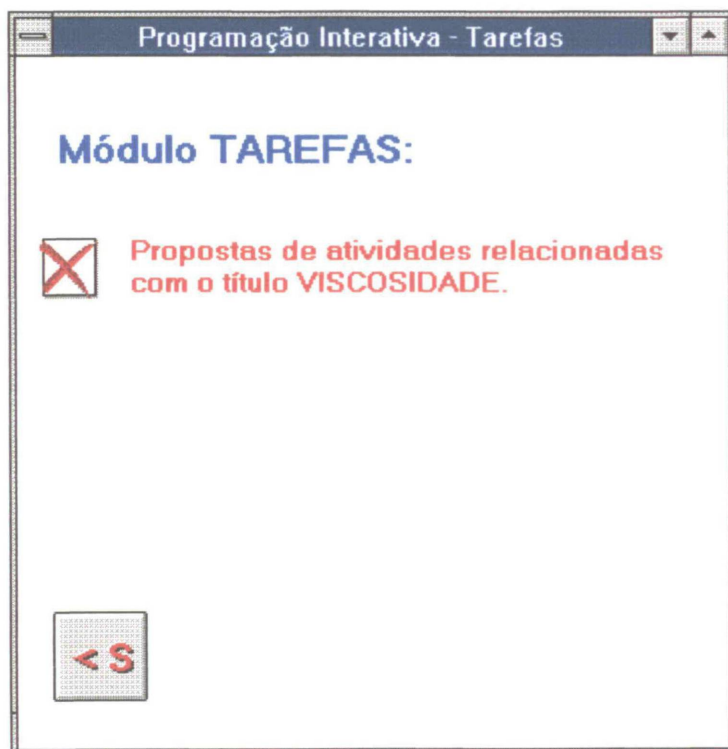
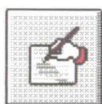


Figura 86 - Janela para acesso ao módulo “TAREFAS”

#### f Tela geral - Item “AVALIAÇÃO”.



O acesso ao módulo AVALIAÇÃO, inserido no título VISCOSIDADE é proporcionado pelo controle que se encontra na janela aberta pela tecla “AVALIAÇÃO” da tela geral do programa de automatização

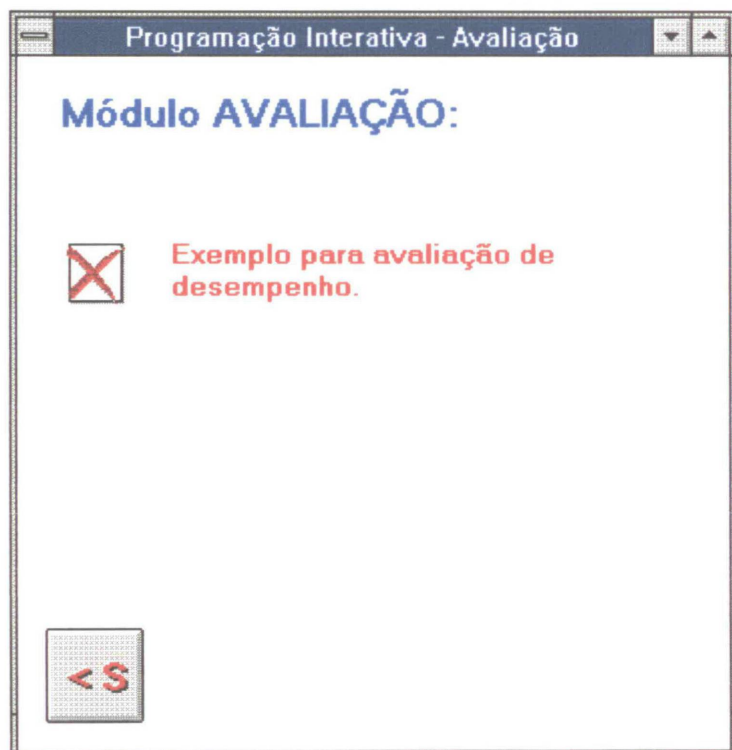
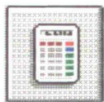


Figura 87 - Janela para acesso ao módulo “TAREFAS”.

Nesse ponto pode-se perceber que o programa de automatização é meramente um organizador da apresentação. Através do automatizador, obtém-se controle sobre as “chamadas” aos programas componentes da tese sem que haja uma interferência sobre o funcionamento destes programas. De outra forma, estas chamadas teriam que ser efetuadas manualmente, ocorrendo uma perturbação no andamento da apresentação e limitando seu planejamento. Opcionalmente podem ser incluídas algumas páginas de texto ou de gráficos que auxiliem a apresentação, como foi o caso do item “Introdução”.

