

DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA PARA ANÁLISE DE SISTEMAS TÉRMICOS

Míriam Rocchi Tavares – e-mail: mtavares@usp.br

Marcello Augusto Chilov - e-mail: chilov@usp.br

Departamento de Engenharia Mecânica -Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cidade Universitária-05508-900, São Paulo, SP, Brasil

***Resumo.** Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um programa didático para utilização em aulas teóricas e/ou experimentais de Termodinâmica que permita ao aluno visualizar, através de gráficos, processos termodinâmicos ocorrendo em sistemas simples, bem como calcular as trocas de energia que se verificam nestes processos. Tal programa computacional, denominado PROCTER, Programa de Análise de Processos Térmicos, foi implementado na forma de uma unidade de análise que funciona como um módulo de outro software didático, o PRODITER, Programa Computacional Didático de Termodinâmica (Villani,1997). O módulo PROCTER trabalha com sistemas térmicos que se englobem na definição de “substâncias simples compressíveis”. Como sistemas referimo-nos às substâncias com comportamento de gás perfeito (ar na ausência de mudança de fase, Ni, He) e substâncias puras (água, R-22, R-12, amônia). Os processos estudados correspondem às possíveis configurações destes sistemas com movimento de fronteira, em reservatórios providos de pistão , pinos, suportes, batentes e molas e o usuário pode escolher entre as várias opções disponíveis. Está também implementada uma opção em que o usuário define o estado final atuando sobre a tela, isto é, movimentando nesta o pistão. Neste último caso, os cálculos dos diversos parâmetros são atualizados na tela em tempo real*

***Palavras-chave:** Programa didático, Propriedades termodinâmicas, Sistemas térmicos*

1. INTRODUÇÃO

As últimas reformas nos currículos dos cursos universitários em todas as áreas, e particularmente no campo da engenharia, vem incentivando a utilização do computador na educação na medida em que este equipamento vem se tornando parte integrante da vida moderna. Neste contexto, e como consequência do que já ocorre no campo da pesquisa, o uso do computador em salas de aula e de *softwares* variados para solução de problemas básicos nas mais diversas disciplinas começa a generalizar-se.

No que se refere às ciências térmicas é grande o número de programas existentes no mercado. Estes *softwares* padecem entretanto de um mal comum, a maioria deles visa quase que exclusivamente aplicações técnicas e científicas nas áreas de pesquisa e desenvolvimento e, portanto, dada a sua complexidade, exigem do usuário treinamento específico relativamente

demorado e conceitos técnicos avançados, dificilmente dominados por alunos de graduação. Como exceções a esta regra podemos citar o trabalho de Maliska (1999), que desenvolveu um bom *software* didático para a solução numérica da transferência de calor por condução, ou o programa de cálculo de propriedades que tem acompanhado as últimas edições do livro texto de termodinâmica de Van Wylen *et al.* (1999).

Neste artigo apresentamos parte de uma proposta que resultou no desenvolvimento de programas educacionais cujo objetivo é servir como ferramenta auxiliar ao ensino da termodinâmica e da transferência de calor, para os cursos de graduação nas diversas modalidades de engenharia seja em aulas teóricas, seja em aulas de laboratório. A idéia de elaborar programas didáticos nasceu juntamente com a necessidade de adaptar as ementas dos cursos teóricos e de laboratório de Termodinâmica e Transferência de Calor, às recomendações para reforma da estrutura curricular (Hernandez *et al.* 1998) de cursos de Engenharia Mecânica.

