

**CNEN/SP**

---

**ipen** *Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares*

**TRANSFERÊNCIA DE LÍQUIDOS POR SISTEMAS "AIR LIFT"**

Elizabeth Fátima de Oliveira Moreira Afonso dos Santos Tomé Lobão

José Adroaldo de Araújo e Bertha Fíloh de Araújo

**PUBLICAÇÃO IPEN 106**

**MAIO/87**

**TRANSFERÊNCIA DE LÍQUIDOS POR SISTEMAS "AIR LIFT"**

**Elizabeth Fátima de Oliveira Moreira Afonso dos Santos Tomé Lobão**

**José Adroaldo de Araujo e Bertha Ficht de Araujo**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**CNEN/SP**

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

**SÃO PAULO - BRASIL**

INIS Categories and Descriptors

B 16

B 13

PUMPS

REPROCESSING

## TRANSFERÊNCIA DE LÍQUIDOS POR SISTEMAS "AIR LIFT"

Elizabeth Fátima de Oliveira Moraes Afonso dos Santos Tomé Lobão,  
José Adroaldo de Araújo e Bertha Flich de Araújo

### RESUMO

Estudou-se a aplicação de sistemas air lift no bombeamento de líquidos que requerem sistemas que funcionem sem manutenção mecânica. Os experimentos foram feitos usando tubos em aço inox com 3/8 de polegada de diâmetro. Mediu-se a vazão do líquido em função da vazão de ar e da razão de submersão. A análise dos dados obtidos mostrou a dependência da vazão do líquido com esses parâmetros. O sistema air lift é aplicável ao bombeamento de líquidos em que há risco de contaminação principalmente radioativa.

### TRANSPORT OF LIQUIDS BY AIR LIFT SYSTEMS

### ABSTRACT

The application of air lift systems on liquid pumping was studied for systems that request a good performance without mechanical maintenance. Experiments were carried out using stainless steel 3/8 in diameter pipes. Liquid flow rate as a function of air flow rate and submergence ratio were measured. The analysis of the obtained data has shown the liquid flow rate dependence related to the above parameters. The runs have demonstrated that air lift systems are useful to liquid transfers where contamination risks exist mainly radioactive ones.

### 1 INTRODUÇÃO

O sistema air lift é o método mais comum de bombeamento utilizando ar comprimido. Este sistema tornou-se obsoleto em virtude do desenvolvimento de equipamentos mais eficientes, por exemplo, as bombas centrífugas. Apesar da baixa eficiência quando comparado às bombas, o sistema air lift ainda apresenta algumas aplicações especiais tais como, bombeamento de líquidos com sólidos em suspensão, líquidos radioativos, corrosivos ou perigosos. O sistema air lift não apresenta componentes mecânicos móveis o que permite operação simples, confiável e sem manutenção. A única restrição à aplicação é no bombeamento de líquidos que formam espumas ou que não permitem aeração.

O princípio de funcionamento baseia-se na diferença de densidade entre os dois ramos de um tubo em U. Ar comprimido é introduzido em um dos ramos do tubo em U contendo o líquido a ser bombeado e a mistura ar/líquido formada sendo menos densa, eleva-se na tubulação bombeando o líquido. Mantendo-se um fluxo constante de ar, obtém-se um bombeamento constante líquido.

## 2 ASPECTOS TEÓRICOS

A massa de ar necessária para elevar a uma certa altura uma determinada massa de líquido pode ser calculada conhecendo-se a energia gasta e a energia fornecida ao sistema. A energia gasta corresponde ao trabalho para elevar a coluna de líquido e é dada pela expressão

$$W_{liq} = M \times h_e \quad (1)$$

onde

$W_{liq}$  = trabalho gasto na elevação da coluna de líquido

$M$  = peso do líquido em Kgf

$h_e$  = altura de elevação em m

A energia fornecida corresponde ao trabalho realizado por uma massa de ar  $m$  a uma pressão  $P_e$ , expandindo isotermicamente à pressão atmosférica  $P_a$ .  $V_e$  e  $V_a$  são respectivamente os volumes ocupados pela massa  $m$  de ar às pressões  $P_e$  e  $P_a$

$$W_{ar} = \frac{V_a}{V_e} \int P dV = P_a V_a \ln \frac{P_e}{P_a} \quad \text{expansão isotérmica} \quad (2)$$

