



## APLICATIVO COMPUTACIONAL EM *LABVIEW* PARA ENSINO DA TERMODINÂMICA: UMA ABORDAGEM SIMPLIFICADA PARA O CICLO *RANKINE*

**Matheus Carneiro Rocha** – [matheuscr.eng@hotmail.com](mailto:matheuscr.eng@hotmail.com)

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Av. Augusto Corrêa, 01, Guamá - Belém/PA  
66075-970 – Belém – PA

**Prof. Dr. Petronio Vieira Junior** – [pvieirajr@yahoo.com.br](mailto:pvieirajr@yahoo.com.br)

**Weldon Carlos Elias Teixeira** – [weldon.carlos@ifpa.edu.br](mailto:weldon.carlos@ifpa.edu.br)

Instituto Federal do Pará – IFPA, Eletrotécnica  
Folha 22, Quadra Especial - Lote Especial - Bairro: II Nova Marabá  
68508-970 – Marabá - Pará

**Resumo:** *A termodinâmica é aplicada no estudo da geração de energia baseada na queima de combustível. Uma das aplicações direta da termodinâmica é o Ciclo de Rankine, o qual determina uma relação entre a taxa de transferência de calor com o trabalho. O estudo do Ciclo de Rankine é convencionalmente apresentado aos alunos de engenharia através de leis físicas e tabelas, consolidando o aprendizado através de exercícios. Contudo, o emprego de inovações tecnológicas pode contribuir para melhorar este processo de aprendizagem. A ferramenta tecnológica empregada para esta inovação no estudo do Ciclo de Rankine é um aplicativo desenvolvido no LabVIEW que permite a elaboração de interfaces interativas eliminando a necessidade de consulta a tabelas. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um aplicativo computacional voltado para o ensino da termodinâmica aplicada ao Ciclo de Rankine real simplificado. O aplicativo calcula através de uma interface gráfica os parâmetros termodinâmicos encontrados usualmente nas plantas de potência a vapor, onde o estudante altera facilmente os valores do ciclo, obtendo automaticamente os valores nos diversos estados do ciclo, facilitando o aprendizado do ponto de vista didático. Este aplicativo complementa o estudo do Ciclo de Rankine, no sentido de desenvolver a sensibilidade numérica e aumento da capacidade de avaliação dos impactos decorridos na alteração de parâmetros de operação pertinentes ao ciclo.*

**Palavras-chaves:** *Termodinâmica, Ciclo de Rankine, Aplicativo Computacional.*

### 1. INTRODUÇÃO

Uma das principais dificuldades no ensino da termodinâmica é a necessidade de envolvimento de inúmeras tabelas nas soluções dos problemas, que desviam a atenção de aprendizagem para a solução matemática, ao invés de enfatizar o comportamento do sistema,



ou seja, os conceitos termodinâmicos. O *LabVIEW* permite agregar tabelas e equações para dinamizar as soluções no sentido de proporcionar melhor interatividade com os parâmetros do ciclo de *Rankine*, dispensando a consulta e interpolações tediosas em tabelas de vapor para obtenção das propriedades termodinâmicas.

O objetivo geral do trabalho é apresentar um aplicativo computacional desenvolvido em *LabVIEW*, com o intuito de propiciar aos estudantes ou usuários sensibilidade em relação aos valores de operação e seus parâmetros básicos empregados em planta simplificada de potência a vapor com base no ciclo *Rankine*.

Como parte do trabalho, o objetivo específico é reforçar os conteúdos da termodinâmica com enfoque no ciclo *Rankine* a vapor, aplicação importante na engenharia principalmente na geração de energia elétrica.

## 2. METODOLOGIA

Para a resolução de problemas envolvendo uma planta simplificada de potência a vapor, é necessário estudar um esquema adequado para melhor visualizar os locais onde ocorrem os principais fluxos de massa e energia, tanto na forma de calor como na forma de trabalho, e também identificar os locais onde devem ser caracterizadas as propriedades do vapor e do líquido saturado (condensado). A Figura 1 mostra o esquema de uma planta simplificada de potência a vapor.

