



UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE EES NO AUXÍLIO AO DESENVOLVIMENTO DE TRABALHOS ACADÊMICOS E DE PROJETOS DE P&D

Alexandre Marcial da Silva – alexandre.marcial@green.pucminas.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Green – Grupo de Estudos em Energia
Av. Dom José Gaspar, 500 Prédio 50

CEP 30535-610 – Belo Horizonte – Minas Gerais

Elviro Pereira Barbosa Júnior – juniorelviro@gmail.com

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Green – Grupo de Estudos em Energia

Wilson Braga Júnior – wbj99@yahoo.com.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Green – Grupo de Estudos em Energia

***Resumo:** Este trabalho apresenta alguns exemplos de aplicação do software EES (Engineering Equation Solver) como ferramenta de ensino em auxílio ao professor no desenvolvimento de questões de provas, ao aluno no desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e na elaboração de simulações em projetos de P&D. Tal ferramenta demonstra melhorar o interesse e o entendimento do aluno em processos termodinâmicos para sistemas de geração de potência através da automatização das rotinas de cálculo e ambiente visual amigável. Como resultado, observou-se uma maior facilidade de realizar análises de sensibilidade das variáveis de projeto, de visualização do comportamento das funções de transferência através de gráficos e de determinação de limites operacionais para o dimensionamento do sistema.*

***Palavras-chave:** Software, Ferramenta de Ensino, Ciências Térmicas.*



1 INTRODUÇÃO

O uso de informática no ensino se apresenta como uma ferramenta cada vez mais presente principalmente na área de engenharia. A partir das dificuldades observadas no ensino de termodinâmica, que muitas vezes apresentam análises com atividades morosas e repetitivas, julga-se importante buscar formas de amenizar essa tarefa em busca do conhecimento, deixando o assunto mais atraente e acessível.

Com base nestas constatações, a busca por softwares que apresentem potencial de automatização de uma seqüência de cálculos é uma tarefa de relevância considerável, pois está diretamente relacionada ao bom entendimento e fixação dos assuntos abordados.

Como evidência da real aplicabilidade do EES apresenta-se neste trabalho, aplicativos desenvolvidos neste software para auxílio ao professor, tanto na elaboração de questões de provas, quanto na proposição de diferentes provas para cada aluno. Outro exemplo de aplicação do software, diz respeito ao auxílio no desenvolvimento de trabalhos acadêmicos para integração dos assuntos abordados em diferentes disciplinas. Para finalizar, é apresentado um exemplo de aplicação desta ferramenta computacional em projetos de pesquisa e desenvolvimento por pesquisadores e alunos de iniciação científica. Esse projeto foi possível através de uma parceria entre a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e a PUC - Minas (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais), desenvolvida no instituto de pesquisa GREEN (Grupo de Estudos em Energia).

2 OBJETIVO

O objetivo principal deste artigo consiste em incentivar a utilização de ferramentas computacionais amigáveis para automatização de rotinas de cálculo, auxiliando na modelagem de sistemas energéticos nos cursos de engenharia da PUC Minas e em projetos de P&D. Dado o potencial de aplicação do software EES na área de Ciências Térmicas, pretende-se demonstrar as funcionalidades deste software aplicadas ao ensino da engenharia. Outro objetivo consiste em demonstrar exemplos práticos de aplicação desta ferramenta no auxílio ao professor, ao aluno e ao desenvolvimento projetos de P&D. Além disso, pretende-se estimular a criatividade dos alunos para elaboração dos seus próprios modelos, bem como demonstrar um ambiente visual que possa representar seus modelos de uma forma mais intuitiva.

3 POTENCIAL DO EES

3.1 Recursos do Software

O EES (Engineering Equation Solver) é um software desenvolvido pela empresa F-Chart Software voltado para a área de Ciências Térmicas. Seu grande diferencial em relação a outros softwares utilizados nessa área é seu banco de dados com propriedades termodinâmicas para diversos fluidos.

A programação no software permite a realização de balanços de massa e energia dos sistemas, além da possibilidade de resolução de equações que contenham até mesmo variáveis implícitas, não importando a seqüência de entrada de dados. Possui uma interface gráfica amigável que pode conter o diagrama esquemático da instalação (Figura 1), ou mesmo uma foto do equipamento. Nesta interface, poderão estar convenientemente localizadas, as

principais variáveis de entrada e de saída do sistema, cujos valores são atualizados na tela a cada vez que o programa é executado.