A eficiência  $E$  de um sistema air lift é dada pela razão entre o trabalho realizado sobre o líquido e o trabalho realizado pelo ar

$$E = \frac{M \times h_e}{P_a V_a \ln \frac{P_e}{P_a}} \quad (3)$$

A massa de ar necessária para bombear 1kg de líquido é dada por

$$\frac{m}{M} = \frac{h_e}{E P_a v_a \ln \frac{P_e}{P_a}} \quad (4)$$

onde

$v_a$  = volume específico do ar à pressão  $P_a$

A pressão do ar  $P_e$  e a pressão atmosférica  $P_a$ , podem ser expressas em termos de coluna de líquido

$$P_e = \rho (h_a + h_e) \quad (5)$$

$$P_a = \rho h_a \quad (6)$$

$\rho$  = peso específico do líquido

$h_a$  = pressão atmosférica expressa em m de coluna do líquido

$h_s$  = altura da submersão em m

A altura de submersão é a distância entre o nível do líquido no tanque e o ponto onde se introduz o ar comprimido. A equação de eficiência em função da pressão em m de coluna de líquido é

$$E = \frac{M \times h_e}{P_a V_a \ln \frac{h_a + h_s}{h_a}} \quad (7)$$

A literatura fornece uma fórmula empírica que permite determinar o volume de ar em  $\text{ft}^3$ , necessário para elevar 1 galão de água de uma altura líquida  $h_e$ . Essa equação foi desenvolvida a partir de dados experimentais e dá bons resultados para tubos com diâmetro acima de 1 polegada (2,4,5,8)

$$V_a = K \frac{h_e}{C \log \frac{(h_s + 10,33)}{10,33}} \quad (8)$$

segundo Perry  $K = 0,8$  quando  $h_e$  é expresso em  $\text{ft}$  (8).  $C$  é uma constante que varia com a altura de elevação do líquido  $h_e$ . Os valores de  $C$  estão apresentados na Tabela I.

Tabela I

Valores de  $C$

| $h_e$ (ft) | $C$ |
|------------|-----|
| 10 - 60    | 245 |
| 61 - 200   | 233 |
| 201 - 500  | 216 |
| 501 - 650  | 185 |
| 651 - 750  | 156 |

### 3 TRABALHO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Montagem

A Figura 1 mostra o esquema da montagem utilizada nos testes operacionais. O ar comprimido foi fornecido por um compressor de laboratório marca SCHULZ PRODIGIUS. Regulou-se a pressão manométrica do ar em 0,2bar por meio de uma válvula marca FESTO (V R P). Usou-se um rotâmetro OMEL 20 a 200N $\ell$ /h, para controle da vazão do ar. A tubulação do líquido foi construída usando-se tubo em aço inox 304 com diâmetro de 3/8 de polegada. Introduziu-se ar comprimido por um tubo em

ço inox 304 com diâmetro de 4mm. Usou-se um reservatório com dreno lateral como tanque intermediário. O líquido drenado foi devolvido ao tanque de alimentação por um sistema secundário tipo "air lift".

### 3.2 Resultados

A razão de submergência é definida como a razão entre a altura de submergência isto é a distância entre o nível do líquido e o ponto onde se introduz ar comprimido ( $h_s$ ) e a altura total ( $h_s + h$ ) como pode ser observado na Figura 1. As Figuras 2 e 3 mostram a dependência da vazão do líquido com a vazão do ar para diferentes valores da razão de submergência. Os testes foram feitos usando água e solução de NaCl a 20% P/V (densidade = 1.13). Os valores apresentados nos gráficos representam os valores médios calculados a partir de dados obtidos em dois experimentos. A vazão do líquido é diretamente proporcional à razão de submergência e à vazão do ar.

A eficiência do sistema "air lift" em cada ponto dada pela equação (7) está registrada nas Tabelas II e III. Na Tabela II encontram-se os valores calculados quando o fluido bombeado é a água. Na Tabela III apresentam-se os mesmos valores com solução de NaCl densidade igual a 1.13 como fluido bombeado. Para cada razão de submergência há uma determinada vazão de ar onde se opera com eficiência máxima. Estas informações devem ser consideradas no projeto de sistemas "air lift".