O programa PROCTER, Programa de Análise de Sistemas Térmicos, tem por objetivo o estudo de processos termodinâmicos em sistemas térmicos que se englobem na definição de “substâncias simples compressíveis”, isto é, às substâncias com comportamento de gás perfeito (Ar, Ni, He, etc.) e substâncias puras (água, R-22, R-12, amônia, etc.). Os processos estudados correspondem à evolução, com movimento de fronteira, das possíveis configurações destes sistemas em reservatórios providos de pistão, pinos, suportes, batentes e molas. O usuário tem a possibilidade de escolher entre as várias opções disponíveis. Está também implementada uma opção em que o usuário define o estado final atuando sobre a tela, isto é, movimentando nesta o pistão. Neste último caso o cálculo das diversas variáveis, como por exemplo a troca de energia, é atualizado na tela em tempo real.

Escolhido o sistema e o processo, ou conjunto de processos pelos quais passa o sistema o usuário pode acompanhar a análise dos mesmos por diagramas *Temperatura x Volume* e/ou *Pressão x Volume*.

O PROCTER foi projetado para servir como um módulo adicional a outro programa didático denominado PRODITER (Villani, 1997) que calcula propriedades termodinâmicas de várias substâncias puras na região de saturação, de vapor superaquecido, e de líquido comprimido. Este módulo inicial foi completado para englobar novas substâncias e para tratar a região de gás perfeito, tendo sido então modificado a fim de funcionar como base do PROCTER. No estudo aqui apresentado descrevemos pois a construção e a utilização deste módulo PROCTER, uma unidade com entradas e saídas independentes, que utiliza alguns recursos da unidade de determinação de propriedades do PRODITER.

2. CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA

O PROCTER foi desenvolvido em linguagem Delphi 4.0, uma plataforma gráfica para o "Microsoft Windows", que permite fácil interação do usuário com o programa e boa visualização dos resultados que adquirem, neste caso, um aspecto mais profissional. O programa é um algoritmo com uma interface “amigável”, isto é, interage facilmente com o usuário por meio de comandos simples e similares aos dos programas mais usuais para microcomputadores, como por exemplo os da empresa Microsoft. Sendo o Delphi 4 um *software* de uso relativamente restrito, a desvantagem de se fornecer ao usuário-aluno um produto final que é um programa executável, e portanto sem possibilidade de alterações, tem sido compensada tanto pela simplicidade de utilização como pela velocidade de processamento, conseqüências diretas da escolha do Delphi 4. Como configuração mínima para o computador recomenda-se o processador típico de um PC 486 de 100 MHz e 8 Mb de memória RAM.

2.1 Objetivos

O PROCTER tem por finalidade servir como uma ferramenta didática adicional em cursos básicos de termodinâmica. Neste contexto o programa leva o aluno a adquirir rápida vivência na análise de sistemas simples pela facilidade de simulação de casos diferentes através do computador. Assim sendo o programa mostra-se como um recurso extra também em aulas de laboratório onde problemas semelhantes aos tratados em sala, mas com substâncias ou estados diferentes, podem ser igualmente estudados.

O PROCTER foi concebido como um módulo aplicativo de outro programa, o PRODITER (Villani, 1997), uma ferramenta computacional com finalidades educacionais, que permite ao usuário a manipulação de ciclos e o cálculo de propriedades termodinâmicas de várias substâncias puras. Este programa utiliza as equações de estado de Lee-Kesler (1975) e suas variantes. A unidade de cálculo de propriedades do PRODITER, que varre as regiões de saturação, líquido comprimido e vapor superaquecido de algumas substâncias, permite também ao usuário a construção de tabelas e diagramas. A fim de melhor adaptá-lo ao PROCTER este *software* foi modificado de maneira a incluir substâncias com comportamento de gás perfeito e a torná-lo mais transparente ao usuário.

2.1 Processos básicos

O módulo PROCTER se propõe a analisar, com base na primeira lei da Termodinâmica, a evolução de sistemas térmicos em recipientes do tipo cilindro-pistão sujeitos a vínculos diversos em processos de quase-equilíbrio. Nestas condições, o trabalho realizado (ou fornecido) ao sistema durante o processo é calculado por (Moran & Shapiro, 1988):

$${}_1W_2 = \int_1^2 p dV \quad (1)$$

onde p é a pressão que age no sistema, V o volume correspondente e os índices 1 e 2 referem-se aos estados inicial e final.

