

# Comparação entre o custo de um polímero de arraste e o valor da energia elétrica economizada em instalações de recalque

**IVALDO MIRANDA COIADO**

Professor Livre-Docente do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Campinas — Unicamp.

**ANTONIO A.S. NOGUEIRA**

Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo — USP.

***Apresentam-se os resultados de uma pesquisa experimental sobre o uso de um polímero visando reduzir a energia elétrica despendida em instalações de recalque. Foi feita uma análise comparativa entre o custo do polímero redutor de arraste utilizado e o valor da energia elétrica economizada. Ficou demonstrado que, dependendo do comprimento da linha de recalque, da concentração do polímero e do tipo de instalação, o uso do polímero é economicamente viável.***

**D**iante da perspectiva de crise no suprimento da energia elétrica, o consumidor está sendo forçado a buscar alternativas que possibilitem maximizar o seu rendimento.

Uma das alternativas utilizadas freqüentemente pelos países desenvolvidos é o uso de polímeros redutores de arraste nos sistemas de bombeamento sujeitos a sobrecargas ocasionais, como aqueles das estações de tratamento de esgotos domésticos e resíduos industriais. Os sistemas podem ser dimensionados para uma descarga média. Nas horas de sobrecarga, a adição de polímeros redutores provoca o aumento da capacidade do sistema sem a necessidade de acrescentar mais energia.

O transporte de minérios, através de tubulação a longas distâncias, por ser uma das modalidades de transporte mais econômicas, vem sendo muito utilizado comercialmente, já há algum tempo, nos países do Primeiro Mundo. O maior obstáculo dessa modalidade de transporte é a velocidade alta de escoamento, necessária para manter os sólidos

em suspensão, resultando em consumo elevado de energia que vem sendo reduzido através da adição de polímeros. O uso de polímeros nesses tipos de transporte é apropriado, uma vez que a fase líquida pode ser recirculada, tornando o seu uso ainda mais viável economicamente.

A utilização de polímeros pode também prolongar os anos de operação de instalações de recalque existentes, dimensionadas para descargas médias e ultrapassadas pelo crescimento populacional. Nesses casos, o emprego do polímero economizará investimentos com ampliações dos sistemas.

Nos países desenvolvidos, devido à grande demanda de polímeros redutores de arraste, as indústrias químicas desenvolvem e fabricam, em escala comercial, os mais diversos tipos de polímeros, a custos baixos, viabilizando ainda mais o seu emprego.

No Brasil, esses polímeros ainda não são fabricados comercialmente para o uso específico em instalações de recalque. Sentiu-se, portanto, a necessidade de desenvolver este trabalho, para que os resultados publicados despertem interesse nos consumidores potenciais e nos fabricantes de polímeros.

Para o desenvolvimento da pesquisa, utilizou-se de uma bancada de ensaios, que permitiu levantar dados para investigar a influência de uma poliácridamida aniônica, solúvel em água, nas perdas de cargas ao longo da canalização de recalque, nas perdas hidráulicas no interior da bomba e nas curvas características da bomba (altura manométrica e rendimento).

A partir dos dados obtidos foi possível fazer um estudo comparativo entre o custo do polímero e o valor da energia elétrica economizada.

## **REVISÃO DE LITERATURA**

Embora somente nas duas últimas décadas tenham sido publicados os resultados de aplicações práticas do uso de polímeros como redutor da energia dissipada em instalações de recalque, a bibliografia registra o início de pesquisas sobre o assunto a partir de 1949 por (13).

Posteriormente, trabalhos sobre a influência de polímeros redutores de arraste nas perdas de carga em tubulações foram publicados por (10, 15, 14, 3, 8, 11 e 7).

A viabilidade econômica, para o caso de bombeamento de esgoto doméstico, foi demonstrada por (2, 12, 1 e 5); ao apresentarem os resultados experimentais da adição de polímeros especiais nas linhas de recalque. Chandler & Lewis (1) encontraram aumentos na vazão de esgoto recalcado de até 25%, ao adicionar o polímero à concentração de 15 a 40ppm em peso.

Para o caso da utilização de polímeros em instalações de recalque de misturas sólido-líquidas, a bibliografia registra os trabalhos de (9, 4 e 6), apresentando resultados de reduções na perda de carga de até 79% ao adicionar aquela substância ao escoamento.

## METODOLOGIA

Para a obtenção dos dados, instalou-se uma bancada que serviu para a realização dos ensaios com variação bastante flexível da velocidade de escoamento e das concentrações do sólido e do polímero.