A escolha da razão de submergência mais adequada para um dado sistema "air lift" deve ser feita com base em dois fatores importantes a eficiência do sistema e a economia de tubulação. A literatura recomenda projetar sistemas "air lift" mantendo a razão de submergência no intervalo de 35 a 85%<sup>(4,7)</sup>. Com uma razão de submergência abaixo de 35% obtém-se uma eficiência muito baixa além de ocorrer pulsação e vibração excessiva na vazão do líquido. Razões de submergência acima de 85% requerem uma quantidade excessiva de tubulação quando se considera a pequena elevação do líquido. Altas razões de submergência só são aceitáveis para sistemas "air lift" pequenos.

Comparando-se as Tabelas II e III observa-se que a massa de líquido bombeado por unidade de volume de ar aumenta com o peso específico do líquido. Este mesmo resultado foi obtido por Kearsley<sup>(5)</sup>. Chamberlain apresenta gráficos mostrando que o peso específico do líquido não apresenta nenhum efeito quando se considera a massa de líquido bombeada por unidade de massa de ar<sup>(1)</sup>. A aparente contradição entre Kearsley<sup>(5)</sup> e Chamberlain<sup>(1)</sup> é explicada pelo fato que o efeito do peso específico do líquido na capacidade de bombeamento depende do diâmetro dos tubos<sup>(7)</sup>. Os dados de Chamberlain<sup>(1)</sup> foram obtidos para diâmetros de 1 polegada e 1 e 1/2 polegadas enquanto os de Kearsley<sup>(5)</sup> foram obtidos para tubos com diâmetro de 1/2 polegada. Os dados obtidos neste trabalho com diâmetro do tubo de 3/8 de polegada concordam com os dados de Kearsley<sup>(5)</sup>.

O efeito do peso específico na capacidade de bombeamento de um sistema "air lift" depende do diâmetro dos tubos devido à massa deslocada do líquido. Quando o peso específico do líquido aumenta a massa de líquido deslocada pelas bolhas de ar aumenta mais rapidamente que o decréscimo do volume das bolhas de ar<sup>(5)</sup>. O diâmetro das bolhas depende diretamente do diâmetro dos tubos.

## 4 PROJETO E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS AIR LIFT

As diversas variáveis que afetam a taxa de bombeamento em um sistema "air lift" tornam difícil um projeto preciso. Mas a literatura fornece dados e aproximações que podem ser feitas e permitem projetá-los com segurança.

Num sistema "air lift" teórico isto é num sistema "air lift" operando com velocidade terminal constante da mistura ar/líquido a capacidade de bombeamento é diretamente proporcional à seção transversal do tubo. Velocidade terminal é a velocidade linear dos fluxos de ar e de líquido medidas na extremidade da tubulação para onde bombeia-se o líquido. Nos sistemas "air lift" em operação não se