A transferência de calor através da fronteira do sistema pode então ser calculada pela primeira lei da Termodinâmica, que neste caso se escreve:

$${}_1Q_2 = E_2 - E_1 + {}_1W_2 \quad (2)$$

onde E é a energia total do sistema.

Desprezando as variações de energia cinética e potencial obtemos então (Van Wylen *et al.*, 1998) nos casos estudados:

$${}_1Q_2 = m(u_2 - u_1) + {}_1W_2 \quad (3)$$

onde m é massa do sistema, e u sua energia interna por unidade de massa.

Configurações. As Equações (1) e (3) descrevem o comportamento do sistema nos casos tratados pelo PROCTER que correspondem às configurações ilustradas na Fig. 1, tela de entrada do programa, e que são:

- conjunto cilindro/pistão livre, isto é, processo de equilíbrio à pressão constante, sem delimitadores de curso,
- conjunto cilindro/pistão com suporte inferior, superior ou ambos,
- conjunto cilindro/pistão/mola, onde o sistema está sujeito em cada instante a um processo onde a pressão varia linearmente com o volume.

- Conjunto pistão/controle, onde o usuário “movimenta” o pistão sobre a tela por meio do cursor e acompanha em tempo real a atualização das variáveis calculadas pelo programa.

Sistemas. Com relação aos sistemas estudados, o programa considera os casos de substâncias puras tanto na região de saturação, de líquido comprimido e de vapor superaquecido, como também na forma de gases perfeitos. São tratadas pois substâncias como água, os hidrocarbonetos mais comuns, alguns refrigerantes halogenados, ar na ausência de mudança de fase e outros gases facilmente encontrados na natureza.

2.2 Estrutura do programa

A estrutura do programa está baseada em unidades que interagem com o módulo de cálculo de propriedades do PRODITER. Este módulo foi modificado a fim de incorporar o estudo dos gases perfeitos e tornar a determinação das propriedades transparente ao usuário.

O módulo de entrada do PROCTER contém um menu gráfico onde o usuário pode escolher, qual configuração deseja estudar. *Caixas de diálogo* permitem que o estudante escolha a substância e relacione os dados de entrada correspondentes, que o programa transfere ao módulo de cálculo de propriedades. Mensagem de erro é enviada ao usuário no caso em que as propriedades fornecidas ao programa não sejam independentes. Rotinas de cálculo analisam o processo através das Eqs. (1) e (3) e transferem o resultado para o módulo de saída que, por sua vez, contém rotinas gráficas responsáveis pelo traçado, na tela, dos diagramas *Pressão x Volume* ou *Temperatura x Volume*, e sobre eles a curva representativa do processo, ou seqüência de processos.

Um módulo adicional analisa o processo termodinâmico no caso do usuário preferir definir o estado final do sistema atuando sobre a tela por meio do cursor, isto é variando a altura final do sistema no cilindro. A interação com o usuário é feita através de uma “barra de rolagem” controlada pelo programa através do ajuste de uma variável. Cada mudança nesta barra ocasiona nova série de cálculos e atualização dos gráficos em tempo real sobre a tela.

3. FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA

A seguir apresentamos exemplos ilustrativos gerados pelo programa PROCTER.

A Fig. 1 mostra a tela de entrada no programa, onde o usuário escolhe, por movimentação do cursor, a configuração desejada.

Selecionada a configuração apresentam-se ao usuário telas de estudo, nas quais são digitados os dados de entrada requeridos pelo programa e escolhida a substância que irá compor o sistema. Um exemplo de uma destas telas, mostrando a “*Caixa de Diálogo*” de escolha de substância, está reproduzido na Fig. 2. A opção por gás perfeito leva a outra “*Caixa de Diálogo*”, para a seleção do gás escolhido.

