

## Escoamento Com Transferência De Calor Num Leito Fixo

C.A. GASPARETTO\*

### RESUMO

*Foram realizados ensaios com dois fluidos diferentes, água e ar, escoando num leito de partículas irregulares de sílica (seixos rolados). O leito estava confinado no interior de um tubo que era aquecido por uma camisa externa. O leito está caracterizado pela porosidade e permeabilidade.*

*Os ensaios mostraram um acentuado efeito de parede face à relação diâmetro do tubo pela dimensão média das partículas e os resultados são apresentados na forma de número de Nusselt em função / de número de Peclet.*

\*Fac. Eng. de Alimentos e Agrícola - UNICAMP

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos trabalhos tem sido publicados sobre transferência de calor em leitos fixos e Barker (1) apresentou uma extensa revisão do assunto onde mostra que há ainda grandes lacunas a serem preenchidas do ponto de vista experimental sendo muito difícil a comparação dos resultados existentes devido a profundas diferenças entre / os diversos arranjos experimentais e na forma de apresentação dos resultados. Uma tentativa de incluir o efeito da porosidade para se conseguir alguma uniformidade entre os trabalhos publicados foi feita por Gupta et. al. (2) e as suas correlações mostram a influência desse importante parâmetro do leito. Li e Finlayson (3) reapresentam dados da literatura procurando detectar a possível influência do efeito de entrada e tentando obter um valor assintótico para o coeficiente de transferência de calor que seria atingido se o leito fosse suficientemente longo. Martin (4) procura avaliar o efeito de sistemas com baixo número de Peclet e procura comparar o resultado de transferência de calor para uma esfera e para um leito de esferas. Mori e Tanimoto (5) analisam um trocador de calor semelhante ao deste trabalho mas a sua relação entre diâmetro do tubo que contém o leito e dimensão das partículas é muito maior que aquela apresentada aqui, além de que seu leito era de esferas e este é de partículas irregulares. Num trabalho interessante Gnielinski (6) tenta correlacionar o número de Nusselt com o número de Peclet para uma série extensa de trabalhos coletados na literatura, conseguindo mostrar que todos apresentam o mesmo tipo de dependência entre esses parâmetros mas não é possível agrupar esses resultados numa única correlação. Finalmente, convém lembrar que o grande número de parâmetros que afetam o escoamento e a transferência de calor num leito fixo é o principal fator que dificulta uma análise unificada dos fenômenos e do ponto de vista prático é muito difícil detectar, medir e agrupar esses parâmetros como mostram diversos trabalhos na literatura. Para citar apenas um desses como exemplo, reporte-se a Szekely e Poveromo (7) que apresentam um estudo sobre o escoamento em leitos fixos.

Em face da dificuldade em comparar e extrair informações dos resultados da literatura, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo específico de obter os parâmetros de transferência de calor para um trocador constituído de um leito fixo de partículas irregulares de sílica (seixos rolados) e uma camisa de aquecimento. As dimensões escolhidas do tubo e das partículas tinham por objetivo uma baixa perda de carga no trocador.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A figura 1 mostra o trocador utilizado neste trabalho.

Os parâmetros que caracterizam o leito são a porosidade  $\epsilon$  e a permeabilidade  $k$ . A porosidade foi determinada medindo-se o volume do tubo vazio e recheado e o resultado foi  $\epsilon = 0,525$ . A permeabilidade foi obtida através da determinação da perda de carga no leito ( $\Delta p/l$ ) e o resultado foi  $k = 2,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ .

O tubo do trocador tinha diâmetro interno igual a 20 mm e comprimento de 300 mm. As partículas eram irregulares e foram separadas com peneiras construídas com telas comerciais e depois selecionadas manualmente para se ter formas mais próximas possíveis de uma esfera e sua dimensão média era de 11 mm, portanto a relação entre o diâmetro do leito e a dimensão das partículas era de 1,8.

Foram realizados ensaios com ar e água sendo determinadas as vazões, as temperaturas de entrada e de saída e a temperatura da camisa. De posse desses dados foram feitos os balanços térmicos para a determinação do coeficiente de transferência de calor para o fluido. As propriedades físicas do fluido foram tomadas na temperatura média entre a entrada e a saída.

Os resultados estão apresentados nas figuras 2 e 3 e os parâmetros que aparecem nessas figuras são:

$q$  = velocidade superficial = vazão/área de seção transversal do tubo vazio

$\rho$  = massa específica do fluido

$\mu$  = viscosidade dinâmica do fluido

$h$  = coeficiente de transferência de calor para o fluido

$k_f$  = condutividade térmica do fluido

$N_{Nu}$  = número de Nusselt =  $\frac{h\sqrt{k}}{k_f}$

$N_{Pe}$  = número de Peclet =  $N_{Re} N_{Pr}$

$N_{Re}$  = número de Reynolds =  $\frac{\sqrt{k} \rho q}{\mu}$

$N_{Pr}$  = número de Prandtl

## 3. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos dos ensaios com água apresentaram uma pequena diferença de comportamento para duas temperaturas diferen

tes da camisa de aquecimento e estão mostradas na figura 2.