### g Tela geral - Item “PROBLEMAS”.



Com o “clique” sobre a tecla “PROBLEMAS” da tela geral do programa de automatização abre-se a janela com o botão de ingresso no módulo “PROBLEMAS”.

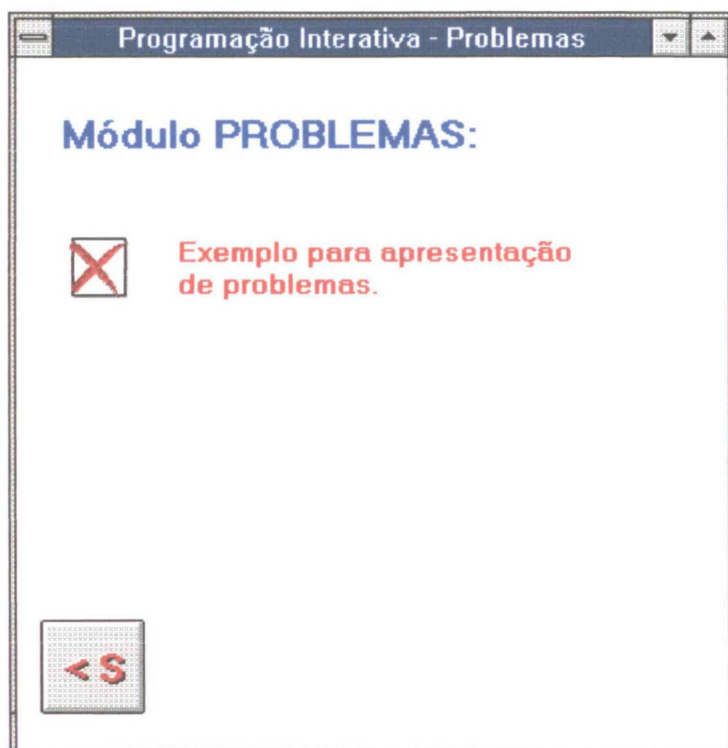


Figura 88 - Janela para acesso ao módulo “PROBLEMAS”.

### h Tela geral - Item “APLICAÇÕES”.



Com o “clique” sobre a tecla “APLICAÇÕES” da tela geral do automatizador, obtém-se um novo quadro com os botões de ingresso aos itens “Avaliação monitorada computacionalmente”, “Aula automatizada computacionalmente” e “Auto estudo”. Para estes itens foram desenvolvidas algumas páginas de texto e de gráficos para embasar a apresentação.



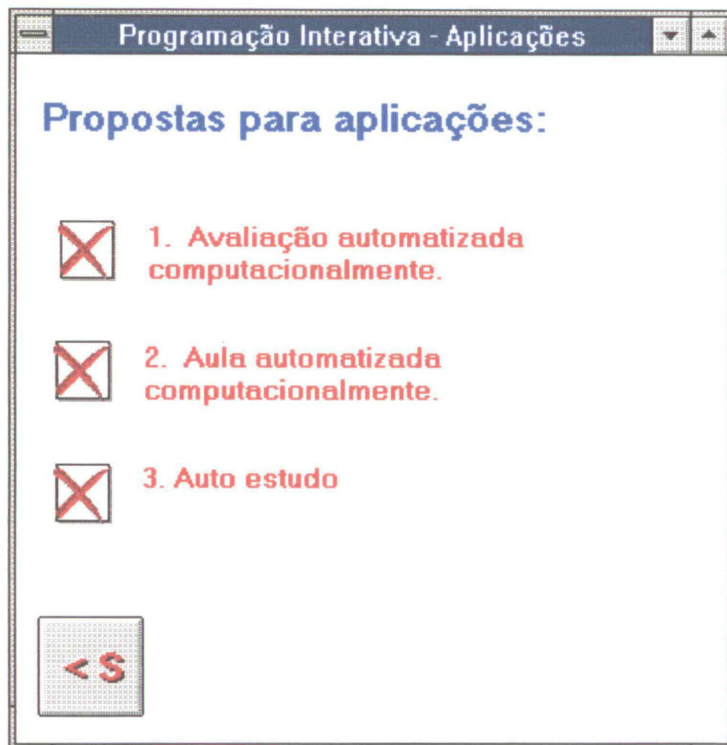


Figura 89 - Janela para acesso aos itens relativos às propostas para aplicações.