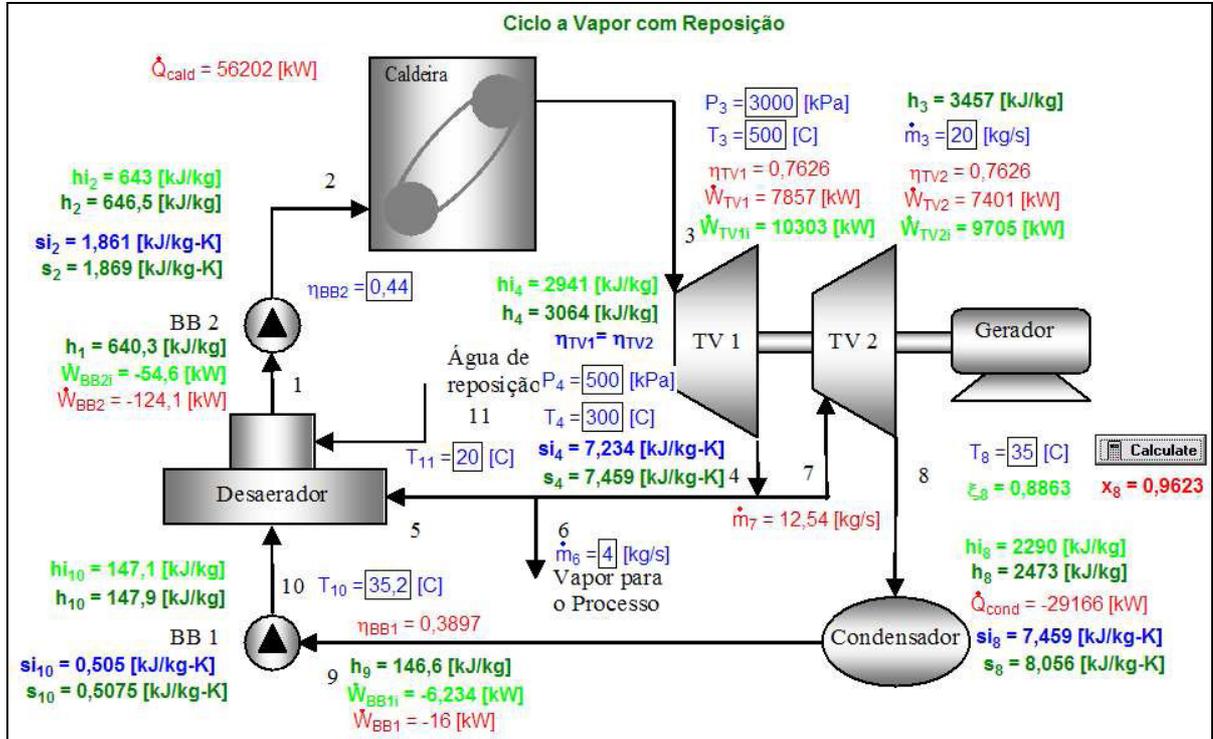


Figura 1 – Diagrama esquemático gerado em ambiente EES.

Todos esses recursos são apresentados pelo EES de maneira intuitiva e simples, de forma que não é necessário um estudo aprofundado de sua lógica de programação para uma primeira utilização. A modelagem do sistema utiliza como base as próprias equações envolvidas no fenômeno de maneira não muito diferente da linguagem matemática usual (Figura 2).

Seu banco de dados contém as propriedades termodinâmicas de diversos fluidos que, para definição do estado físico e das demais propriedades do fluido, necessita de duas propriedades termodinâmicas independentes. Essa automatização é de grande utilidade quando se trata de transformações termodinâmicas, pois normalmente é necessária a utilização de diversas tabelas e ábacos, o que consome tempo e algum trabalho.

A vantagem do uso de tabelas automatizadas mostra-se importante quando se pretende realizar diferentes simulações a partir da mesma configuração como, por exemplo, estudar o comportamento do sistema quando alguma das variáveis sofre alguma alteração.

Na figura 3 demonstra-se uma matriz contendo algumas variáveis indexadas, utilizadas para representar as propriedades termodinâmicas em estudo. Nesta tabela de matrizes é possível observar a variação das propriedades para cada estado do processo, podendo, por exemplo, identificar impossibilidades termodinâmicas.