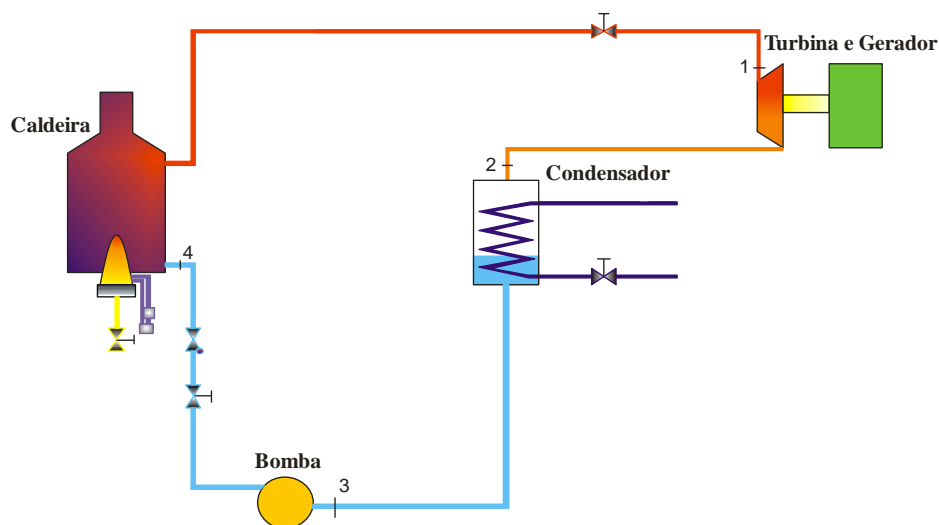


Figura 1 – Esquema simplificado de uma planta de potência a vapor.

No esquema da Figura 1 é possível visualizar quatro componentes básicos (caldeira, turbina/gerador, condensador e bomba), onde:

- **Ponto 1:** refere-se a entrada de vapor na turbina, neste caso, considerou-se que o vapor está superaquecido.
- **Ponto 2:** é caracterizado pela entrada de vapor no condensador em baixa pressão e temperatura em relação a entrada na turbina, uma vez que este transferiu energia para o eixo da turbina ao sofrer expansão.



- **Ponto 3:** o vapor ao na saída do condensador transformou-se em líquido saturado (condensado) em baixa pressão, este entra na linha de sucção da bomba.
- **Ponto 4:** o líquido saturado entra na caldeira a uma pressão maior do que a pressão de saída do vapor superaquecido, admi-se que a pressão de bombeamento é cerca de 1,5 vezes maior do que a pressão de vapor na entrada da turbina.

Uma vez entendido como uma planta simplificada de potência a vapor funciona, em relação ao fluxo mássico que atravessa cada componente do sistema em questão e os estados físicos em que se encontram, é necessário caracterizar o estado termodinâmico da água, ou seja, é preciso determinar em cada ponto de interesse enumerado, conforme a Figura 1, as propriedades termodinâmicas deste fluido de trabalho tais como: volume específico e entalpia.

Este esquema está inserido na tela principal do aplicativo com o objetivo de auxiliar no entendimento da dinâmica do sistema, como mostrado na Figura 2.

