

AULA PRÁTICA SOBRE TROCADORES DE CALOR: BANCADA E GUIA DE AULA

Paulo Cesar da Costa Pinheiro – PauloCPinheiro@ufmg.br
Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG
Av. Antônio Carlos 6627
31270-901 - Belo Horizonte, MG

***Resumo:** As aulas práticas visam a identificação e a aplicação dos conceitos teóricos adquiridos em sala de aula à prática industrial. Um dos equipamentos térmicos mais utilizados na indústria é o trocador de calor. Este trabalho descreve a construção de uma bancada de práticas de trocadores de calor, apresentando um guia de aula prática e resultados didáticos. O trocador de calor de tubos concêntricos do tipo grampo, foi construído com tubos de cobre, e instalado no interior de um rack metálico, onde estão instalados os demais dispositivos da bancada de teste: aquecedor, termopares, válvulas controladoras e termômetro digital. Foi desenvolvido também um software para as calculadoras programáveis (HP48) que faz o cálculo das temperaturas de saída, de modo a auxiliar o desenvolvimento da prática e verificar os valores encontrados durante as práticas.*

***Palavras-chave:** Trocador de Calor, Aula Prática, Prática, Metodologia de Ensino, HP48.*

1 INTRODUÇÃO

O ensino das disciplinas dos cursos de Engenharia Mecânica é normalmente realizado da forma tradicional: aula expositiva e resolução de problemas. Ao fim do curso o aluno não possui o "feeling" do projeto de engenharia e carregando consigo uma insegurança profissional. O desenvolvimento, ao longo do curso, de aulas práticas, permite a construção de habilidades profissionais, desenvolve o espírito científico e prática profissional, e sedimenta conceitos teóricos. O objetivo das aulas práticas é a identificação e a aplicação dos conceitos teóricos adquiridos em sala de aula à prática industrial.

Visando estes objetivos, este trabalho descreve a construção de uma bancada de práticas de trocadores de calor, apresentando um guia de aula prática e resultados didáticos. Um dos equipamentos térmicos mais utilizados na indústria é o trocador de calor. Esta aula prática é aplicada no âmbito da disciplina Laboratórios de Térmica (EMA-103), do curso de Engenharia Mecânica da UFMG.

2 A BANCADA

O modelo de trocador de calor escolhido para a bancada foi o de tubos concêntricos, que é de fácil construção, fácil modelamento matemático (Incropera, 1992) e fácil visualização

pelos alunos. Dois trocadores de tubos concêntricos foram unidos por meio de um tubo curvo formando a configuração chamada grampo (ou trombone), que possui ainda hoje um pequeno uso na prática industrial (Kern, 1982). Os trocadores industriais tipo grampo são construídos com tubos e conexões hidráulicas de ferro.

Por questão de facilidade construtiva, o trocador da bancada foi construído com tubos de cobre de comprimento 1m e diâmetros 25mm e 12 mm (1" e 1/2"). Os tubos de 12 mm (1/2" interno) foram colocados dentro dos tubos de 25 mm (1" externo) e posicionados e fixados por conexões (tês) e redutores, soldados com solda oxiacetileno. Nesta configuração, um dos fluidos passa pelo tubo de 12 mm (1/2") e o outro pelo espaço anular.

Tabela 1. Lista de Materiais do Trocador de Calor.

| Descrição dos Materiais | Qtd |
|-----------------------------|---------|
| Tubo de cobre 25 mm (1") | 3m |
| Tubo de cobre 12 mm (1/2") | 3m |
| Reduções | 6 unid |
| Curva de cobre 12 mm (1/2") | 2 unid |
| Tê cobre 25 mm (1") | 2 unid. |

Foi construído uma estrutura metálica (*rack*) fabricada com cantoneiras L de aço de 25 mm (1"), soldadas com eletrodo revestido (figura 1). O trocador foi instalado no *rack* metálico, fixado por abraçadeiras tipo U com borrachas de apoio. No interior do *rack* foram instalados todos os dispositivos auxiliares da bancada: termômetro digital, termopares, aquecedor, válvulas, conexões, posicionados de tal forma que nenhuma parte do conjunto fique fora do *rack*. Por medida de segurança as conexões hidráulicas foram posicionadas no *rack* em lado oposto dos equipamentos eletrônicos. O *rack* além de fixar os equipamentos assegura sua a integridade física.