O comportamento do processo pode ser melhor visualizado de forma gráfica, como visto na figura 4. Tais pontos traçados são dinâmicos e mudam no gráfico de acordo com os valores destes pontos.

```

EES Equations Window

"! Cálculo de Ciclo a Vapor"

"A caldeira de uma planta de cogeração produz 20 kg/s de vapor de água a 3 MPa e 500 C..."
|
"Dados de entrada automática"

{P[3]= 3000                                "[ kPa]"
T[3]= 500                                  "[ °C]"
m_dot_3= 20                                "[ kg/s]"
T[8]= 35                                   "[ °C]"}
{anterior - x[8]= 0,9                      " Título na Saída"}
Eta_TV1=Eta_TV2                           " Eficiência isentrópica das Turbinas"
{P[4]= 500                                  "[ kPa]"
T[4]= 300                                  "[ °C]"
m_dot_6= 4                                  "[ kg/s]"
T[11]= 20                                  "[ °C]"
T[10]= 35,2                                "[ °C]"
Eta_BB2= 0,44                              " Eficiência isentrópica da Bomba"}

m_dot_1=m_dot_3
m_dot_2=m_dot_3
m_dot_4=m_dot_3
"! Balanço de Massa"
m_dot_5+m_dot_6+m_dot_7=m_dot_4 "(primeira equação)"
m_dot_7=m_dot_8
m_dot_8=m_dot_9
m_dot_9=m_dot_10
m_dot_11=m_dot_6

"! Balanço de energia"

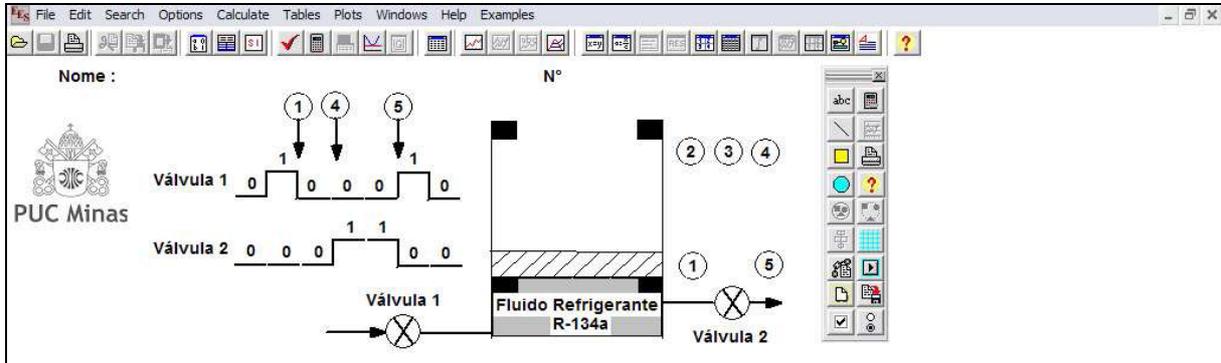
m_dot_10*h[10]+m_dot_5*h[5]+m_dot_11*h[11]=m_dot_1*h[1] "(segunda equação)"

```

Figura 2 – Formatação de equações no EES.

Sort	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	P _i [kPa]	T _i [C]	T _i [C]	h _i [kJ/kg]	h _i [kJ/kg]	s _i [kJ/kg-K]	s _i [kJ/kg-K]	x _i	ξ _i
[1]	500	151,8		640,3		1,861		0	
[2]	3000	152,9	152,1	646,5	643	1,869	1,861		
[3]	3000	500		3457		7,234			
[4]	500	300	241	3064	2941	7,459	7,234		
[5]	500	300		3064		7,459			
[6]	500	300		3064		7,459			
[7]	500	300		3064		7,459			
[8]	5,627	35	35	2473	2290	8,056	7,459	0,9623	0,8863
[9]	5,627	35		146,6		0,505		0	
[10]	500	35,2	35,01	147,9	147,1	0,5075	0,505		
[11]	500	20		84,3		0,2961			

Figura 3 – Matriz do EES com algumas variáveis indexadas.