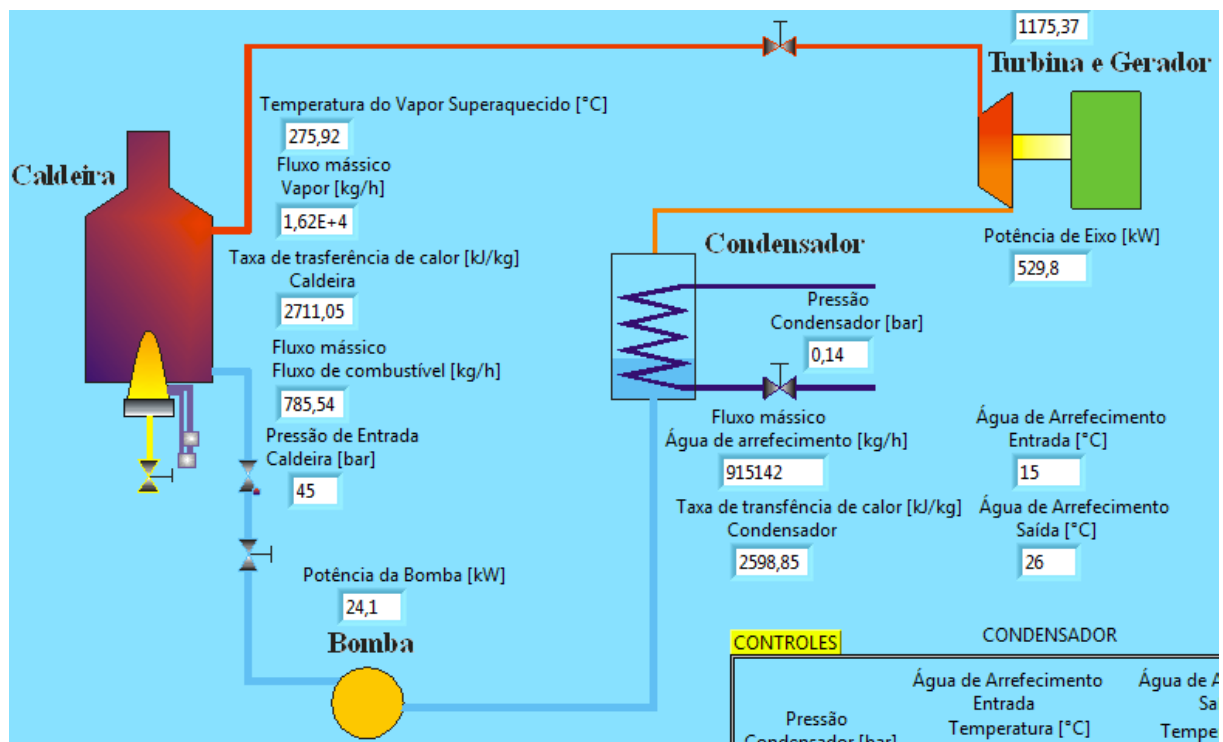


Figura 2 – Esquema do ciclo inserido na tela principal do aplicativo *TermalSoft*.

Com as ferramentas apropriadas do *LabVIEW* desenvolveu-se a programação de cálculos em diagramas de blocos com base nas equações apresentadas na Figura 3. Desenvolveu-se um banco de dados das tabelas de vapor saturado e superaquecido, Shapiro (2009), que facilita a localização das propriedades termodinâmicas, onde o usuário entra com os valores de temperatura e pressão e o programa retorna, rapidamente, os valores, como por exemplo, de entalpia e volume específico, são empregados nos cálculos de transferência de energia na forma de calor ou trabalho.



### 3. EQUAÇÕES BÁSICAS

O equacionamento utilizado no aplicativo é obtido de relações matemáticas da conservação da massa e da energia, desenvolvido para um volume de controle em regime permanente. A Equação (1) e a Equação (2), respectivamente, são enunciados matemáticos para a conservação dessas duas grandezas:

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \sum_e \dot{m}_e - \sum_s \dot{m}_s \quad (1)$$

Onde:

$\frac{dm_{vc}}{dt}$ : taxa temporal de variação da massa [kg/s]

$\dot{m}_e$ : taxa temporal de fluxo mássico na entrada e [kg/s]

$\dot{m}_s$ : taxa temporal de fluxo mássico na saída s [kg/s]

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_e \left( u_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \dot{m}_s \left( u_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) \quad (2)$$

Onde:

$\frac{dE_{vc}}{dt}$ : taxa de transferência de energia do volume de controle  $vc$  [kW]

$\dot{Q}$ : taxa líquida de transferência de calor [kW]

$\dot{W}$ : taxa líquida de trabalho [kW]

$u_e, u_s$ : energia interna na entrada e na saída [kJ/kg]

$V_e, V_s$ : velocidade de escoamento na entrada e na saída [m/s]

$g$ : aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>]

$z_e, z_s$ : altura na entrada e na saída em relação a um referencial [m]

No esquema apresentado na Figura 3 as equações empregadas no aplicativo estão localizadas próximas dos blocos que representam os componentes para transmitir a ideia de que, cada componente possui equação própria para quantificar uma determinada variável de interesse. As equações para calcular o fluxo mássico ( $\dot{m}_v$ ) e o fluxo de combustível ( $\dot{m}_c$ ) foram obtidas segundo Rendeiro (2008).