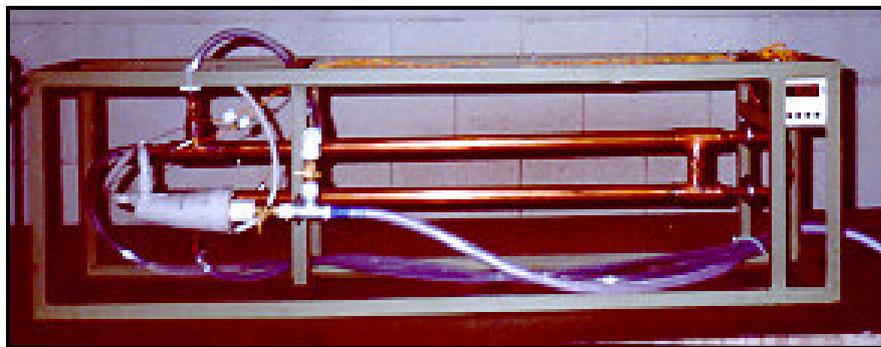


Figura 1. O Rack com o Trocador de Calor e Acessórios.

O termômetro digital (Euro Control TC-904) foi instalado dentro de uma caixa metálica, dentro do *rack*, de modo a protegê-lo de vazamentos. Este termômetro digital possui uma chave seletora que permite a leitura de 4 termopares. Os 4 termopares foram instalados nas entradas e saídas dos fluidos. Válvulas globo controlam as vazões dos fluidos. Um aquecedor de passagem (4250 W) aquece a água de modo a simular o fluido quente (figura 2).

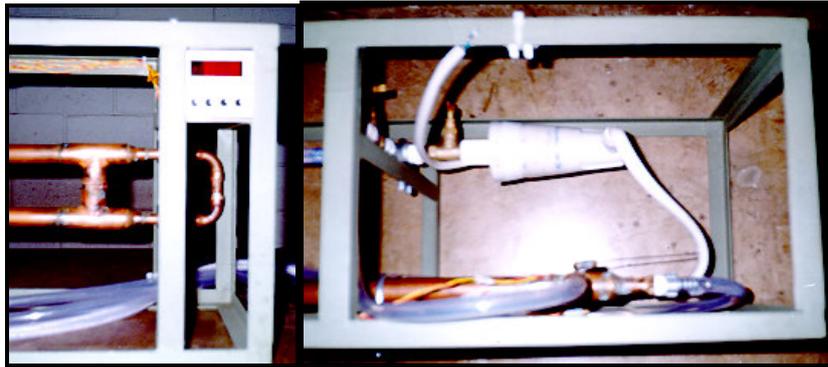


Figura 2. Detalhe do Rack com a Instalação do Termômetro Digital.

A alimentação da água é realizada através de mangueiras plásticas que se encaixam em bocais instalados nas válvulas de controle. As mangueiras que escoam a água para o esgoto se encaixam em bocais instalados no trocador. Estas conexões das mangueiras por encaixe simples, permitem facilmente mudar o regime de operação do trocador de fluxo contracorrente para fluxo concorrente.

Tabela 2. Lista de Materiais Rack e Periféricos.

| Descrição dos Materiais | Quantidade |
|--|---------------------|
| Cantoneira 12 mm (1") | 4 m |
| Abraçadeira em U 1/4" x 5/16" | 5 unid |
| Termopar | 4 unid. |
| Termômetro eletrônico Euro Control TC904 | 1 unid. |
| Aquecedor 110V/4300W | 1 unid. |
| Registro 1/2" (globo) | 2 unid |
| Luva PVC 1/2" | 1 unid. |
| Joelho PVC 1/2" | 1 unid. |
| Tê galvanizado 12 mm (1/2") | 1 unid. |
| Mangueiras 12 mm (1/2") | 6 m |
| Fio duplo Ø 5 mm | 4 m |
| Fio duplo Ø 1 mm | 1 m |
| Conector sindal | 1 unid. |
| Terminal | 1 unid |
| Adaptador p/ mangueira | 4 unid. |
| Borracha (fixação) | 200 cm ² |