PRIMEIRA AVALIAÇÃO DE TERMODINÂMICA DO 2º SEMESTRE 2005 data: 04/10/2005

TURMA: Mecânica Noturno

Prof. Alexandre Marcial da Silva Valor da Avaliação = 25 pontos

Um arranjo vertical cilindro-pistão é carregado através da válvula 1 com R-134a até completar 5*N kg de R-134a a 5° C, carga esta que faz com que o pistão fique levemente encostado nos batentes inferiores. Calor é transferido para o sistema causando elevação do pistão até que o mesmo encoste nos batentes superiores, posição na qual o volume é o triplo do volume inicial. Calor adicional é transferido até que a temperatura e a pressão do R-134a atinja 50° C e 1,2 MPa respectivamente. Neste ponto, a válvula 2 é aberta em um processo isotérmico até o final do ciclo, quando a pressão deve retonar à pressão inicial, quando o novo ciclo recomeça.

- Identifique e classifique a área de interesse.
- Preencha o quadro de propriedades. Apresente todos os cálculos, limites de interpolação usados, justificando as hipóteses feitas no desenvolvimento do problema.
- Escreva a equação geral da primeira Lei da TD para cada processo, identificando-os (Proc. 1-2= Proc. 2-3= Proc. 3-4= Proc. 4-5= e simplifique os termos.
- Calcule as trocas energéticas para cada processo e total.
- Represente os processos no diagrama T-v e num diagrama P-V, identificando cada um dos estados com seus respectivos valores de Pressão, Temperatura e Volume.
- Forneça o estado termodinâmico do refrigerante liberado pela válvula 2 em termos de temperatura, pressão, volume específico e massa.

Estado	P [kPa]	T [°C]	Título [%]	Vol. Espec. [m³/kg]	Ene. Interna [m³/kg]	Classificação
1
2
3
4
5

Figura 5 – Exemplo de aplicação do EES na proposição de avaliações.

3.3 Auxílio processo de aprendizagem

Nesta vertente, o EES pode ser utilizado de forma a organizar as informações dentro de uma seqüência lógica, permitindo ao aluno uma visão mais clara dos fenômenos envolvidos em cada aplicação específica. Primeiramente, é dado um treinamento básico na linguagem, que se aproxima bastante da linguagem matemática, diferenciando-se apenas em algumas funções específicas e na apresentação da interface gráfica. A intenção é que o aluno possa aprender a utilizar o software desenvolvendo exercícios e seus próprios trabalhos, auxiliado pelo professor.

Na PUC Minas, no curso de engenharia de energia, os alunos são incentivados a aplicar o software nos trabalhos acadêmicos integradores, de maneira que, durante o semestre, seja desenvolvida a capacidade de simular sistemas com o auxílio do programa.

Percebe-se uma boa aceitação por parte dos alunos, de forma que todas as vantagens e facilidades do software incentivam a simulação de sistemas também nas áreas de eficiência energética, centrais hidráulicas, centrais térmicas entre outras.

Um exemplo de trabalho desenvolvido por alunos do quinto período do curso de Engenharia de Energia da Puc Minas trata da simulação de um ciclo de potência a gás (Figura 6). Nesta simulação, foi possível avaliar o comportamento das máquinas térmicas envolvidas em termos de faixas de valores possíveis para cada variável. Com o uso da interface gráfica foi possível a manipulação de variáveis de entrada para realizar várias simulações e assim possibilitar diferentes análises do ciclo em questão. Outras funcionalidades utilizadas consistiram em apresentar resultados diretos na tela, de forma clara e sistêmica, além de gráficos que descrevem o comportamento das variáveis de saída.