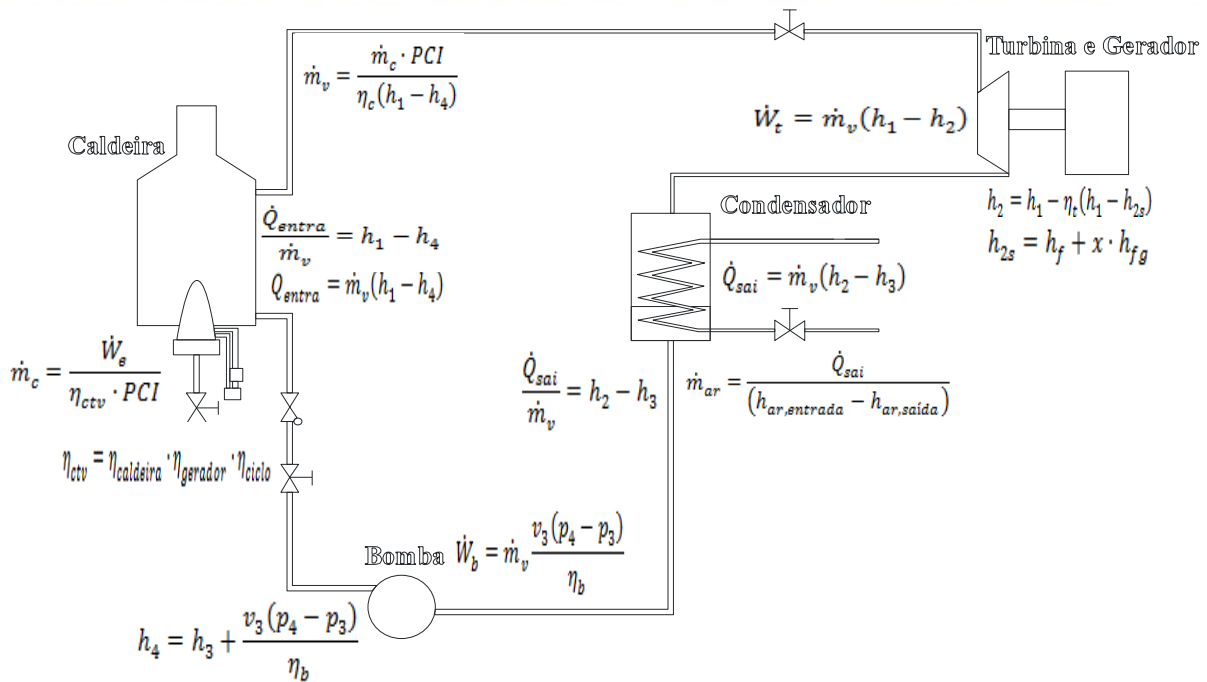


Figura 3 – Esquema dos componentes do ciclo com as equações empregadas no aplicativo.

#### 4. APLICATIVO EM LABVIEW

O aplicativo é composto por três telas: abertura, principal, e impressão. A tela de abertura é uma apresentação geral do aplicativo, conforme visualizado na Figura 4.



Figura 4 - Tela de abertura.





A tela principal, Figura 5, corresponde ao local onde o usuário interage com o aplicativo. Nesta tela são visualizados os controles dos valores numéricos de entrada, ajustados através de e botões quadros e barras de seleção, e os valores numéricos de saída, apresentados em terminais. A Tabela 1 apresenta a relação de parâmetros de entrada e de saída do programa. O usuário altera os valores numéricos de entrada nesses campos (painéis e botões). Depois dos valores e entrada alterados nos controles de entrada numéricos, os cálculos são realizados e os resultados (valores de saída) são exibidos instantaneamente nos terminais de saída numéricos, sem necessidade de reinicializar o programa. Assim, o usuário pode visualizar a mudança dos valores dos parâmetros do ciclo sem reiniciar a execução do aplicativo para gerar novos valores de entradas. A Figura 5 ilustra a tela principal.