A Fig. 3, por sua vez, mostra uma tela de entrada de dados.

Na tela correspondente à Fig. 3, se o usuário optar por fornecer duas propriedades para definir o estado inicial, usará o botão “2 Prop”. No caso em que o estudante decidir por uma única propriedade, o PROCTER requer que se forneçam dados sobre o pistão (botão “Pistão + 1 Prop”) a fim de determinar a pressão no estado inicial. Em seguida, outros dados sobre o estado inicial são calculados pelo PROCTER e apresentados ao usuário em caixa sobre a tela como mostra a referida figura.

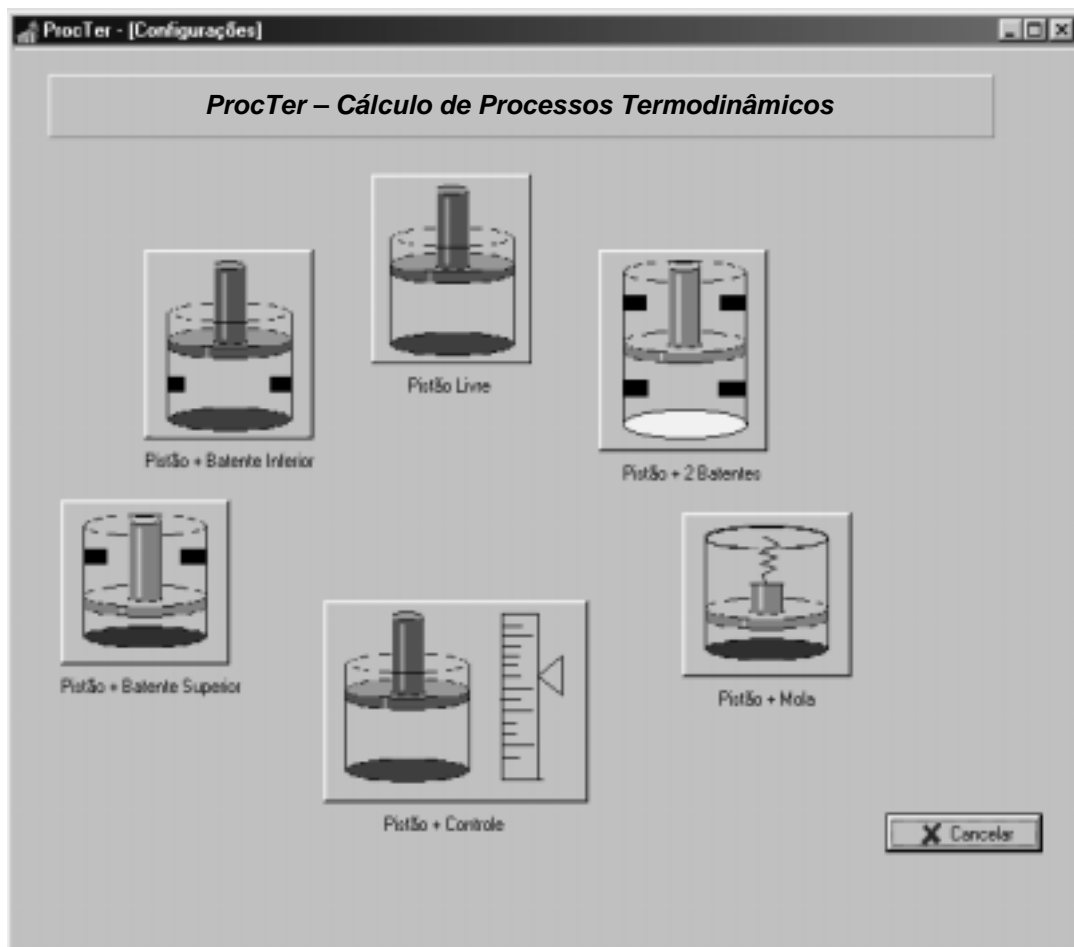


Figura 1 – Tela de entrada do PROCTER

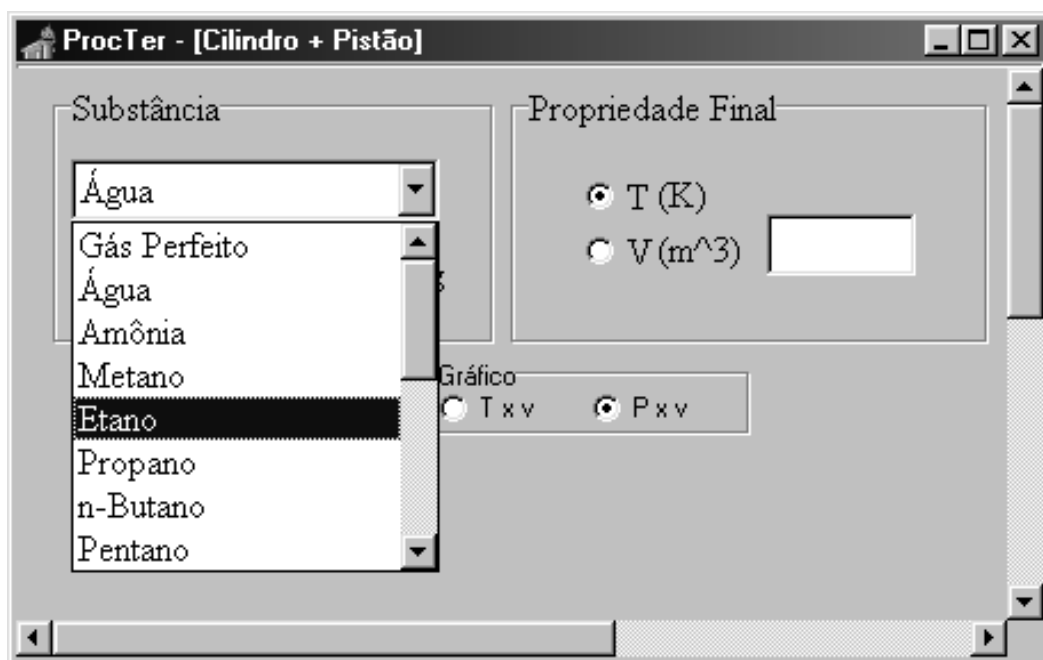


Figura 2 – Tela para escolha de substância

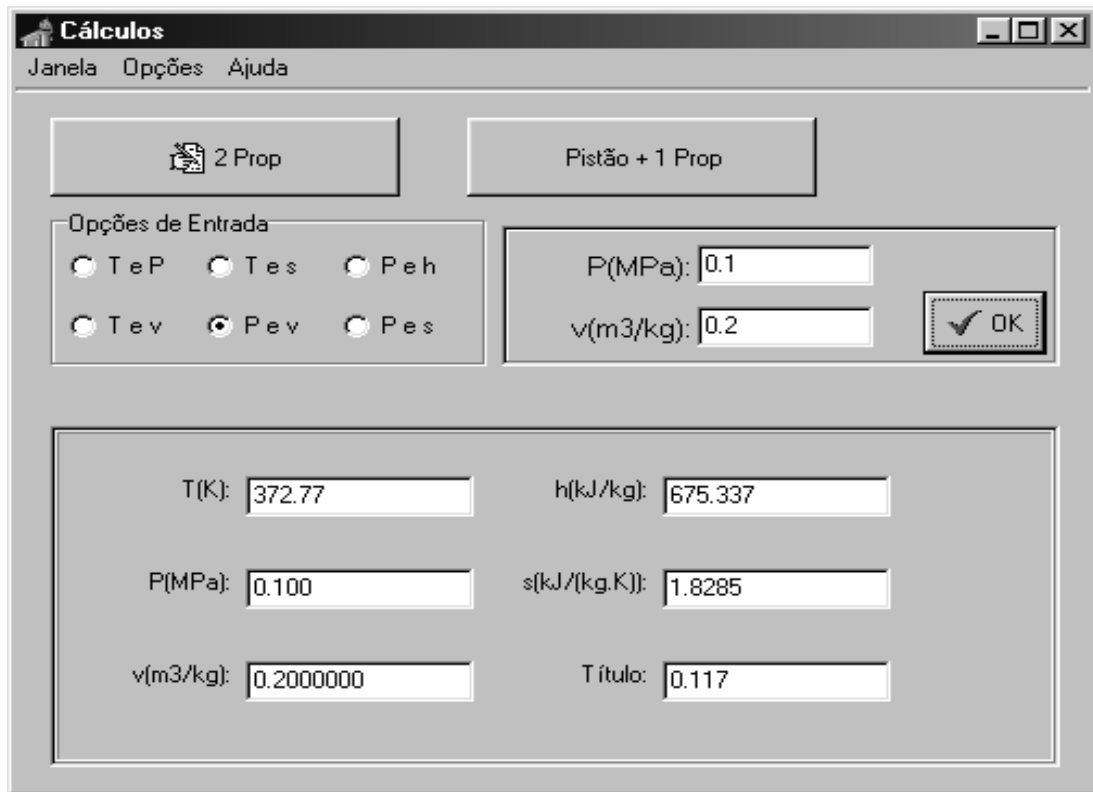


Figura 3- Tela de entrada de dados

Resultados da análise de caso típico de um processo com múltiplos estágios, isto é, processos em que vínculos diferentes (pressão constante, volume constante, etc.) estão presentes em etapas distintas do movimento do sistema, estão descritos na Fig. 4.