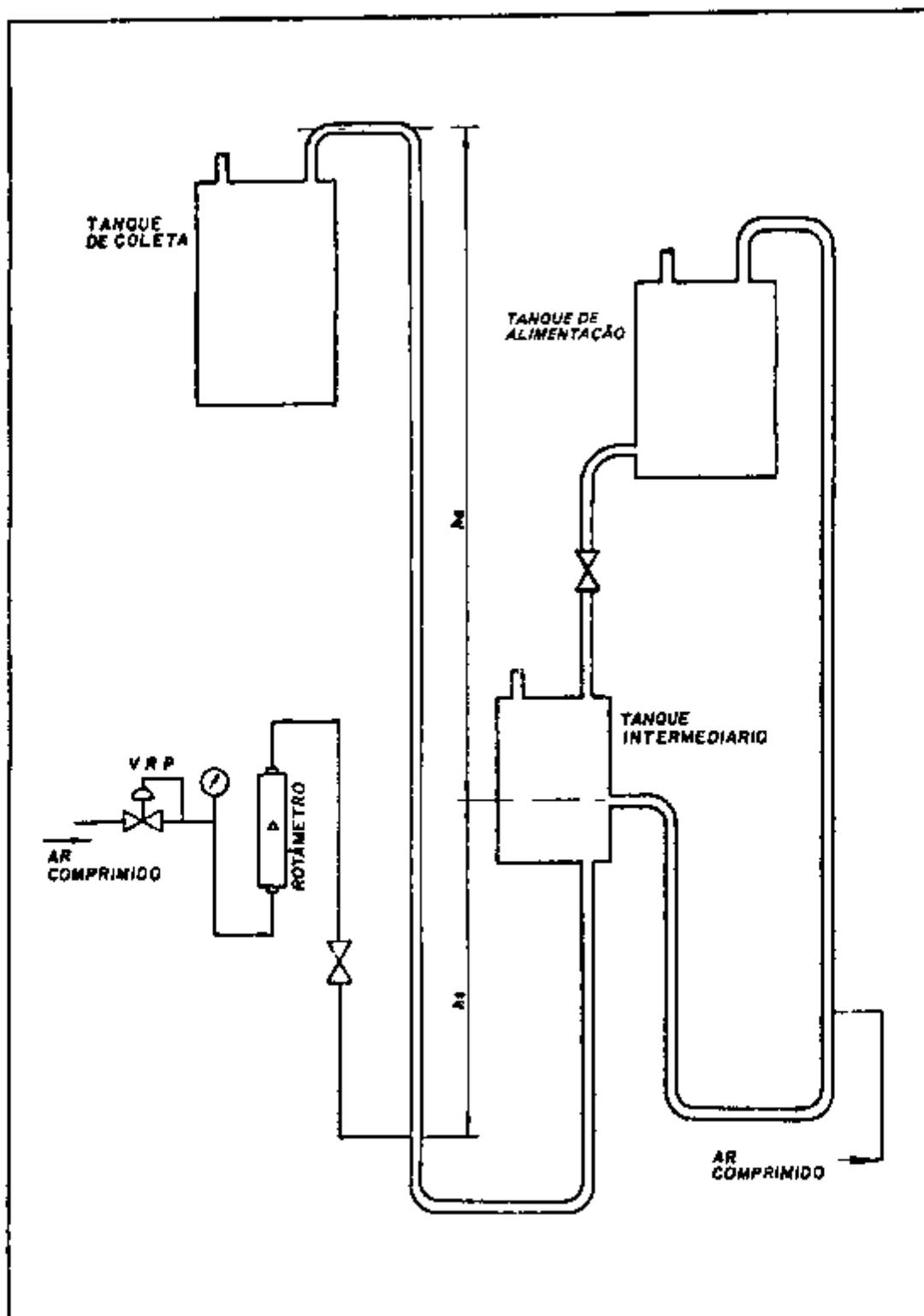


Figura 1 – Arranjo Experimental Sistema Air Lift