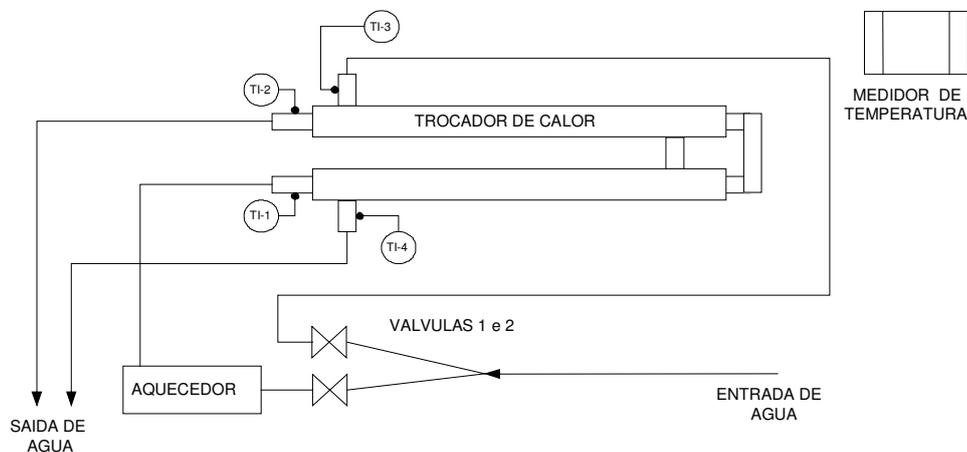


Figura 3. Esquema da Bancada de Prática.

Testes hidráulicos permitiram verificar o correto funcionamento das válvulas e do aquecedor, além da inexistência de vazamentos nas soldas e uniões. Testes operacionais permitiram verificar o correto funcionamento da bancada e a determinação dos parâmetros operacionais.

3 TESTES OPERACIONAIS

Foram realizados uma série de testes operacionais de modo a verificar o correto funcionamento da bancada, a presença de vazamentos e de determinar os parâmetros operacionais do trocador. Verificou-se que o aquecedor só entrava em funcionamento a altas vazões, sendo necessário modificar o mecanismo do aquecedor para que ele funcionasse a vazões menores, de modo a obter temperaturas maiores.

A partir destes testes foi redigido um guia de aulas práticas sobre trocadores de calor (anexo 1), com a metodologia operacional e resultados a serem alcançados.

4 SOFTWARE

Foi desenvolvido um software para a calculadoras HP48 (anexo 2) que simula o funcionamento do trocador de calor da bancada de práticas, de modo a comparar os resultados experimentais obtidos com os resultados teóricos esperados.

A razão de desenvolver o software para a calculadora HP48 é que a maioria dos estudantes possuem esta calculadora, de modo que pode utiliza-la durante a aula prática para fazer a simulação computacional do trocador de calor. A simulação auxilia a aula prática, na medida que permite ao estudante prever os resultados a serem obtidos com o experimento, corrigindo os erros de montagem e operação. Além disso, o uso de calculadoras permitem uma manipulação de uma maior quantidade de dados e um tratamento estatístico mais sofisticados dos dados. Durante a prática o estudante segue a seqüência de passos do experimento e escolhe e ajusta as variáveis controladas no experimento (Pinheiro, 2007).

A implementação do software foi relativamente fácil, uma vez devido a facilidade da linguagem de programação simples utilizada na calculadora (Coffin, 1993 & Moreira). O programa usa cerca de 9 kB (kilobytes) de memória RAM na calculadora e necessita de mais 2,8 kB para a sua execução. A tabela de propriedades da água embutida no software ocupa 2,1 kB. O tempo de execução do cálculo é de aproximadamente 30 segundos. Este software está sendo aperfeiçoado a substituir a tabela por equações das propriedades, de modo a tornar o software menor e a sua execução mais rápida. As temperaturas de entrada e saída da água obtidas pelo software reproduzem com fidelidade os valores obtidos na prática.

O software juntamente com o seu manual de utilização e o guia de prática foram disponibilizados na home-page da disciplina Laboratório de Térmica (EMA-103).

5 RELATÓRIO

Aos alunos é solicitado a apresentação de um relatório das atividades desenvolvidas durante a aula prática. A fim de mostrar aos alunos que os relatórios em si são tão importantes quando as informações neles contidas, a avaliação é baseada tanto na forma quanto ao conteúdo técnico. Clareza e lógica são tão importantes quanto gramática e vocabulário. Os critérios utilizados na avaliação dos relatórios são apresentados na tabela 3 (Pinheiro & Koury, 1994). Foi confeccionado um carimbo com os dados da tabela 3, que é aplicado sobre o relatório e onde são contabilizados os pontos.

Os seguintes tópicos estarão obrigatoriamente presentes nos relatórios:

- a) Revisão Bibliográfica
- b) Equipamentos e material envolvidos

- c) Metodologia e procedimentos
- d) Resultados e conclusões
- e) Bibliografia.