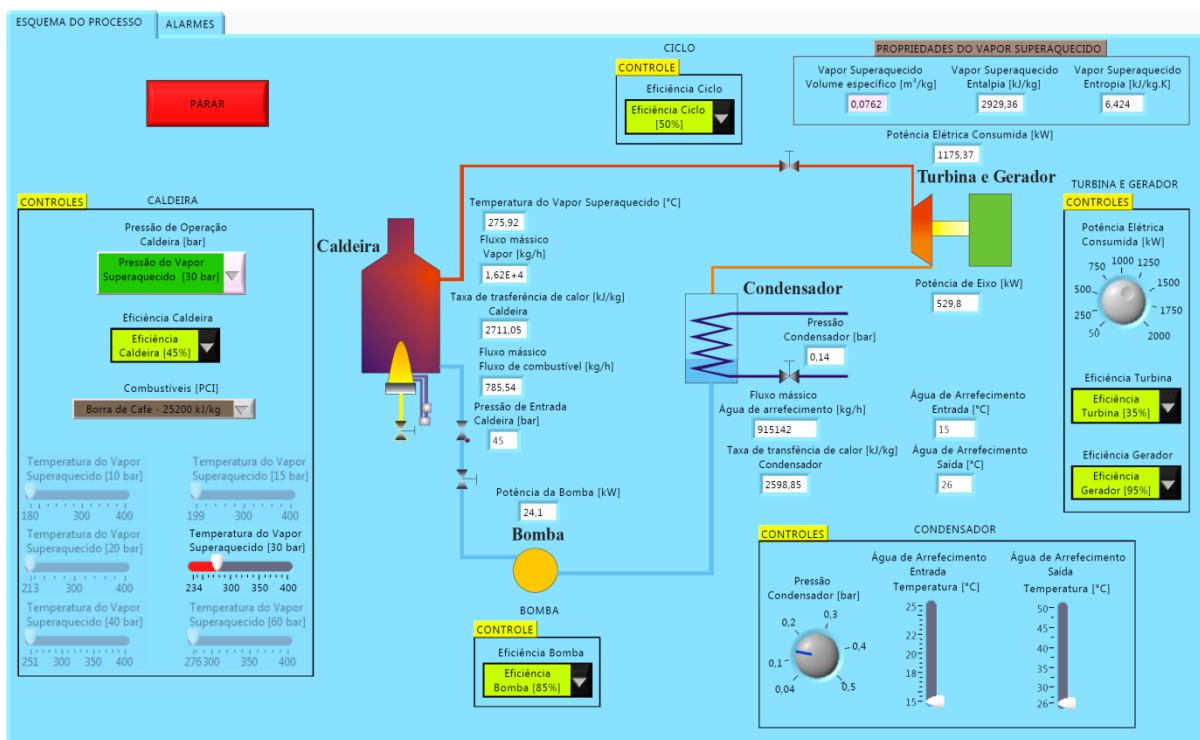


Figura 5 – Ilustração da Tela Principal do aplicativo *TermalSoft*

Tabela 1 - Parâmetros de entrada e de saída do aplicativo *TermalSoft*.

Variáveis de Entrada	Variáveis de saída	Variáveis de Entrada	Variáveis de saída
Pressão do vapor superaquecido	Fluxo mássico de vapor	Eficiência do gerador	Fluxo mássico de água de arrefecimento
Temperatura do vapor superaquecido	Taxa de transferência de calor (caldeira)	Pressão do condensador	Taxa de transferência de calor (condensador)
Eficiência da caldeira	Fluxo mássico de combustível	Temperatura de entrada da água de arrefecimento	Entalpia do vapor superaquecido
Combustível	Pressão de entrada na caldeira	Temperatura de saída da água de arrefecimento	Volume específico do vapor superaquecido
Potência elétrica consumida	Potência de eixo	Eficiência da bomba	Entropia do vapor superaquecido
Eficiência da turbina	Potência da bomba	Eficiência do ciclo	-



As propriedades do vapor superaquecido obtidas na temperatura e na pressão, respectivamente, de 180°C e 10 bar, são ilustradas na Figura 6.

PROPRIEDADES DO VAPOR SUPERAQUECIDO		
Vapor Superaquecido Volume específico [m <sup>3</sup> /kg]	Vapor Superaquecido Entalpia [kJ/kg]	Vapor Superaquecido Entropia [kJ/kg.K]
0,194	2778,32	6,587

Figura 6 – Propriedades do vapor superaquecido.