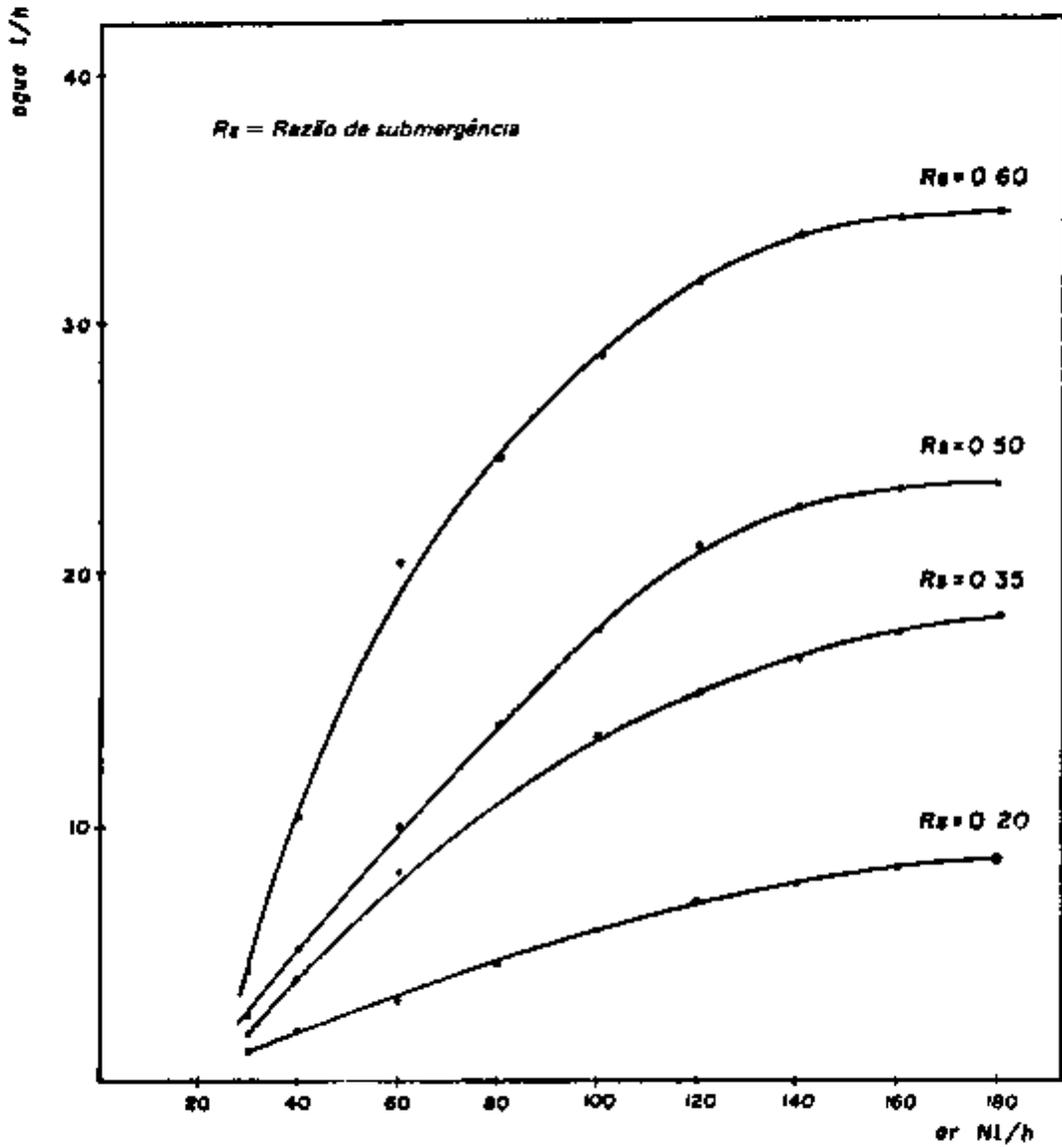


Figura 2 — Efeito da Razão de Submergência e da Vazão de Ar no Bombeamento de Água