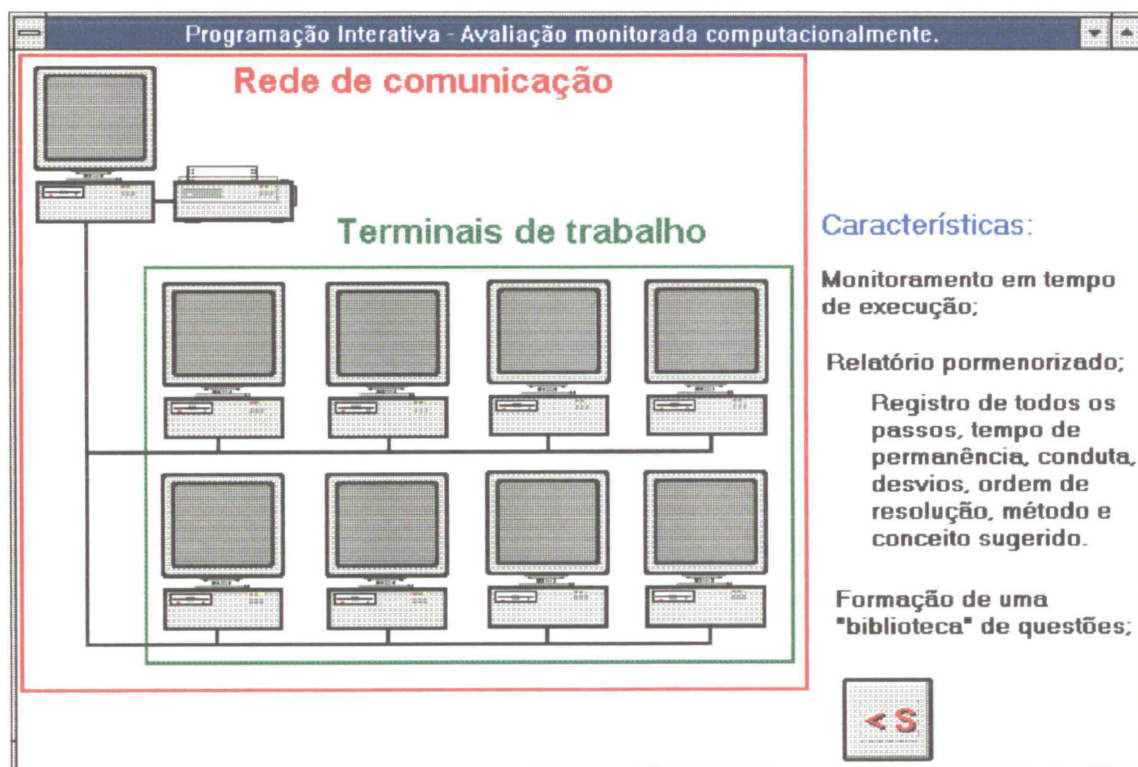


Figura 90 - Tela relativa ao item "AVALIAÇÃO MONITORADA COMPUTACIONALMENTE".

O “clique” sobre o quadro “1. Avaliação monitorada computacionalmente”, provoca o surgimento da tela representada na figura 90 da página 165. A tela servirá de subsídio para o comentário a respeito da aplicação.

Acionando o quadro “2. Aula automatizada computacionalmente”, aparece o esquema da figura 91:

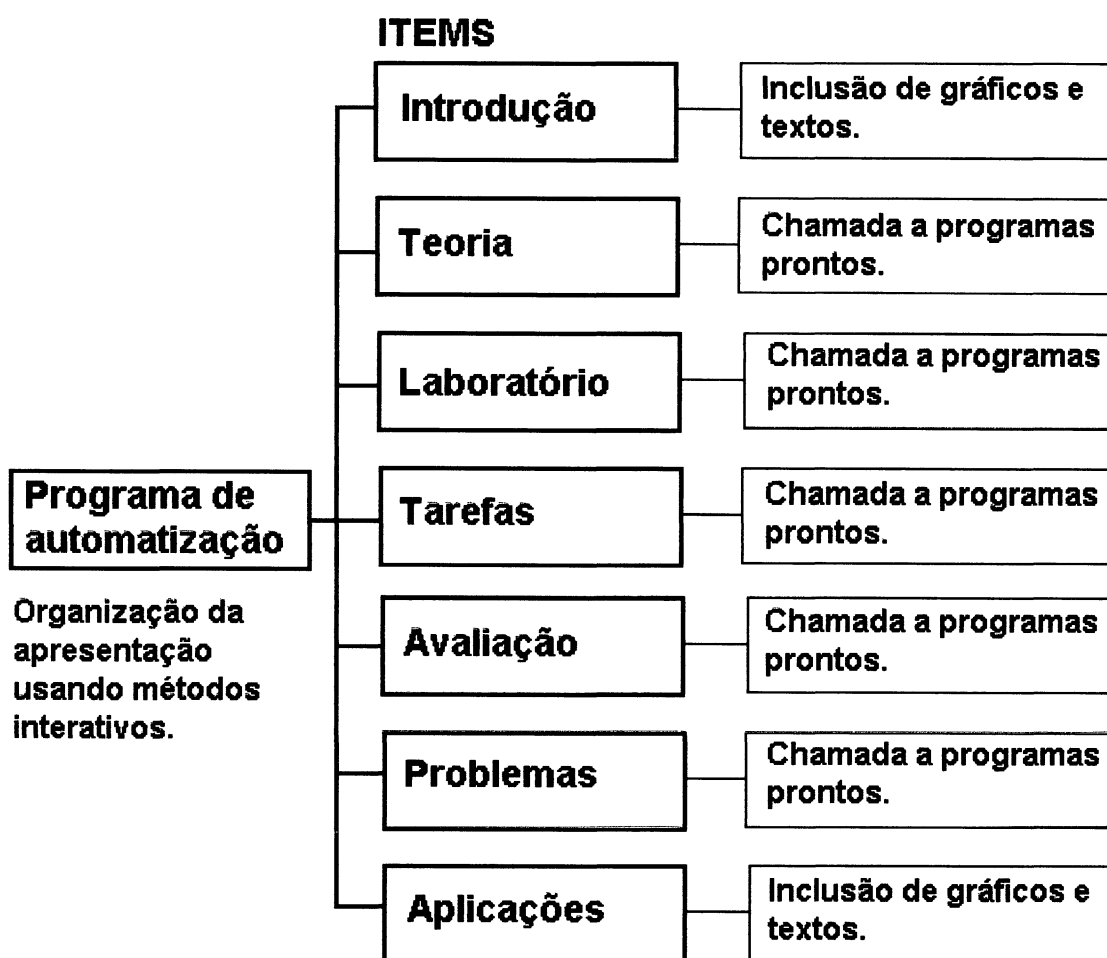


Figura 91 - Esquema para o item “AULA AUTOMATIZADA COMPUTACIONALMENTE”.

O esquema genérico serve como embasamento para o comentário a respeito da automatização, mostrando suas características de programa de manipulação.

Para o item “3. Auto estudo”, é apresentado um esquema relacionado com uma atividade paralela em um laboratório de informática. Propõe-se que os assuntos vistos nas aulas teóricas e práticas tenham um tratamento complementar em atividades programadas no laboratório sob a supervisão de estagiários treinados. Além da atividade programada e supervisionada, é facultativa a consulta livre a simuladores, material teórico e prático e acesso à fontes de consulta que estejam implantadas para este fim.

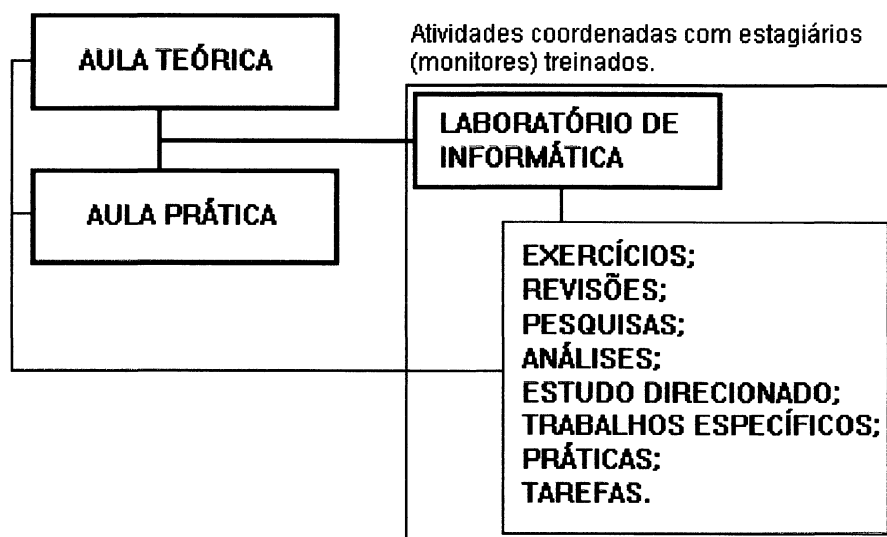


Figura 92 - Esquema apresentado para o item “Auto estudo”.