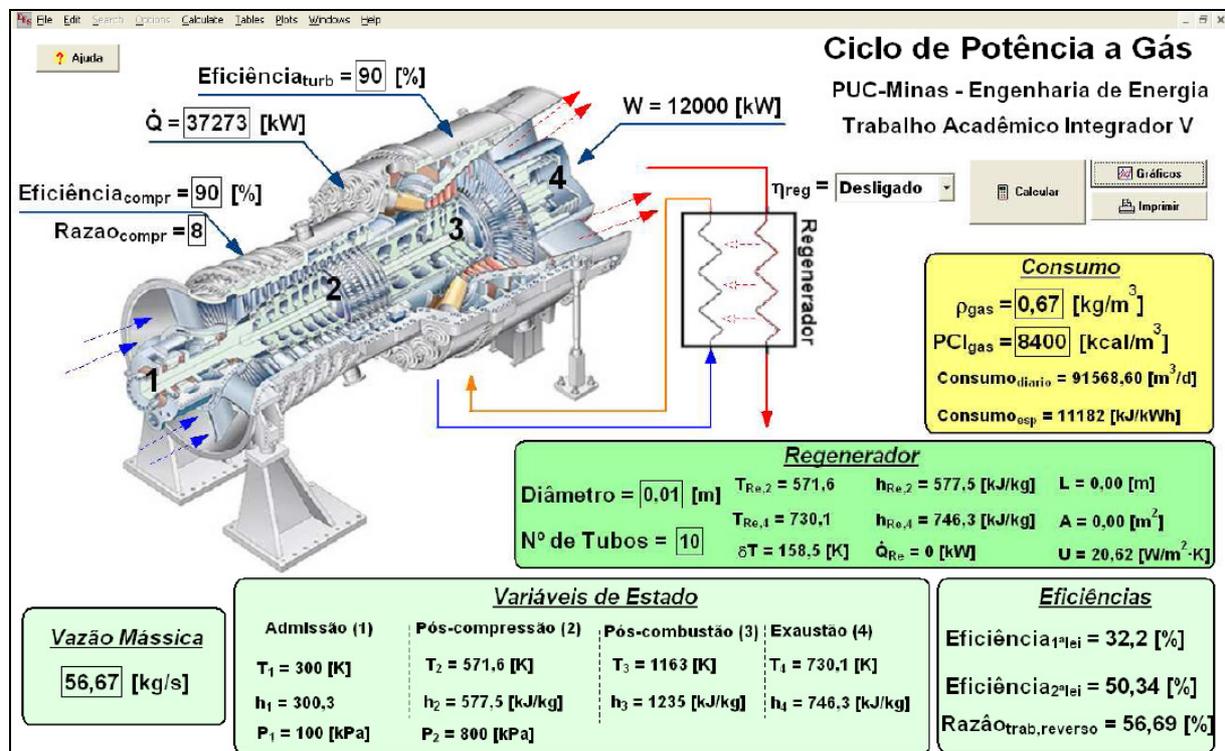


Figura 6 – Exemplo de aplicação do EES em trabalhos acadêmicos.

O programa desenvolvido pelo aluno tem como dados de entrada a vazão mássica de ar, a razão de compressão, as eficiências do compressor e da turbina e a quantidade de calor fornecida. De posse destes dados e das equações inseridas durante a modelagem, o programa fornece as temperaturas e pressões dos diversos estágios, a eficiência do ciclo de Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica, razão de trabalho reverso, além do consumo específico de combustível. Com tais dados foi possível dimensionar os parâmetros da máquina a gás para atendimento da demanda pretendida e ainda realizar análise de sensibilidade para outros valores de demanda, bem como determinar dos limites operacionais de cada simulação.



3.4 Dinamização do desenvolvimento de projetos de P&D

No projeto P&D 185, financiado pela CEMIG GT, “Geração Termelétrica Descentralizada para o Setor Siderúrgico”, os objetivos foram o levantamento do cenário energético do setor siderúrgico mineiro, a confecção de um mapa georeferenciado do setor siderúrgico, com a localização de cada uma das empresas de siderurgia mineiras, análise energética e exérgica de Usinas Termelétricas, e o correspondente potencial de geração termelétrica utilizando como combustível, gases residuais de alto-forno destas empresas.

Neste projeto, a utilização deste software foi essencial para a organização, análise e apresentação das informações de interesse.

Para a apresentação do cenário energético do setor siderúrgico mineiro, foram geradas diversas telas contendo tabelas e gráficos do setor, tanto em nível de região, quanto em nível de empresa.

No mapa georeferenciado (Figura 6), diversas funções foram criadas para a análise e totalização dos dados por região e por empresa. Além disso, o software permitiu a criação de links, possibilitando uma navegação entre tabelas, fotos e informações específicas para cada uma das empresas.

Para a análise energética e exérgica da usina termelétrica, foram confeccionadas diversas rotinas de cálculo para a determinação do poder calorífico dos combustíveis e para a modelagem termodinâmica do ciclo de potência.

No que diz respeito ao potencial de geração termelétrica de cada empresa siderúrgica, o programa permite selecionar, através de janelas *popup-up*, cada uma das empresas para uma análise individual, tomando-se por base os dados de capacidade mensal de produção de ferro gusa de cada empresa.

Tais informações são relevantes para o setor elétrico, pois permitem auxiliar no planejamento estratégico de geração elétrica por fontes não convencionais de geração de energia, ou seja, utilizando subprodutos energéticos da indústria. Admite-se como fonte convencional de geração de energia elétrica, o uso de usinas hidrelétricas e usinas termelétricas que utilizam combustíveis fósseis.