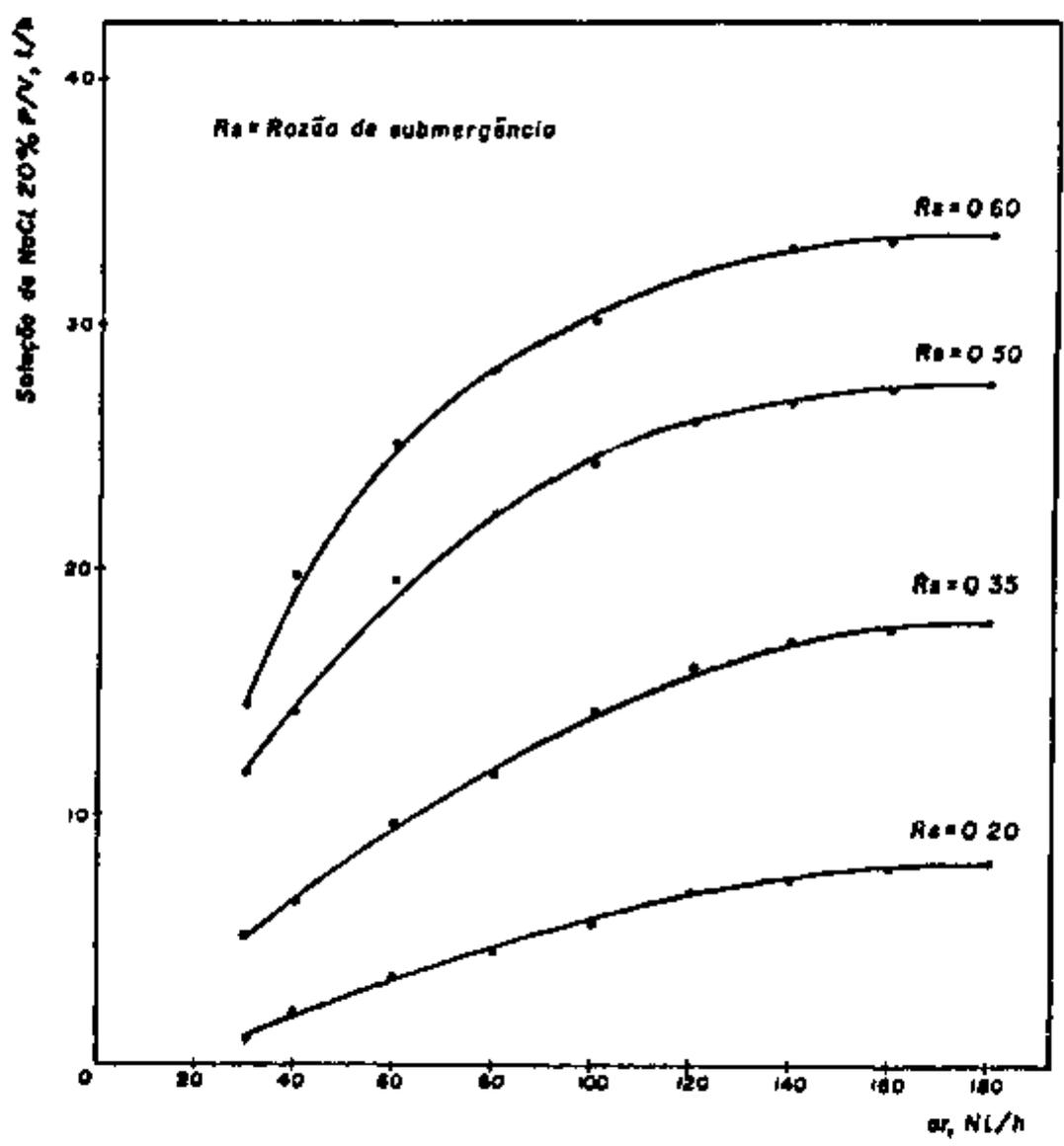


Figura 3 - Efeito de Razão de Submergência e da Vazão de Ar no Bombesmento de Solução de NaCl a 20% P/V

Tabela II

Efeito da Razão de Submersão no Bombeamento de Água

| Vazão do Ar (N2/h) | Razão de Submersão = 0,20 |              | Razão de Submersão = 0,35 |              | Razão de Submersão = 0,50 |              | Razão de Submersão = 0,60 |              |
|--------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
|                    | Vazão de líquido (Kg/h)   | Eficiência % |
| 30                 | 1,23                      | 16,59        | 1,97                      | 12,42        | 2,31                      | 7,92         | 4,37                      | 10,04        |
| 40                 | 2,01                      | 20,33        | 4,00                      | 18,92        | 5,17                      | 13,29        | 10,39                     | 17,89        |
| 60                 | 3,08                      | 20,77        | 6,18                      | 25,78        | 9,99                      | 17,12        | 20,40                     | 23,43        |
| 80                 | 4,59                      | 23,21        | 10,41                     | 24,62        | 13,92                     | 17,89        | 24,50                     | 21,10        |
| 100                | 5,86                      | 23,71        | 13,62                     | 25,77        | 17,72                     | 18,22        | 28,68                     | 19,76        |
| 120                | 7,00                      | 23,60        | 15,19                     | 23,96        | 21,02                     | 18,01        | 31,50                     | 18,09        |
| 140                | 7,67                      | 22,17        | 16,47                     | 22,26        | 22,38                     | 16,43        | 33,34                     | 16,41        |
| 160                | 8,43                      | 21,32        | 17,46                     | 20,66        | 23,10                     | 14,84        | 33,94                     | 14,62        |
| 180                | 8,66                      | 19,47        | 18,11                     | 19,04        | 23,36                     | 13,34        | 34,74                     | 13,30        |