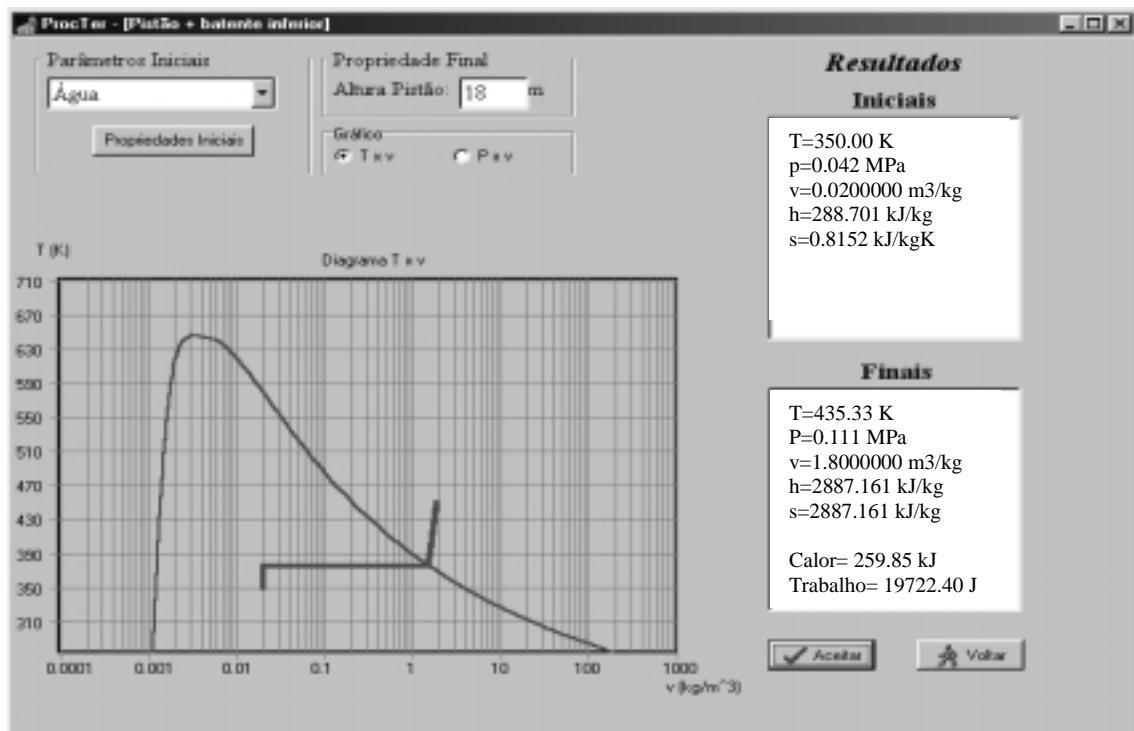


Figura 4 – Resultados referentes a caso com múltiplos estágios

Finalmente, a Fig. 5 mostra um exemplo referente à configuração em que se deseja alterar o volume do sistema no estado final movimentando-se uma barra de rolagem sobre a tela.