Tabela 3. Critérios Utilizados na Avaliação dos Relatórios de Prática.

| Critérios Técnicos | Valor | Nota | Critérios Estéticos | Valor | Nota |
|---------------------------|--------------|-------------|----------------------------|--------------|-------------|
| Precisão | 10% | | Formato | 10% | |
| Esforço | 10% | | Procedimento | 10% | |
| Compleitude | 10% | | Clareza e Coerência | 10% | |
| Ordem e Limpeza | 10% | | Originalidade | 10% | |
| Pontualidade | 10% | | Gramática e Ortografia | 10% | |
| | | | TOTAL | 100% | |

6 CONCLUSÕES

A bancada de aulas práticas de trocadores de calor tem funcionado perfeitamente ao longo dos últimos 9 anos, e ao longo deste período mostrou ser um equipamento que contribui bastante no processo de aprendizado dos alunos. A interação aula teórica + aula prática + simulação matemática cria alicerces para uma fixação do conhecimento e incentiva a curiosidade dos alunos.

Como as práticas são oferecidas um vez por semestre, antes da construção desta bancada, era necessário procurar os equipamentos no almoxarifado, instalar os equipamentos e testar, e depois da aula prática desmontar e retornar ao almoxarifado. Muitas vezes os equipamentos necessários para a prática estavam disponibilizados para uma pesquisa, sendo necessário um procedimento para a solicitação do equipamento, retirada do local inicial, montagem e testes, desmontagem e remontagem na pesquisa. Com a construção da bancada, os equipamentos passaram a pertencer à bancada, e a bancada sempre está pronta para uso. O *rack* protege a integridade física dos equipamentos e dificulta a sua retirada para outros locais. A colocação da prática em funcionamento passou a ser muito mais fácil e rápida.

O software desenvolvido simula com bastante precisão os valores obtidos na prática. É recomendado aos alunos durante a redação do relatório que façam uso de outros softwares de cálculo de trocadores de calor, de modo a comparar os resultados obtidos.

Os resultados pedagógicos foram excelentes, verificando-se um entusiasmo dos alunos, desenvolvimento de raciocínio crítico, "*feeling*", habilidades práticas, trabalho de grupo, questionamento a matéria ensinada e fixação de conhecimentos. Em face dos resultados alcançados, estão sendo desenvolvidas outras bancadas de práticas baseadas na mesma filosofia.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COFFIN, C. **An Easy Course in Using and Programming the HP 48G/GX**; Corvallis USA, Grapevine Publications Inc, 1993, 300p. ISBN: 0-931011-41-8.

INCROPERA, F. P., WITT, D. P.; **Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa**; Editora Guanabara Koogan S.A.; Rio de Janeiro, RJ, 1992, 671p.

KERN, D. Q.; **Processos de Transmissão de Calor**; Editora Guanabara Dois; Rio de Janeiro, RJ, 1982, 455p.

MOREIRA, A. J.; RIBAS, L. S. **Curso de Programação HP48G/GX**. Curitiba, CEFET-PR, Dept. Eng. Industrial, 62p.

PINHEIRO, P. C. C.; KOURY, R. N. N. A Estrutura de um Artigo Científico em Engenharia. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA (COBENGE-94), 24-27 Outubro 1994, Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre: ABENGE, Associação Brasileira de Ensino de Engenharia, 1994, p.464-469.