Tabela III

Efeito da Razão de Submergência no Bombeamento de uma Solução de NaCl 20% P/V

| Vazão do Ar (N <sub>2</sub> /h) | Razão de Submergência = 0,20 |              | Razão de Submergência = 0,35 |              | Razão de Submergência = 0,50 |              | Razão de Submergência = 0,60 |              |
|---------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|
|                                 | Vazão de líquido (Kg/h)      | Eficiência % |
| 30                              | 1,32                         | 17,80        | 5,70                         | 35,95        | 13,48                        | 46,19        | 16,48                        | 37,85        |
| 40                              | 2,47                         | 24,98        | 7,19                         | 34,01        | 16,17                        | 41,55        | 22,36                        | 38,52        |
| 60                              | 3,93                         | 26,50        | 11,06                        | 34,88        | 22,14                        | 37,93        | 28,20                        | 32,38        |
| 80                              | 5,05                         | 25,54        | 13,22                        | 31,27        | 24,99                        | 32,11        | 31,74                        | 27,34        |
| 100                             | 6,18                         | 25,00        | 16,18                        | 30,61        | 27,13                        | 27,89        | 33,90                        | 23,36        |
| 120                             | 7,55                         | 25,46        | 18,14                        | 28,60        | 29,21                        | 25,02        | 36,10                        | 20,73        |
| 140                             | 8,28                         | 23,93        | 19,19                        | 25,83        | 29,97                        | 22,01        | 37,15                        | 18,28        |
| 160                             | 8,67                         | 21,92        | 19,63                        | 23,21        | 30,51                        | 19,60        | 37,58                        | 16,18        |
| 180                             | 8,98                         | 20,19        | 20,11                        | 21,14        | 30,89                        | 17,64        | 37,74                        | 14,45        |

observa de forma clara esta proporcionalidade em consequência das perdas devido à fricção capilaridade turbulência e pulsação do fluxo. Mesmo considerando-se o efeito quantitativo dessas variáveis é possível determinar o diâmetro adequado para um dado sistema air lift. Um método aproximado consiste em considerar os dados apresentados na Tabela IV. Esses dados foram obtidos em sistemas com diâmetros de 3/8 de polegada, 1/2 polegada e 1 polegada e altura total de 40 pés e permitem determinar o diâmetro ótimo com um erro inferior a 20%<sup>(6)</sup>.

Tabela IV

Razão Entre a Massa de Líquido Bombeado e o Volume de Ar em Função da Razão de Submergência

| Razão de Submergência % | Velocidade terminal máxima desejável ft/s | lb de líquido/ft <sup>3</sup> de ar (padrão) |
|-------------------------|---|--|
| 35                      | 60  | 109  |
| 60                      | 60  | 220  |
| 65                      | 50  | 385  |

Seleciona-se a razão de submergência a partir da altura líquida de elevação a ser alcançada  $h_L$  e a altura total ( $h_L + h_a$ ). Se a razão de submergência calculada for menor que 35% sugere-se usar dois ou mais sistemas air lift em série com razão de submergência entre 35 e 65%.

A partir da vazão requerida do líquido e dos dados fornecidos na Tabela IV, calcula-se o diâmetro dos tubos. A Tabela IV é utilizada também para determinar a razão lb de líquido/ft<sup>3</sup> de ar na razão de submergência escolhida. Caso os valores da razão de submergência sejam diferentes de 35, 60 e 65% pode-se usar interpolação linear. Por relação direta é possível determinar o volume de ar necessário para bombear a massa de líquido requerida em projeto. Somando-se a vazão volumétrica do ar de bombeamento com a vazão volumétrica do líquido e dividindo-se este valor pela velocidade terminal, fica determinada a seção transversal e consequentemente o diâmetro do tubo de bombeamento do líquido. O diâmetro de tubo determinado corresponde ao diâmetro mais adequado para a vazão do líquido escolhida. Podem ser feitas aproximações para os diâmetros comerciais além de se poder alterar a razão de submergência até que o diâmetro calculado se torne o mais próximo possível das medidas comerciais.

Determinado o diâmetro do tubo para o bombeamento do líquido determina-se o diâmetro do tubo de injeção de ar comprimido. O diâmetro do orifício de injeção do ar pode ser calculado pela seguinte equação empírica<sup>(6)</sup>:

$$D^2 = \frac{1.25 Q}{435 (P_1 - P_2) P_2 / T_1} \quad (9)$$

onde

$D$  = diâmetro do orifício em in

$Q$  = vazão volumétrica do ar em ft<sup>3</sup>/min (70° F, 14.7 psia)

$P_1$  = pressão à montante do orifício psia

$P_2$  = pressão à juzante do orifício psia

$T_1$  = temperatura absoluta à montante do orifício °R

A injeção de ar comprimido é feita por um tubo de diâmetro  $D$  determinado pela equação (9) soldado ao tubo por onde bombeia-se o líquido. Após a realização de testes variando-se a forma de injeção de ar com tubo reto ou cônico verificou-se que a forma de injeção de ar praticamente não interfere na capacidade de bombeamento de um sistema air lift<sup>(1,5)</sup>. A injeção do ar deve ser feita a uma altura tal que previna o seu retorno pelo outro ramo do tubo em U reduzindo a eficiência do sistema.