A utilização de “programas de automação” pode se tornar uma prática comum a partir do momento da criação de um sistema paralelo de geração destes programas (ver capítulo IMPLANTAÇÃO SISTEMÁTICA). Deve-se levar em conta que existe um esforço inicial em termos de formulação desse programas, porém sua reutilização em diversas fases posteriores torna a implantação cada vez menos onerosa em função da recursividade proporcionada, ou seja, o mesmo programa com pequenas alterações pode gerar outros, como é a característica peculiar das aplicações em informática.

### 6.3 Aplicações - Auto Estudo

Uma das principais funções que se quer atribuir aos programas interativos apresentados nessa dissertação é a de se aproximar dos eventos reais, seja no seu conteúdo ou na sua forma de proceder. Dessa maneira, criaram-se “ambientes” de operação que são conhecidos pela expressão “REALIDADE VIRTUAL”<sup>22</sup>, onde as causas e efeitos de determinadas ações fictícias possuem o seu correspondente paralelo real.

Fundamentando-se na possibilidade de fornecer um ambiente onde vários assuntos fornecidos em aulas normais possam ser complementados através de seções de “REALIDADE VIRTUAL”, propõe-se a criação de uma estrutura de embasamento para esta atividade.

A atividade consiste numa extensão das aulas teóricas e práticas onde seriam determinadas algumas tarefas relacionadas com a execução dos simuladores ou utilitários, bem como, na inserção de atividades específicas para os futuros módulos “TAREFAS”, como exemplificado no capítulo 2.3 dessa dissertação. As atividades se desenvolveriam em laboratórios de informática específicos, supervisionados por estagiários (monitores) treinados e com a coordenação de professores da área. A atividade complementar

---

<sup>22</sup> **REALIDADE VIRTUAL.** Geralmente um campo da ciência de computação que trata das simulações em tempo real, interativas, que imitam o mundo real ou fictício, proporcionando um ambiente virtual, com o qual o usuário pode interagir. Especificamente, o ambiente particular que está sendo modelado ou simulado. As seções de realidade virtual podem ser exploratórias, passivas ou interativas.

**REALIDADE VIRTUAL EXPLORATÓRIA.** - Um ambiente de realidade virtual que permite ao usuário explorar mas, por outro lado, não lhe permite interagir com o ambiente.

**REALIDADE VIRTUAL PASSIVA.** - Um ambiente de realidade virtual que permite ao usuário observar mas não interagir com o ambiente.

**REALIDADE VIRTUAL INTERATIVA.** - Um ambiente de realidade virtual que permite ao usuário interagir com o ambiente.

(ADAMS, Lee. *Visualization and Virtual Reality*. - página 621. - Ver REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.)



poderia incluir, também, a livre operação de materiais disponíveis, com a finalidade de revisão e fixação de assuntos.