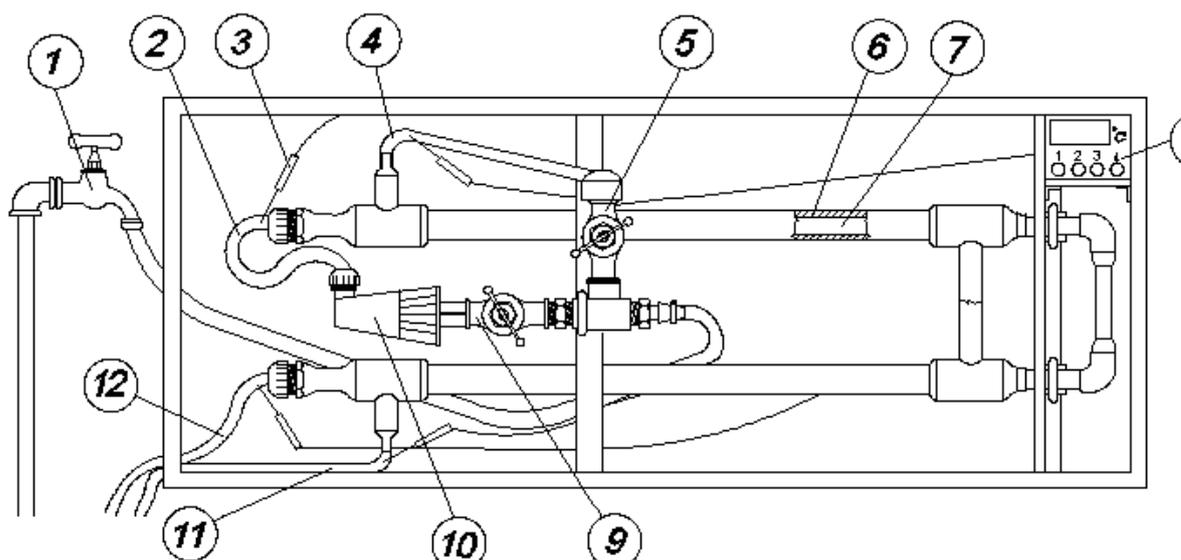
PINHEIRO P. C. C. Uso de Calculadoras Programáveis no Ensino de Engenharia. Submetido ao XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA (COBENGE-2007), 10-13 Setembro 2007, Curitiba, Pr, **Anais Eletrônicos...** Curitiba: ABENGE, Associação Brasileira de Ensino de Engenharia, 2007, CD-ROM.

HEAT EXCHANGER PRACTICE: TEST RING AND OPERATIONAL PROCEDURE

***Abstract:** The aim of the practical lessons is to aid the identification and the application of theoretical concepts acquired in classroom to industrial practice. The most common thermal equipment used in the industry is the heat exchanger. The present paper describes the construction of a heat exchangers test ring, and presents a operational procedure and didactic results. A double pipe type heat exchanger was constructed with copper pipes, and installed in the metallic rack, whit all the others devices: heater, thermocouples, control valves and digital thermometer. A software for HP48 programmable calculator was also developed.*

***Key-words:** Heat Exchanger, Practical Lesson, Methodology*

Anexo 1. Guia de Práticas

| GUIA DE PRÁTICA DE TROCADORES DE CALOR | | | |
|--|----|--|----|
| UFMG | | Prática EMA103-01TC | |
| Curso de Engenharia Mecânica | | Prática de Trocadores de Calor - EMA-103 | |
| Responsável: Prof. Paulo Cesar da Costa Pinheiro | | Estabelecida em 01/05/98 | |
| MATERIAIS NECESSÁRIOS | | | |
| Bancada de práticas | 01 | Bureta 1.000 mL | 01 |
| Tomada de eletricidade 110V | 01 | Cronômetro [Trazer] | 01 |
| Tomada de água | 01 | Software para HP48 Manual Software | 01 |
|  | | | |
| PROCEDIMENTO | | | |
| <p>01) Conectar a bancada na tomada de água.</p> <p>02) Conectar a bancada no esgoto.</p> <p>03) Conectar mangueiras de modo a estabelecer um regime em contracorrente, com a água quente no tubo interior.</p> <p>04) Abrir a torneira de água fria e ajustar a vazão.</p> <p>05) Verificar e sanar a existência vazamentos.</p> <p>06) Desligar o aquecedor.</p> <p>07) Conectar a bancada na tomada de 110V (CUIDADO!!!).</p> <p>08) Verificar o correto funcionamento do medidor de temperaturas e dos termopares, apertando as teclas que permitem ler os termopares 1 a 4.</p> <p style="margin-left: 20px;">Nº 1 : temperatura de entrada da água quente.</p> <p style="margin-left: 20px;">Nº 2 : temperatura de saída da água quente.</p> <p style="margin-left: 20px;">Nº 3 : temperatura de entrada da água fria.</p> <p style="margin-left: 20px;">Nº 4 : temperatura de saída da água fria.</p> <p>09) Ler a temperatura de entrada da água fria.</p> <p>10) Ajustar a válvula da água quente de modo a manter a vazão constante em torno de 0,05 kg/s. Verificar e sanar vazamentos.</p> <p>11) Ligar o aquecedor na potência média e verificar seu correto funcionamento.</p> <p>12) Fazer variar a vazão de água fria (mínimo, máximo e média). Esperar o estabelecimento do regime permanente. Medir as vazões e as temperaturas de entrada e saída da água quente e fria. A menor vazão é em torno de 0,01 kg/s, e a maior 0,13 kg/s. Devido à flutuação da vazão, deve-se efetuar no mínimo 3 medições de cada vazão e estabelecer a vazão média.</p> <p>13) Repetir todo o procedimento para um regime de fluxo em concorrente (água quente sempre no tubo interior).</p> <p>14) Após o ensaio, desligar toda a instrumentação, a eletricidade e vazão de água.</p> <p>15) Esgotar a água do trocador.</p> <p>16) Desligar a iluminação ao deixar a sala.</p> | | | |