Para ambos os casos foi possível estabelecer uma correlação entre o número de Nusselt e o número de Peclet e que são:

a) para temperatura da camisa de 105°C

$$N_{Nu} = 7,18 N_{Pe}^{0,363}$$

b) para temperatura da camisa de 120°C

$$N_{Nu} = 25,9 N_{Pe}^{0,266}$$

Supõe-se que essa pequena diferença se deve principalmente ao efeito de parede que é muito pronunciado para um sistema como este.

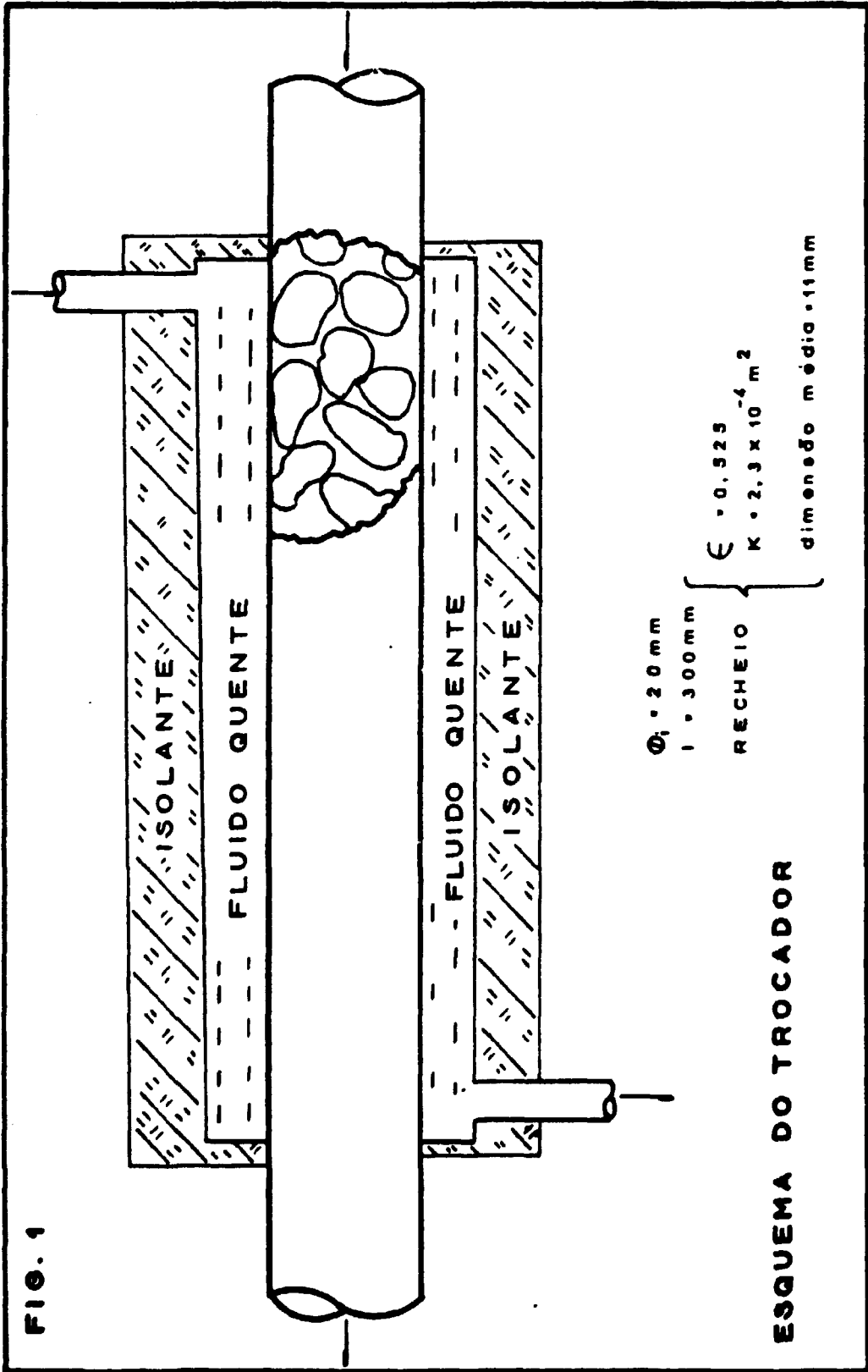
Os resultados obtidos com ar estão mostrados na figura 3 e como foram obtidos com apenas uma temperatura da camisa de 75°C não foi possível detectar se também este caso apresentaria alguma sensibilidade à temperatura da camisa de aquecimento. Do comportamento apresentado com ar e dos resultados obtidos com água é possível supor que maiores vazões de ar conduziriam a resultados próximos daqueles obtidos com água para a mesma faixa de valores do número de Peclet.