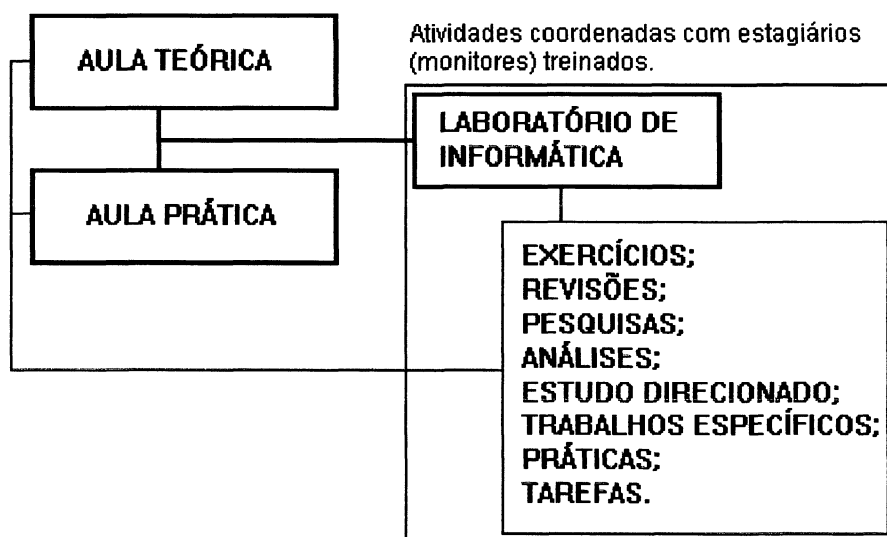


Figura 93 - Fluxo de operações. As aulas teóricas e práticas normais teriam uma interligação com a atividade complementar no laboratório de informática de forma a se estabelecer um fluxo rotineiro, isto é, para cada assunto visto em aula normal existe uma correspondente atividade em laboratório.

## 7 IMPLANTAÇÃO SISTEMÁTICA

Esse capítulo dedica-se a uma discussão a respeito das necessidades para implantação de um sistema efetivo. Considerando-se como sistema efetivo, um processo que viabilize a implantação de forma sistemática, ou seja, um processo baseado em um projeto de execução gradual, que se acomode às possibilidades cronológicas, físicas e econômicas de uma instituição, os recursos iniciais seriam relativamente módicos. A longo prazo, os objetivos estariam, talvez, por exemplo, em aplicar uma prova automatizada a uma turma com mais de cem acadêmicos. Para chegar a este ponto é necessário um caminho relativamente árduo, não apenas no processo de elaboração dos programas, mas como também, na criação da estrutura física para este fim. Entretanto, é importante ser traçado um plano neste sentido e para este plano, serem definidos os requisitos, tal qual, um “projeto piloto”, onde os fatos ocorrem por etapas.

Para fundamentação desse “projeto piloto”, enumeram-se a seguir, alguns requisitos básicos:

**a. Para os acadêmicos:**

Treinamento básico no sistema operacional “Windows” (aula de 50 minutos - Introdução ao Sistema Operacional Windows);

Orientação na inicialização e operação dos programas aplicativos (elaboração de manuais).

**b. Para os monitores:**

Treinamento suplementar no sistema operacional “Windows” (tempo variável em aulas suplementares);

Assimilação completa da inicialização e operação dos aplicativos (aulas específicas efetivadas pelo coordenador do programa);

Orientação acerca de atividades específicas (elaboração de manuais específicos);

**c. Para os professores:**

Treinamento suplementar no sistema operacional “Windows” (tempo variável em aulas suplementares);

Noções básicas a respeito dos “softwares” de geração das aplicações no que diz respeito às suas potencialidades. Essas noções são importantes para se perceber o alcance das aplicações a serem implantadas (uma leitura dessa tese pode dar uma idéia dos padrões que podem ser obtidos).

Assimilação completa da inicialização e operação dos aplicativos;

Formulação de atividades específicas;

Debates acerca de implantações, alterações, inovações;

Criação do contexto para geração de novos módulos;

Participação efetiva na criação, desenvolvimento e integração dos componentes do sistema.

**d. Para os programadores:**

Conhecimento de linguagens orientadas a partir de eventos em ambiente Windows, (Visual Basic ou Delphi) e diversos “softwares” de geração gráfica (estagiários dos cursos de engenharia, com disciplinas de Mecânica

dos Fluidos e Hidráulica já concluídas, também poderão ser aproveitados nas tarefas de programação, após treinamento básico nos “softwares”);

Conhecimento a nível de terceiro grau (graduação em Engenharia ou Física) em Mecânica dos Fluidos, Hidráulica ou, eventualmente, em qualquer disciplina na qual venha a ser implantado um sistema semelhante.

**e. Para a coordenação do sistema:**

Conhecimento de linguagens orientadas a partir de eventos em ambiente Windows. (Visual Basic ou Delphi) e diversos “softwares” de geração gráfica;

Conhecimento a nível de terceiro grau (graduação em Engenharia ou Física) em Mecânica dos Fluidos, Hidráulica ou, eventualmente, em qualquer disciplina na qual venha a ser implantado um sistema semelhante.

Experiência didática;

Criação do material de regulamentação das atividades, manuais, informativos e memorandos;

Formulação de atividades específicas;

Debates acerca de implantações, alterações, inovações;

Criação do contexto para geração de novos módulos;

Participação efetiva na criação, desenvolvimento e integração dos componentes do sistema.