Obedecidos os critérios descritos pode-se projetar e instalar um sistema air lift com segurança. São necessários testes operacionais de modo a confirmar os melhores valores de pressão e vazão de ar. Após calibração operam-se sistemas air lift com reprodutibilidade satisfatória.

## 5 APLICAÇÕES

As aplicações dos sistemas air lift devem-se principalmente a sua simplicidade de operação e ausência de partes móveis.

Quando uma coluna de extração por solvente é muito longa faz-se necessário operar várias colunas menores em série. Esta solução embora seja prática quando se pensa na altura requerida para a instalação gera a necessidade de bombeamento de líquidos entre as colunas menores. Se os líquidos envolvidos são contaminantes ou possuem sólidos em suspensão pode-se usar um sistema air lift para garantir a transferência automática dos líquidos<sup>(3)</sup> sempre que o uso destes sistemas for vantajoso em comparação aos equipamentos de bombeamento disponíveis no mercado.

Sistemas air lift utilizando tubos com diâmetros pequenos são apropriados para alimentar soluções altamente radioativas a pequenos misturadores-decantadores ou colunas pulsadas. Nestes casos é impossível prever a taxa de bombeamento devido aos efeitos da capilaridade e tensão superficial em tubos com diâmetros pequenos. Entretanto é possível calibrar o sistema garantindo uma reprodutibilidade de medidas da ordem de 98%.

Um sistema air lift pode ser usado para circular líquidos que desenvolvem calor durante sua estocagem. A liberação de calor cria diferentes gradientes de temperatura e provoca ebulição localizada. Este fenômeno ocorre no armazenamento de rejeitos radioativos e a utilização do sistema air lift é útil devido a ausência de partes móveis.

Em indústrias radioquímicas os materiais envolvidos são valiosos e perigosos e o sistema de amostragem deve retirar apenas a quantidade exata para as análises requeridas. Devido a todos esses cuidados a retirada de amostras por sistemas air lift é segura. A operação consiste em borbulhar ar ou nitrogênio na tubulação de amostragem. A redução da densidade faz com que o líquido eleve-se na tubulação<sup>(6,7)</sup>.

## 6 CONCLUSÕES

A vantagem mais importante dos sistemas air lift é a ausência de partes móveis que permite operações praticamente sem manutenção mecânica. A vazão do líquido depende do diâmetro da tubulação usada o que possibilita um amplo intervalo de vazões de operação. Esses fatores aliados à boa reprodutibilidade das medidas torna possível a sua utilização em instalações radioquímicas.

Este trabalho foi apresentado no VII – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA realizado no Rio de Janeiro no período de 29/07/86 a 01/08/86.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 CHAMBERLAIN H V *Factors effecting capacity of air lifts* Washington D C Atomic Energy Comission Idaho Operations Office 1957 (IDO 14398)
- 2 COULSON J M & RICHARDSON J F *Chemical engineering* Oxford Pergamon 1970
- 3 FOWLER A H & JASNY G R Air lift pumps in multicolumn plants *Chem Eng Prog* 55(1) 64 5, 1959
- 4 IVENS E M *Pumping by compressed air* New York Wiley 1920
- 6 KEARSLEY G W T *Use of an air lift as a metering pump for radioactive solutions* Oak Ridge Tn Oak Ridge National Lab 1956 (ORNL 2175)
- 6 LANDRY J W High level sampling devices for radiochemical plants In UNITED NATIONS *Peaceful uses of atomic energy proceedings of the international conference on , held in Geneva 8 - 20 Aug 1955 V 9 Reactor technology and chemical processing* New York 1956 p 555-8
- 7 LONG J T *Engineering for nuclear fuel reprocessing* La Grange Park Ill American Nuclear Society 1978
- 8 PERRY J H *Chemical engineers handbook* New York McGraw Hill 1963