Caso todos os controles sejam ajustados nas configurações mínimas, Figura 7, os dados de saída são calculados e são exibidos, conforme a Figura 8.

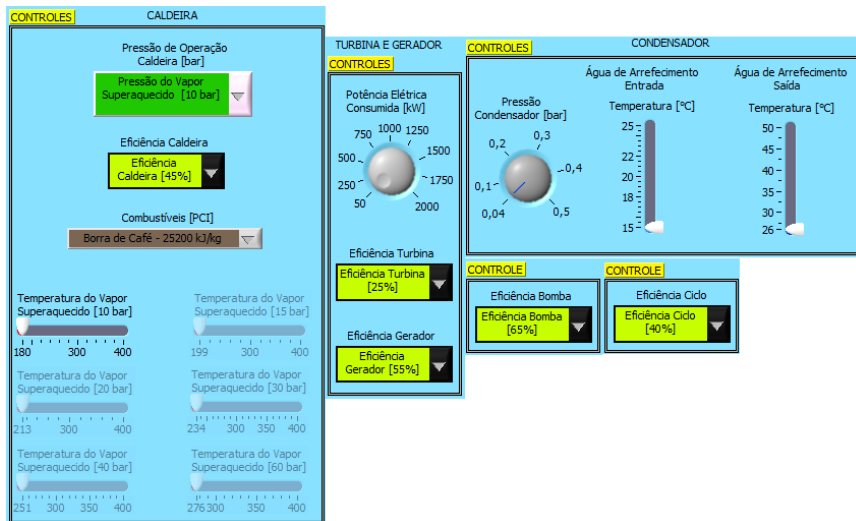


Figura 7 – Valores de entrada ajustados através de botões e quadros e barras de seleção na configuração mínima de operação.

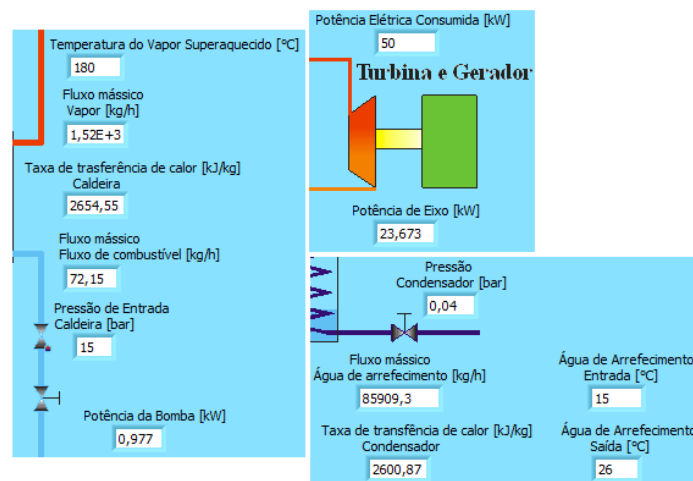


Figura 8 – Valores de saída exibidos ao usuário.



O *TermalSoft* pode imprimir os resultados de saída, caso o usuário deseje obter um arquivo impresso dos resultados obtidos baseado nos parâmetros de entrada fornecidos. A Figura 9 ilustra a tela de impressão.