**f. Para a instituição:**

Manutenção de curso de graduação em engenharia;

Decisão da implantação do sistema;

Obtenção de recursos humanos e econômicos, com interferência junto a órgãos governamentais e privados de subsídio.



Espaço físico, suprimentos, equipamentos e “softwares”.

O processo de implantação gradativa deverá seguir alguns estágios:

**a. Inicialização:**

Apresentação em aulas teóricas e práticas de alguns aplicativos já elaborados e avaliação de rendimentos, resultados, aproveitamentos e inclusão no contexto acadêmico em caráter provisório;

**b. Desenvolvimento:**

A partir de relatórios de avaliação da etapa de inicialização obtém-se dados para o dimensionamento da velocidade e do formato da implantação do sistema;

Formação de uma equipe de desenvolvimento. O desenvolvimento pode ocorrer segundo os moldes de uma pesquisa regulamentada;

Aumento gradativo das aplicações segundo o volume desenvolvido e das metas estipuladas;

Desenvolvimento de aplicativos com características de implantação em ensino de base (propõe-se a formulação de aplicativos de extensão ao ensino de primeiro e segundo graus, tendo como princípio que uma das funções da universidade é a emanção dos conhecimentos);

Montagem do laboratório de informática;

Adaptação de salas de aula normais a apresentações automatizadas.

**c. Manutenção:**

Alterações, substituições, melhoramentos, atualizações e adaptações do material existente a partir dos relatórios da utilização;

Elaboração de novos aplicativos;

Aumento gradativo do laboratório de informática e/ou criação de novas unidades;

Conferências e debates para avaliação do sistema e aperfeiçoamento das metodologias, bem como de desenvolvimento de novas técnicas;

Exportação supervisionada dos modelos desenvolvidos para outras instituições, nacionais e estrangeiras.

Nesse último item, incluiu-se uma meta final para os programas interativos: uma qualidade e um estado de aplicação plenamente testado com capacidade de implantação em qualquer instituição de ensino. A criação desse “produto de exportação” decorre de esforços contínuos e persistentes na busca do aperfeiçoamento.

## CONCLUSÕES

*“Universidade. ... tem por função precípua garantir a conservação e o progresso nos diversos ramos do conhecimento, pelo ensino e pela pesquisa.”<sup>23</sup>*

Há pouco tempo atrás vários processos tecnológicos, de cálculo, de obtenção de resultados, de aplicações científicas, se emaranhavam em obstáculos que pareciam ser intransponíveis. A quantidade de cálculos procedidos manualmente para resolução, por exemplo, de sistemas estruturais, restringiam a análise, de forma a se criar métodos simplificados de cálculo, separando-se os componentes da estrutura para uma análise individual e, conseqüentemente, a um volume de cálculos compatível com a habilidade humana de trabalhar manualmente com os números. Os métodos numéricos aplicados a ramos de conhecimento, como a engenharia, tiveram um incremento substancial com o advento do computador digital, aproveitando a capacidade destas máquinas de trabalhar com velocidade e precisão no processamento de cálculos numéricos. A análise estrutural passou a ter um tratamento independente da quantidade de cálculos, viabilizando processos que simulam a condição real de distribuição de esforços nos elementos

---

<sup>23</sup> Citação parcial - Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa.

estruturais, considerando a interdependência e a solidariedade que existe entre os elementos componentes, tratando-os como um todo. O escoamento de um fluido pode ser simulado computacionalmente, retratando o comportamento e as propriedades individuais das partículas componentes da massa fluida para um determinado volume de controle. Isto significa perceber, por exemplo, o efeito de determinada condição de pressão ou velocidade sobre o fluido em qualquer ponto de um dispositivo hidráulico que se esteja projetando. Esse resultado é decorrente da aplicação de processos numéricos, como o Método dos Elementos Finitos <sup>24</sup>, que se caracterizam por séries extremamente grandes de cálculos e, praticamente, impossíveis de serem conduzidas manualmente.

A década de 80, até os anos iniciais da década de 90, retratam o panorama acima. O computador era uma ferramenta numérica, especialista no trato com as tarefas repetitivas e os programas que alimentavam a atividade computacional eram dedicados a resolver problemas e obter resultados. Os progressos obtidos nessa área foram impressionantes, levando a Ciência da Computação a um estágio de desenvolvimento e de aplicação, jamais visto em qualquer outra área do conhecimento.