Devido às características peculiares do leito utilizado neste trabalho, é muito difícil encontrar referências na literatura que permitam uma comparação de resultados.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Barker, J.J. 1965, Ind. Eng. Chem., pg. 43-50, vol. 57, nº 4.
2. Gupta, S.N., Chanbe, R.B. e Upadhyay, S.N., 1974, Chem. Eng. Sci., pg. 839-844, vol. 29, Nº 3.
3. Li, C.H. e Finlayson, B.A., 1977, Chem. Eng. Sci., pg. 1055 - 1066, vol. 32, Nº 9.
4. Martin, H. 1978, Chem. Eng. Sci., pg. 913-920, vol. 33, nº 7.
5. Mori, S. e Tanimoto, A. 1980, Can. J. Chem. Eng., pg. 279 - 280, vol. 58, nº 2.
6. Gnielinski, V. 1981, Int. Chem. Eng. pg. 378-383, vol. 21 - nº 3.
7. Szekely, J. e Poveromo, J.J., 1975, pg. 769-774, vol. 21 - nº 4.

FIG. 1



$\phi_1 = 20 \text{ mm}$

$l = 300 \text{ mm}$

RECHEIO

$$\epsilon = 0,525$$
$$K = 2,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

dimensão média = 11mm

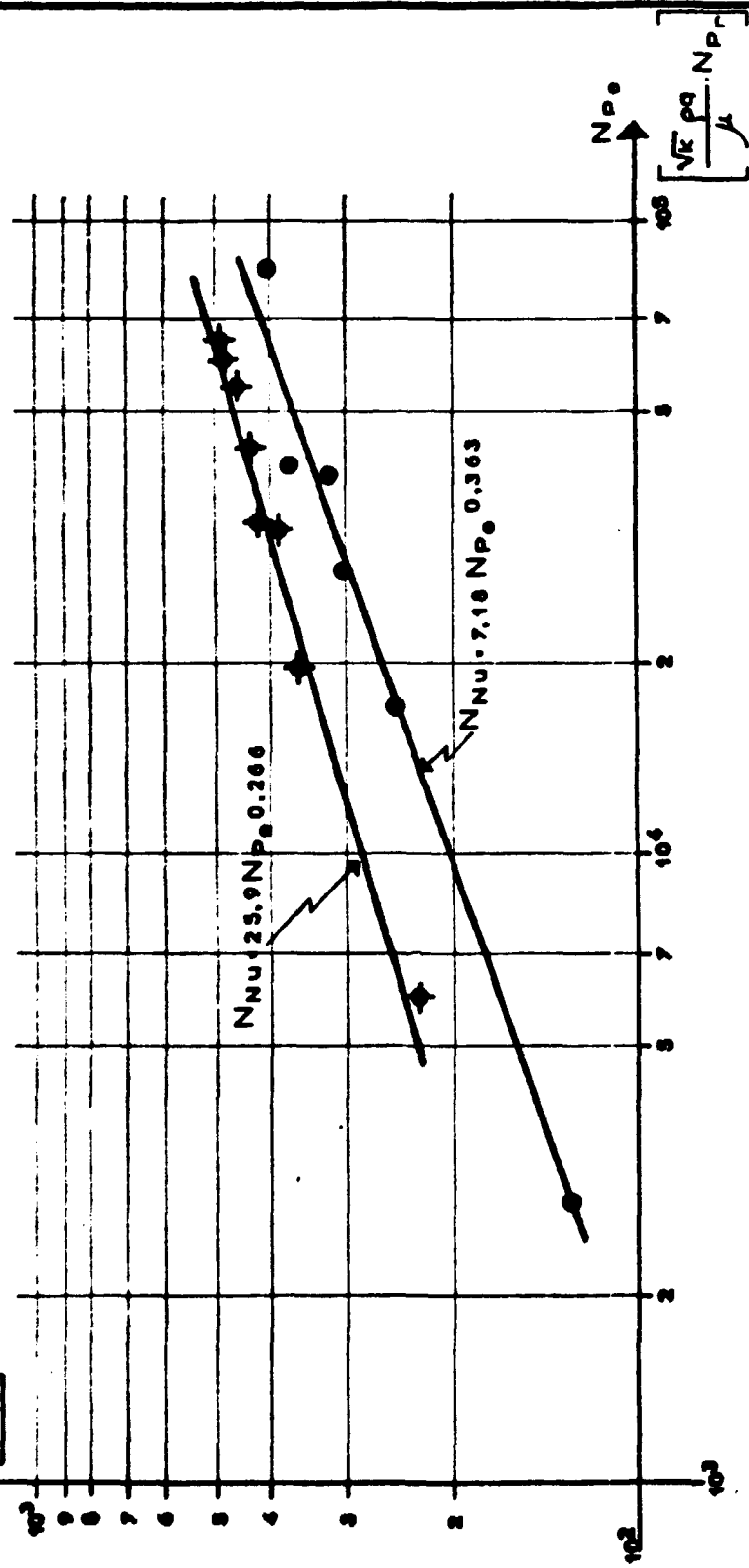
ESQUEMA DO TROCADOR

FIG. 2

● TCAMISA • 120°C

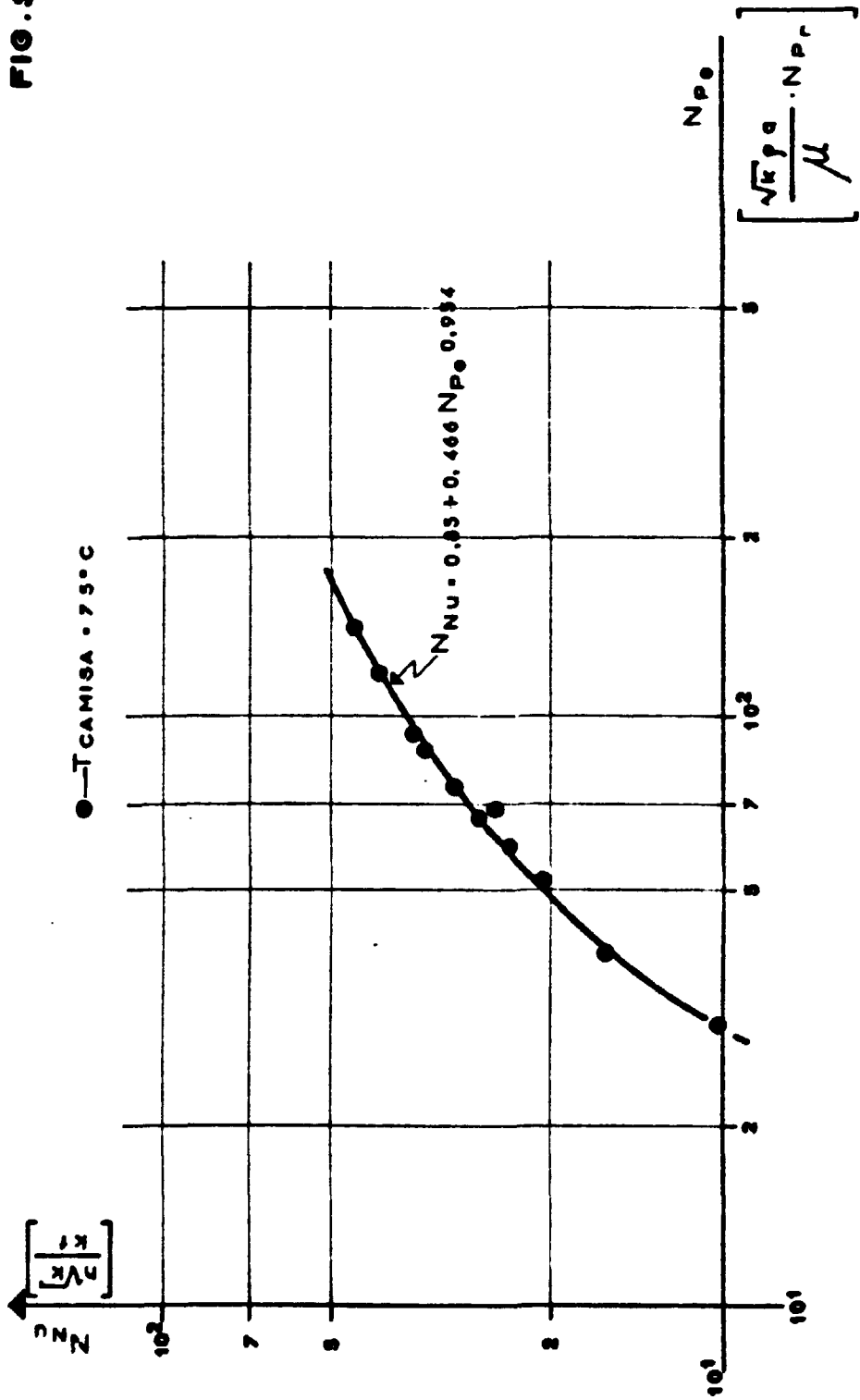
◆ TCAMISA • 105°C

$$\left[ \frac{k}{k'} \right]^2 \frac{N_p}{N}$$



ENSAIOS COM ÁGUA

FIG. 3



ENSAIOS COM AR