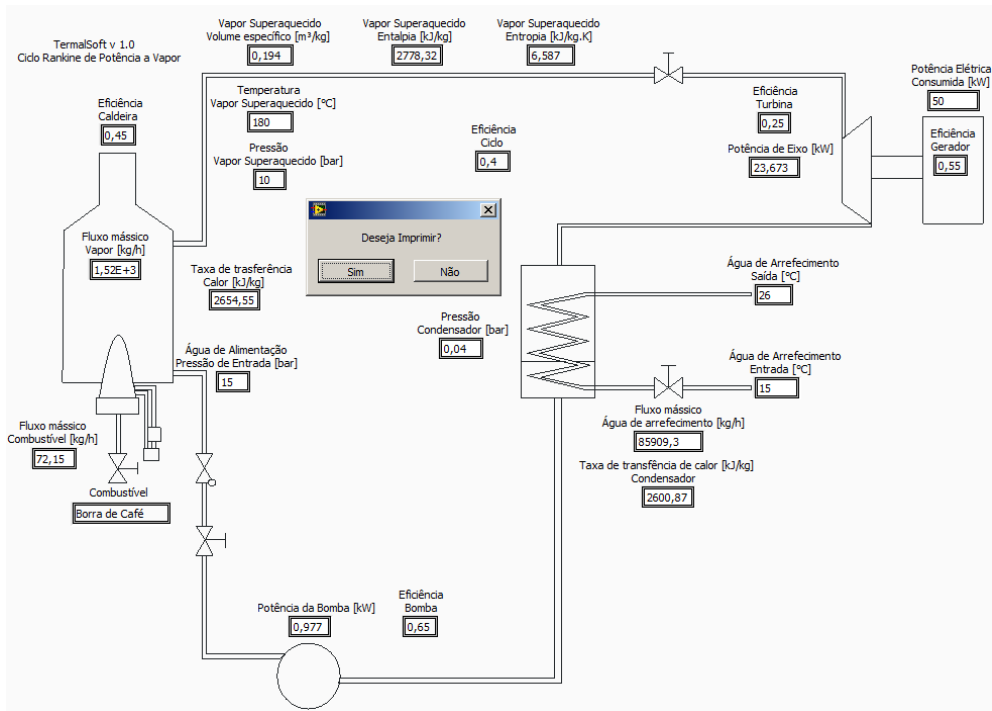


Figura 9 – Tela de impressão dos dados de saída baseada no ajuste dos parâmetros mínimos de entrada.

Os valores mínimos e máximos de temperatura e pressão nos componentes de interesse (caldeira, turbina e condensador), são ajustados pelo usuário, e são alertados através de representação luminosa, ou seja, esses valores podem ser apresentados através de alarmes visuais usando LEDs. A Figura 10 ilustra os LEDs para alarme dos níveis de temperaturas e pressões mínimas e máximas.



Figura 10 – LEDs indicadores de temperatura e pressão mínimas e máximas.





A Figura 11 apresenta em forma de quadros as variáveis de saídas que são alteradas, quando os valores numéricos dos controles (valores de entrada) são alterados pelo usuário.