A bancada é constituída por um circuito fechado. A bomba principal, localizada a três metros abaixo do nível de operação do reservatório principal, acoplada a um motor elétrico trifásico de 10 HP, succiona a solução ou mistura de um ponto médio do reservatório principal de 2.000 litros, recalca para o sistema de canalização constituída, em série, por trechos de duas e duas e meia polegadas de diâmetro, retornando ao reservatório principal ou desviada para um tanque volumétrico instalado sobre uma balança.

A solução desviada para o tanque volumétrico, após feitas as medidas de volume, peso e temperatura, retorna ao tanque principal através de bombeamento. A solução, no reservatório principal, é mantida homogênea por meio de uma bomba misturadora que succiona a solução ou mistura de um ponto médio do reservatório principal, injetando-a de baixo para cima através da parte inferior do mesmo.

As vazões e concentrações dos sólidos foram medidas pelos métodos volumétricos e gravimétricos, respectivamente.

As perdas de carga foram medidas, em dois trechos retos e horizontais de tubulações com duas e duas e meia polegadas de diâmetro, através de pares de piezômetros cujas tomadas de pressão distanciavam-se de dois metros e meio.

Para a obtenção das curvas características da bomba, sempre que a vazão era alterada mediam-se as alturas de sucção e recalque e a corrente elétrica.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### *Escoamentos de água e de soluções constituídas por água e polímero*

As reduções da perda de carga foram quantificadas, em termos percentuais, pela comparação entre os valores da perda de carga, correspondentes a uma mesma vazão, com e sem polímero,  $J_{cp}$  e  $J_{sp}$ , calculadas através da seguinte equação:

$$\Delta J = \frac{J_{sp} - J_{cp}}{J_{sp}} \cdot 100 \quad (1)$$

onde:

$\Delta J$  = redução da perda de carga, em percentagem;

$J_{sp}$  e  $J_{cp}$  = perdas de cargas unitárias sem e com polímero.

As reduções médias das perdas de carga, obtidas para a faixa de vazões compreendidas entre 4 a 14 ( /s), apresentam-se no quadro 1.

Verificam-se, no quadro 1, reduções significativas da perda de carga ao adicionar o polímero. Estas reduções crescem ao aumentar a concentração do polímero, mas tudo indica que as reduções máximas são limitadas, uma vez que ao passar da concentração de 400 para 600 ppm a variação das reduções não foi tão significativa, quando comparada, por exemplo, na passagem de concentração de 200 para 400 ppm.

As reduções maiores, verificadas no trecho de 2", deve-se ao fato de que os polímeros redutores de arraste têm o efeito de reduzir os movimentos irregulares secundários característicos do movimento turbulento. Como estes movimentos, para a mesma vazão, apresentam-se com intensidades mais elevadas no trecho de 2", é óbvio que as reduções neste conduto devem também ser maiores.

### *Escoamentos de misturas sólido-líquidas com e sem polímero*

Os dados referentes às reduções médias das perdas de carga, devido aos escoamentos de misturas bifásicas preparadas nas concentrações médias e iguais a  $(7,1 \pm 0,6)$  e  $(15,4 \pm 0,4)\%$  em volume da mistura, com e sem polímero, são apresentados do quadro 2.

Comparando os quadros 1 e 2, as reduções médias, correspondentes aos escoamentos da mistura de água-areia e influenciadas pela adição do polímero a várias concentrações, em qualquer um dos trechos da canalização, são sempre inferiores àquelas devido aos escoamentos das soluções de água polímero sem areia. Esta queda na eficiência do polímero, influenciada pela presença da areia, deve-se aos aumentos mais rápidos da temperatura do fluxo, uma vez que mais energia é despendida no sistema para manter a mistura homogênea no reservatório principal, através das bombas misturadoras.

Verifica-se, no quadro 2, maiores reduções no trecho da canalização de 2", independente da concentração do polímero. Fica demonstrado, mais uma vez, que o efeito redutor do polímero é tanto mais atuante à medida que a intensidade turbulenta apresenta-se com frequência maior.

O aumento da concentração da areia provoca queda na capacidade redutora do polímero. Para as soluções de polímero a 600 ppm, por exemplo, a redução média da perda de carga no trecho de 2" decresceu de  $(59,0 \pm 3,0)\%$  para  $(51,6 \pm 1,4)\%$ , ao aumentar a concentração de areia de 7,1 para 15,4% V.M.