Os autores são responsáveis por garantir o direito de publicar todo o conteúdo de seu trabalho.

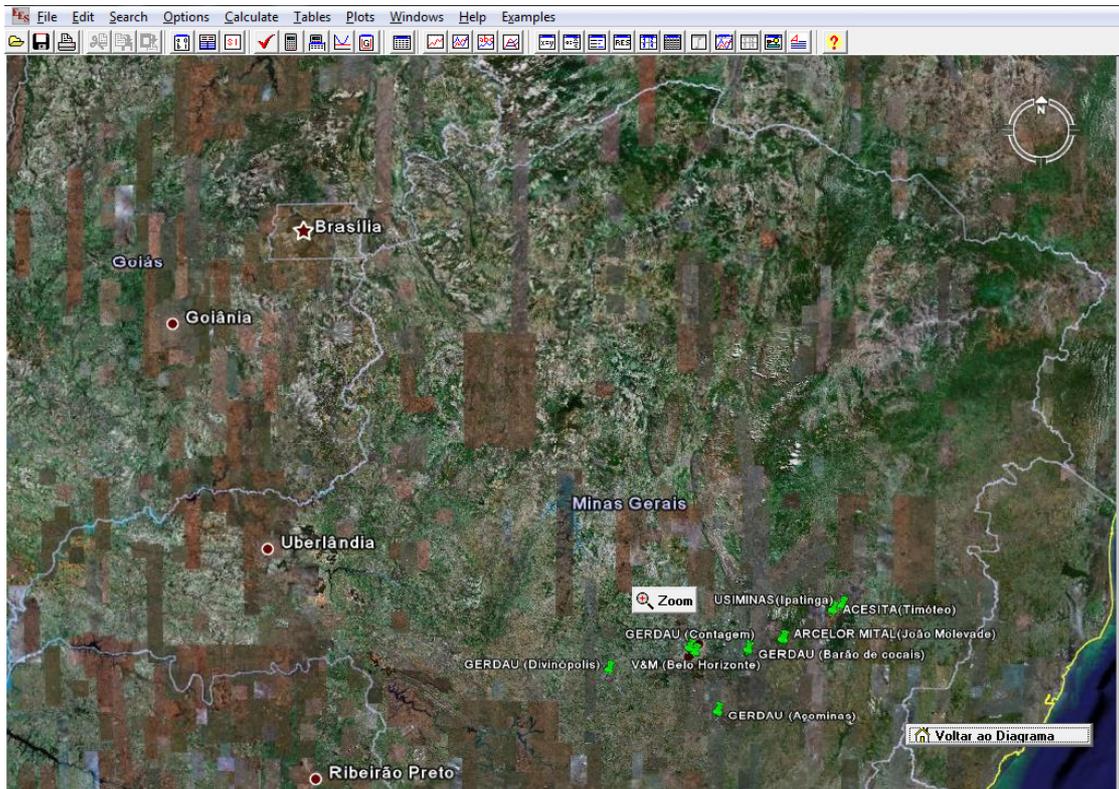
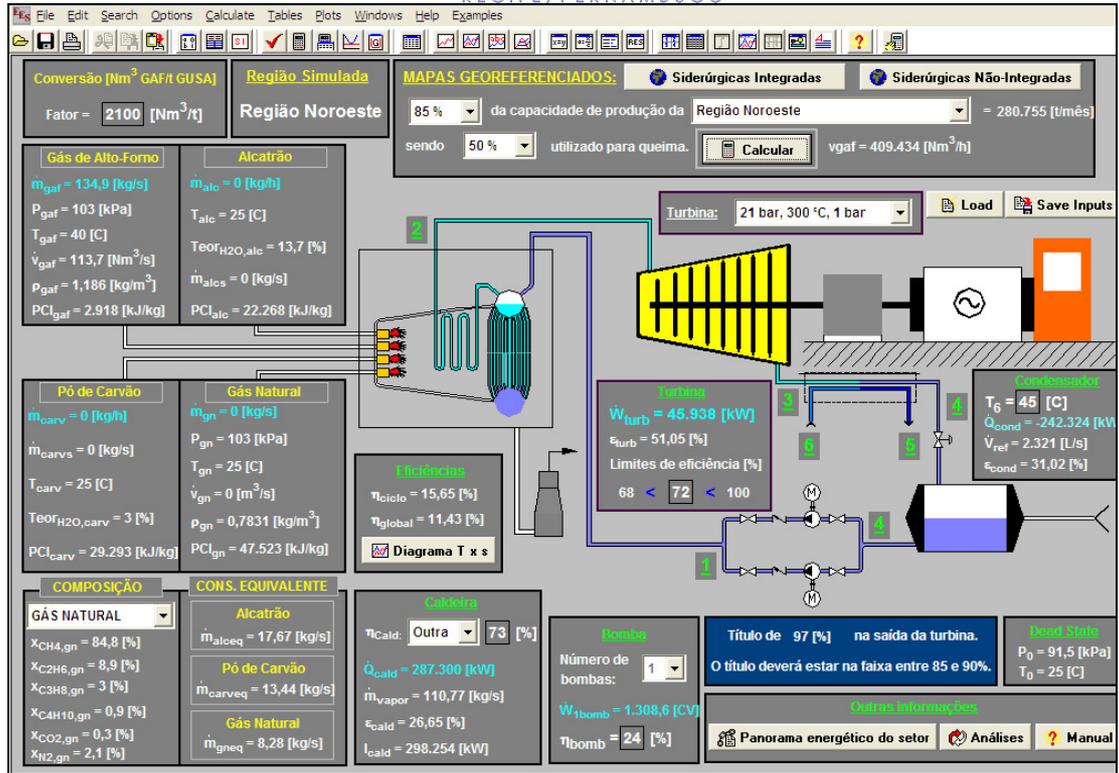