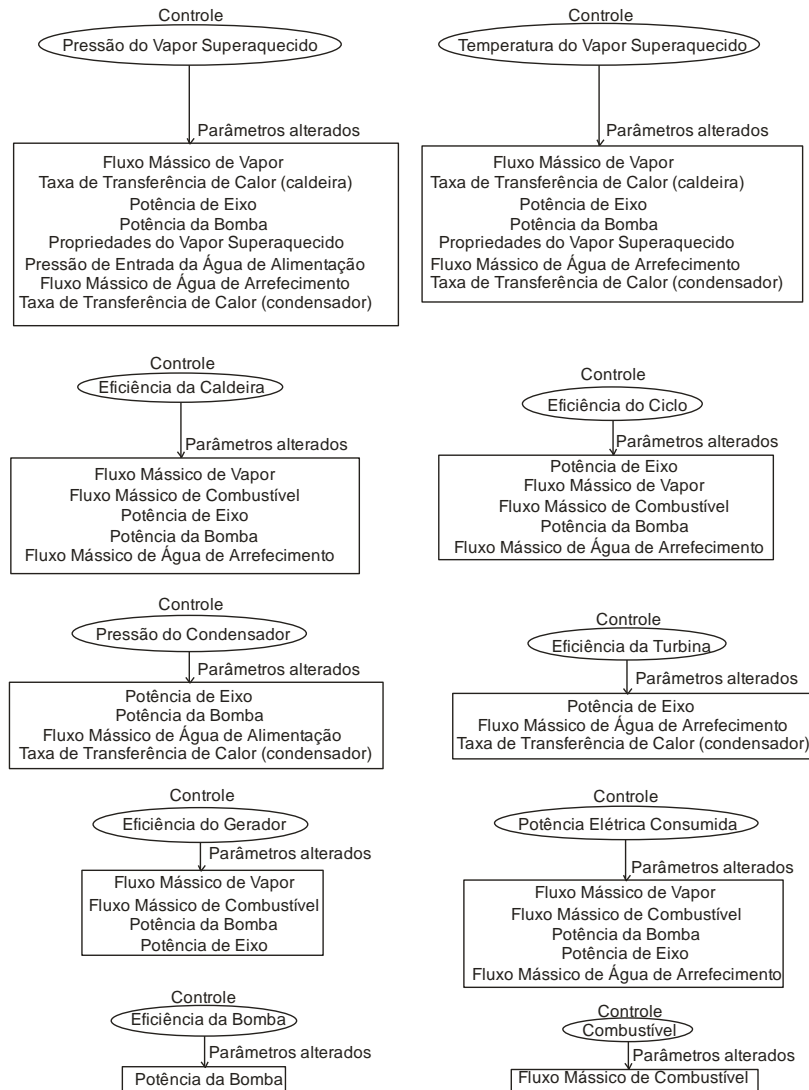


Figura 11 – Os parâmetros escritos nos retângulos são dependentes dos controles escritos dentro das elipses.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ferramenta computacional apresentada foi desenvolvida com a finalidade didática de atender ao ensino da termodinâmica aplicada ao ciclo simplificado de *Rankine*. Esta ferramenta facilita os cálculos pertinentes ao processo termodinâmico em questão por conter uma programação baseado em retornar os valores das propriedades extensivas tais como (entalpia, volume específico e entropia). Para isto é necessário introduzir valores de temperatura e pressão de operação do ciclo. A busca é baseada em tabelas termodinâmicas.

Não é aconselhável utilizar esta ferramenta computacional para fins industriais, pois as simplificações aplicadas à planta de potência a vapor não são consistentes para processos reais



de geração de energia elétrica que utilizam o ciclo de *Rankine*, portanto. Assim sendo deve-se empregar, para fins de análise mais acurada, modelos matemáticos mais adequados. Na prática existem uma série de componentes ao ciclo, além dos quatro componentes mostrados conforme a Figura 2, cuja finalidade é aumentar a eficiência global do sistema, gastando o mínimo de insumos para gerar o máximo de energia.

Este programa é estático, ou seja, apresenta os resultados em regime permanente. Uma evolução para este trabalho é o desenvolvimento de equações dinâmicas para observação do comportamento do sistema em regime transitório. Com esta evolução será possível agregar ao software ações de controle automático e níveis de alarme podendo assim ser utilizado profissionalmente para treinamento de operadores de sistemas térmicos e auxiliar nos projetos de dimensionamento dessas instalações.

## REFERÊNCIAS

RENDEIRO, Gonçalo et al. **Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida**: soluções energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008, p. 190.

SHAPIRO, Howard; MORAN Michael. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

SARCOMAN, M.A.; CHUEIRI, V.M.; GONÇALVES, E.M. Ciclos de Rankine – uma ferramenta computacional. **Anais**: XXXIV – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Passo Fundo: UPF, 2006.

TEIXEIRA, Weldon Carlos. **Programa LabVIEW para ensaio de transformadores**. Goiânia: 2005, 177f. Ensaio – Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.



## COMPUTER APPLICATIONS IN LABVIEW FOR TEACHING THERMODYNAMICS: A SIMPLIFIED APPROACH TO RANKINE CYCLE

**Abstract:** *Thermodynamics is of fundamental importance in applications involving power generation based on fuel burning. A direct application of thermodynamics is the Rankine cycle, which determines a relationship between the heat transfer rate to the work. The Rankine cycle study is conventionally presented to engineering students through physical laws and steam tables, consolidating learning through exercises. However, the use of technological innovations can help to improve this learning process. The technological tool used for this innovative Rankine cycle teaching method is a computer application developed in LabVIEW that allows the interactive interfaces creation by eliminating the need to refer to tables. This paper presents a Simplified Real Rankine cycle for thermodynamics teaching. The application calculates through a graphical interface the thermodynamic parameters commonly found in steam power plants, where the student easily changes the values of the cycle, from the teaching standpoint. This application complements the study of the Rankine cycle, in order to develop the student capacity to notice the numerical sensitivity and to assess the impacts after the change of parameters relevant to the cycle.*

**Keywords:** *Thermodynamics, Rankine Cycle, Computer Application.*