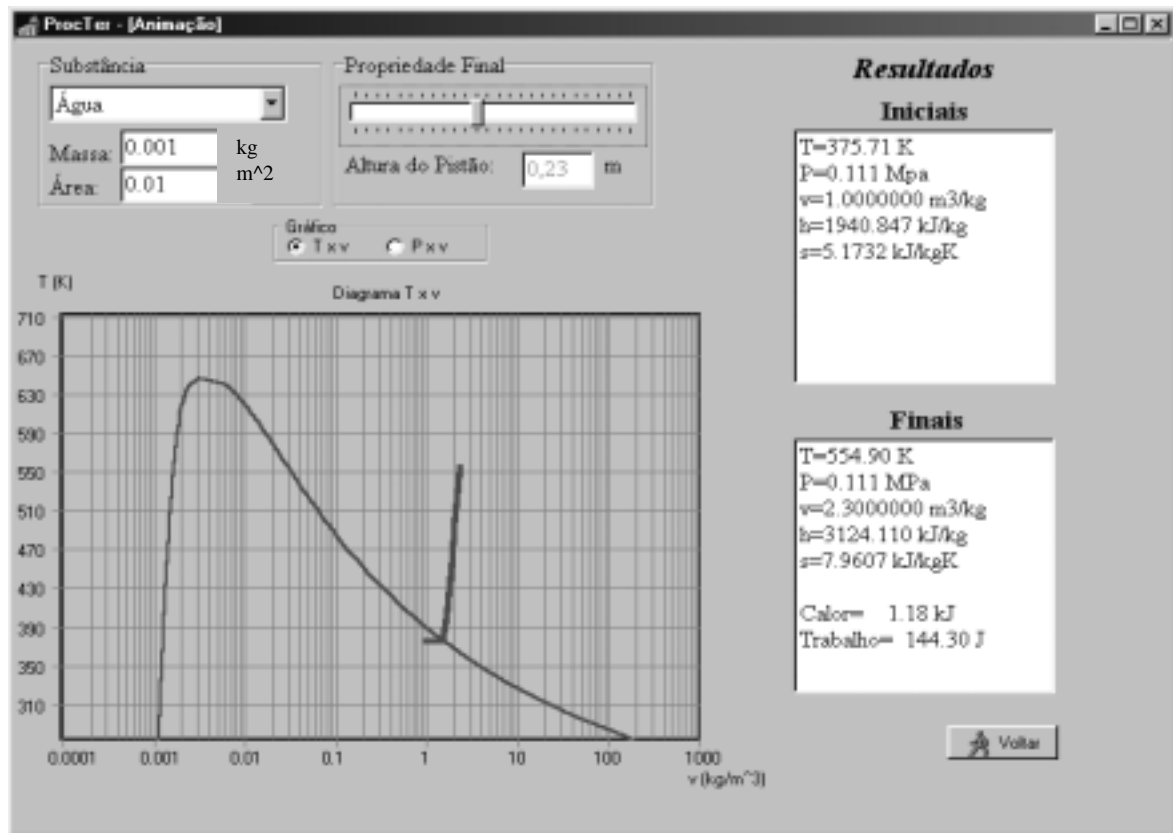


Figura 5 – Resultados para o caso pistão/controle

No exemplo da Fig. 5 tratou-se do caso de água contida num recipiente cilíndrico podendo o pistão deslocar-se em curso livre. A sucessão de estados é definida pelo usuário sobre a tela a partir da variação da posição do pistão no reservatório. Nestas condições o programa atualiza os dados referentes ao estado final, na caixa correspondente, em tempo real.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho descreve a construção e funcionamento de um programa educacional para ser utilizado como um recurso didático auxiliar em aulas teóricas e de laboratório de Termodinâmica. O programa foi desenvolvido a partir de plataforma gráfica de amplos recursos visuais e permite ao aluno adquirir rápida familiarização com diferentes processos térmicos que ocorrem em sistemas simples. Além disto pode-se dizer que o programa apresenta uma interface “amigável”, que interage facilmente com o usuário por meio de comandos simples e similares aos dos programas mais usuais para microcomputadores. A possibilidade de simular processos idênticos em sistemas diversos facilita a compreensão de conceitos desenvolvidos em aulas práticas e possibilita acelerar o ritmo de aprendizado.

Agradecimentos

Este trabalho recebeu suporte financeiro do CNPq, através de bolsa de estudos de Iniciação Científica

REFERÊNCIAS

- Hernandez Neto, A., Tribess, A., Fiorelli, F.A S., 1998, The laboratory as a tool for learning thermodynamics, heat transfer and thermal systems, Proceedings International Congress on Engineering Education, ICEE 98, Rio de Janeiro, em CdRom.
- Lee, B.I. & Kesler, M.; 1975, A generalized thermodynamic correlation based on three-parameter corresponding state, AIChE Journal, vol. 21 n. 3, pp.510-527.
- Maliska, C.R., Dihlmann A., Ambrósio, V.S., Reis, M.V.F., Maliska Jr., C.R., 1999, Heat conduction teaching, Heat Transfer 1.1 software + new course program, Proceedings. Brazilian Congress of Mechanical Engineering, COBEM 99, Águas de Lindóia, em CdRom.