| MANUSEIO DO MATERIAL | |
|--|-------------|
| 01) Tomar os devidos cuidados com o manuseio do material, já que este apresenta componentes frágeis. 02) Proceder a montagem de modo a facilitar as medições. 03) Verificar se a tomada utilizada é para 110V. 04) Posicionar as mangueiras de forma a evitar vazamentos que possam atingir o termômetro digital. 05) Posicionar as mangueiras de saída de forma a proporcionar o escoamento da água para o esgoto. | |
| RESULTADOS ESPERADOS | |
| 01) Anotar todos os resultados (temperatura e vazão) dos ensaios realizados. 02) Traçar gráficos Temperatura x Vazão. 03) Calcular o trocador ensaiado pelo método NUT. Considerar tubos de parede fina de diâmetros 1" e 1/2". 04) Comparar os resultados experimentais com os resultados teóricos. Analisar as diferenças e fazer uma análise de incertezas. 05) Calcular as perdas térmicas e o rendimento térmico do trocador. 06) Descrever todas as dificuldades encontradas na prática. Sugestões para o aperfeiçoamento desta prática serão bem-vindas. 07) Conclusões: O que você aprendeu que não estava nos livros, ou foi ensinado em sala de aula, que você teve de descobrir (criar, imaginar, "chutar" etc.), para chegar ao resultado final? | |
| Executor: | Supervisor: |

Referências:

- [1] HOLMAN J.P. Experimental Methods for Engineers. McGraw-Hill, New York, 1994, 616p.
 [2] INCROPERA F.P.; DE WITT D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Willey & Sons, New York, 3ªed, 1990. 970p.
 [3] KERN, Donald Q. Process Heat Transfer. McGraw-Hill Kogakusha, Tóquio, 1950, 871p.

Esta página foi atualizada em 07/Maio/2007

Os direitos autorais desta página são protegidos pela Lei 9.610, de 19.02.1998.

Anexo 2. Manual de Utilização do Software.

Este software para a calculadora HP-48 calcula as temperaturas de saída do trocador de calor pelo método da efetividade.

- 1) Instalar o software na calculadora
- 2) Procurar o diretório EXCH
- 3) Pressionar a tecla correspondente a variável RUN para inicializar o programa.

1ª Tela: Dados de Entrada do Trocador:

Temperatura de entrada da água quente (°C).

Temperatura de entrada da água fria (°C).

Vazão da água quente (kg/s).

Vazão da água fria (kg/s).

Para alterar os valores, utilizar os cursores e mover o destaque em negrito para o valor que se deseja mudar. Digitar o novo valor e pressionar OK.

2ª Tela Pop-Up: Tipo de Fluxo do Trocador de Calor: contracorrente ou em concorrente.

Selecionar o tipo de fluxo do trocador de calor. Pressionar OK.

Pressionar OK novamente para iniciar o programa

3ª Tela: Resultados do cálculo:

Temperatura de saída da água quente (°C).

Temperatura de saída da água fria (°C).

Pressionar qualquer tecla para finalizar o programa.

- 4) Pressionar a tecla correspondente a variável RUN para reinicializar o programa.

Como Instalar o Software na Calculadora

- 1) Conectar a calculadora à porta serial (1 ou 2) do computador
- 2) Instalar o software Kermit no computador. <http://www.columbia.edu/kermit/>
- 3) Ajustar a porta onde será realizada a conexão (SET PORT 1)
- 4) Ajustar a taxa de conexão para 9600 BAUD (SET BAUD 9600)
- 5) Enviar o arquivo para a calculadora (SEND EXCH.TXT)
- 6) Abrir o protocolo Kermit na Calculadora [left-shift][I/O] -->[Transfer..]
- 7) Receber o arquivo {RECV}
- 8) Fechar o Kermit na Calculadora {OK}