Figura 6 – Tela principal e Mapa Georeferenciado do projeto de P&D 185.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de softwares na melhoria do processo de ensino e aprendizagem é uma prática cada vez mais comum. Como demonstrado neste trabalho, o software EES é uma ferramenta com grande potencial neste sentido. Seu uso trouxe grandes benefícios, tanto para os alunos quanto para os professores, automatizando os cálculos, esquematizando problemas e integrando conhecimentos. Com este trabalho pretendeu-se mostrar essas potencialidades do software, de forma que outros que se interessarem possam também desfrutar delas.

As possibilidades de aproveitamento desta ferramenta não estão esgotadas, acredita-se que outras podem ser descobertas e aprimoradas, contribuindo tanto para educação quanto para o desenvolvimento científico e tecnológico.

Agradecimentos

Os resultados apresentados neste artigo contaram com o apoio financeiro da CEMIG GT, durante o desenvolvimento do projeto de P&D 185, “Geração Termelétrica Descentralizada para o Setor Siderúrgico” e também ao apoio laboratorial do GREEN (Grupo de Estudos em Energia) PUC Minas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

F-CHART SOFTWARE. Engineering Equation Solver (EES): Commercial and Professional Versions. Madison, EUA, 2005. 297p.

Li, Kam W. **Applied thermodynamics**: availability method and energy conversion. New York: Taylor & Francis, 1989.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (MG), **Uso de energia na indústria de ferro-gusa não integrada em Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1988.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (MG), **Potencial de autoprodução de energia elétrica no setor siderúrgico**. Belo Horizonte, 1989.

MACIEL, C. R. F. **Análise energética e exergetica de uma central termelétrica**. Belo Horizonte, 2004. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

RIGITANO, ANTONIO CARLOS. **Uma utilização do aplicativo Mathematica destinada ao cálculo de características geométricas de figuras planas para o ensino de teoria das estruturas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 2004, Brasília. **Anais...** Brasília: Universidade de Brasília, 2004.

PENTEADO, Maira; GUILLERMO, Oscar E. Patrón. **Tecnologias Interativas**: algumas considerações sobre a utilização de simulações no ensino de engenharia à distância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.



USING SOFTWARE EES TO AID IN DEVELOPMENT OF ACADEMIC WORK AND R&D PROJECTS

Abstract: *This paper presents some examples of application software EES (Engineering Equation Solver) as a tool to aid in teacher education in the development of issues of evidence, the development of student academic work and the development of simulations in the design of R&D. This tool demonstrates the interest and improve student understanding of the processes in thermodynamic systems for generation of power through the automation of routines for computing and visual environment friendly. As a result, there was a greater ease of analysis of sensitivity of design variables, displaying the behavior of the transfer functions through graphs and determination of operational limits for the sizing of the system.*

Key-words: *Software, Tools of Teaching, Thermal Sciences*