- Moran, M.J., Shapiro, H.N., 1988, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, John Wiley & Sons, Inc., N.York.
- Villani, E.; 1997, Programa Computacional Didático de Termodinâmica, PRODITER-II, Trabalho de Formatura; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Van Wylen, G., Sonntag, R., Borgnakke, C., 1998, Fundamentos de Termodinâmica Clássica, Editora Edgard Blücher Ltda., S. Paulo.

DEVELOPMENT OF A THERMAL SYSTEMS ANALYSIS PROGRAM

Abstract. *This work deals with the development of an educational software to be used as additional tool to Thermodynamics experimental and theoretical courses. In addition, it is designed to help students to visualize, through graphics, thermodynamic processes occurring in simple systems as well to calculate energy exchanges in these processes. The program, named PROCTER, Thermal Systems Analysis Program, was implemented as an analysis unit to another educational software, PRODITER, the Thermodynamics Educational Program (Villani, 1997). The unit PROCTER treats only thermal systems following the definition of “simple compressible pure substances”. Consequently, the term “systems” refers here to substances behaving as perfect gases (air in absence of phase change, Ni, He etc.) and other pure substances (water, R-22, R12, ammonia ,etc). The studied processes correspond to possible evolutions of moving boundary system configurations in tanks fitted with pistons, stops, springs. The user can choose among several options. The program also presents a case where the student defines the thermodynamic final state by means of acting on the screen, that is, by moving the piston on the computer monitor screen. In this situation calculations are updated on screen in real time.*

Keywords: *Educational software, Thermodynamic properties, Thermal systems.*