A partir dos anos 91/92 começaram a se criar novos valores para a atividade computacional, resguardando, evidentemente, a crescente capacidade de processamento numérico, mas introduzindo-se uma forma mais “amigável” de relacionamento entre o homem e a máquina. O surgimento da “*interface*” <sup>25</sup> gráfica cria novos horizontes, mas ainda com uma exploração

---

<sup>24</sup> Método dos Elementos Finitos. Método que consiste em subdividir o elemento real em seções finitas, com aplicação de processos numéricos aliados a processos físicos.

<sup>25</sup> Interface. Superfície limite entre dois espaços distintos; usualmente em informática, o dispositivo de ligação entre periféricos ou entre o homem e a máquina.



incipiente. A partir de 93 com o advento dos leitores óticos (CD ROM), com grande capacidade de armazenamento e alta taxa de fluxo de informações digitais, começaram a tornar-se comuns os computadores com recursos “Multimídia”<sup>26</sup>, com incrementação dos efeitos de vídeo e som na comunicação entre o homem e a máquina.

Os progressos passaram a ser medidos, não em décadas como nos anos 50 a 80, ou vários anos como de 80 a 90, mas sim em no máximo um ou dois anos, como ocorre atualmente, e num futuro próximo poderá ser medido em meses, semanas... ; enfim, a velocidade dos acontecimentos na área da informática é impressionante e se faz necessário um acompanhamento constante das inovações que são introduzidas em termos de análise de potenciais que podem ou não serem aproveitados.

O escopo dessa tese referiu-se a uma aplicação computacional que procura se adaptar à essa tendência. A utilização dos recursos computacionais com interface gráfica no ensino, aparenta ser algo evidente no futuro próximo e já com introduções no presente, lembrando que os progressos podem passar a ser medidos em poucos meses.

A universidade desempenha o papel de salvaguardar e de criar o conhecimento da humanidade. Não se pode conceber o desenvolvimento de métodos de se adquirir conhecimentos que não estejam compreendidos no âmbito universitário, portanto ela é o local do desenvolvimento desses métodos e dela emana sua disseminação.

---

<sup>26</sup> Multimídia. Expressão que identifica a capacidade incorporada ao sistema de apresentar várias formas de comunicação, envolvendo vídeo e som.

O conjunto de programas que fazem parte dessa tese são introdutórios. Como já foi dito, anteriormente, não existe a pretensão de considerá-los perfeitos ou insubstituíveis. Pelo contrário, é preferível, considerá-los “defeituosos”, pois assim cria-se o alimento para a determinação de transformá-los em ferramentas extremamente úteis para o propósito que foram concebidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 **ADAMS, Lee.** *Visualização e realidade virtual.* São Paulo: Makron Books, 1995.
- 2 **ADOBE SYSTEMS.** *Adobe Photoshop. User's guide.* [S.L.], 1995.
- 3 **AUTODESK.** *AutoCad R.12 - AutoCad R.13. User's guide.* [S.L.], 1995.
- 4 **BASTOS, Francisco de A. A.** *Problemas de mecânica dos fluidos.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1983.
- 5 **BEER, Ferdinand P., JOHNSTON , E. Russell.** *Mecânica vetorial para engenheiros.* São Paulo: McGraw-Hill, 1980.
- 6 **ENCICLOPÉDIA LAROUSSE CULTURAL.** *Círculo do Livro.* São Paulo: Nova Cultural, 1988. v. 1 a 30.
- 7 **HOLZNER, Steven.** *Visual Basic for Windows.* Rio de Janeiro: Campus, 1994.
- 8 **KYE SYSTEMS.** *Scan module twain for windows.* [S.L.], 1995.
- 9 **MICROSOFT.** *Visual basic 3.0 professional edition.* [S.L.], 1995.
- 10 **OMURA, George.** *Dominando o AutoCAD 13 para windows.* Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1995.
- 11 **PINTO, Nelson L. de S. et al.** *Noções básicas de mecânica dos fluidos e hidráulica.* Curitiba: UFPR, 1984. 2 v.
- 12 **ROUSE, Hunter.** *Elementary mechanics of fluids.* New York: J. Wiley, 1957.

**13 SHELDON, Tom.** *Windows 3.1: guia do usuário.* São Paulo: Makron Books, 1993.

**14 STREETER, Victor L.** *Fluid mechanics.* New York: McGraw-Hill, 1966.



Marcos Rogério Széliga; Marcos José Tozzi; José Junji Ota; Julio César Olinger;  
Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza - CEHPAR.  
Universidade Federal do Paraná - Centro Politécnico - Curitiba - 1996.