### *Influência do polímero no desempenho da bomba centrífuga utilizada*

Os dados que permitiram estudar a influência do polímero nas curvas características da bomba utilizada, ao recalcar água limpa e misturas sólido-líquidas, sem e com polímero, foram sintetizados e apresentados nos quadros 3, 4 e 5.

Verifica-se, no quadro 3, elevação crescente da altura manométrica ao aumentar as concentrações do polímero e do sólido da mistura. Isto deve-se às reduções das perdas hidráulicas no interior da bomba, como podem ser constatadas no quadro 5.

As variações da altura manométrica, ao adicionar o polímero, comportam-se de forma semelhante às da perda de carga verificadas no escoamento ao longo de condutos, ou seja, tendem a ser constante com a elevação da concentração do polímero.

No quadro 4 observa-se elevação do rendimento do conjunto ao aumentar as concentrações do polímero e do sólido. É importante citar que os aumentos maiores, devidos ao polímero, ocorrem para a faixa de vazões onde estão localizados os pontos ideais de funcionamento da bomba, pontos de rendimentos máximos.

Verifica-se no quadro 5 que as perdas hidráulicas no interior da bomba decrescem com o aumento das concentrações do polímero e do sólido.

As reduções verificadas nas perdas hidráulicas no interior da bomba se devem à capacidade que tem o polímero de diminuir o atrito e de amortecer os turbilhões e os choques.

Observam-se elevações mais expressivas da altura manométrica e do rendimento ao aumentar a concentração da areia. Para concentrações de areia na ordem de 15,4% obteve-se aumentos na altura manométrica e no rendimento de até 14 e 18%, respectivamente.

A presença do sólido da mistura recalçada aumenta muito as perdas por atrito e por choques no interior da bomba. Em consequência desses aumentos, ocorrerão quedas crescentes da altura manométrica e do rendimento com a elevação da concentração do sólido recalçado. Portanto, tudo indica que o polímero é tanto mais eficiente à medida que em condições sem polímero as perdas são maiores.

### Comparação entre o custo do polímero e o valor da energia economizada

Para avaliar as vantagens econômicas do uso do polímero, em qualquer sistema novo de bombeamento, é necessário considerar os custos sem e com a adição do polímero decorrente do investimento inicial e de operação e manutenção.

A justificativa mais comum para o uso dos polímeros redutores de arraste é fundamentada através da relação *custo do polímero/valor da energia economizada*. Em alguns casos, a rapidez com a qual um sistema de injeção de polímero pode ser instalado, evitando, numa emergência, um colapso no sistema de bombeamento, passa a ser o fator mais importante na opção pelo polímero.

Preocupou-se, neste trabalho, apenas avaliar os custos do polímero e da energia ganha considerando duas alternativas. A primeira refere-se a um sistema fechado de bombeamento (recirculação), onde foram considerados os recalques de soluções de água e polímero e de misturas sólido-líquidas. A segunda trata de um sistema contínuo de bombeamento simulado, considerando os mesmos bombeamentos da primeira.

As comparações entre o custo do polímero e o valor da energia economizada foram feitas, considerando apenas os pontos de rendimentos máximos, para os quais normalmente procura-se dimensionar o conjunto moto-bomba.

### Valor da energia ganha devida à adição do polímero (C1)

O custo do consumo de energia elétrica num ano genérico, em termos de valor presente, é:

$$C1 = h_T \cdot P_s \cdot (Cz\$/kWh) \quad (1)$$

onde:

$h_T$  = total de horas anuais de bombeamento ( = 365 · 24.

$Q_a/Q_b$ ); (2)

$P_s$  = potência solicitada em kw ( = 9,83 ·  $Q_b \cdot H_m \cdot / n_c$ ); (3)

$H_m$  = altura manométrica ( =  $H_g + J \cdot L_v$ ); (4)

$Q_b$  = capacidade do sistema de recalque ( em  $m^3/s$ );

$Q_a$  = vazão média anual (em  $m^3/s$ );

$n_c$  = rendimento do conjunto;

$H_g$  = altura geométrica ( em metros);

$J$  = perda de carga unitária ( em m/m);

$L_v$  = comprimento virtual (em metros)

$$\Delta C | = C |_{sp} - C |_{cp} \quad (5)$$

onde:

sp = sem polímero;

cp = com polímero

Substituindo ( $h_T$ ), ( $P_s$ ) e  $H_m$  dados pelas equações (2), (3) e (4), fica:

$$\Delta C1 = 86 \cdot 110,8 \cdot Q_a \cdot (Cz\$/kWh) \cdot \left[ \left( \frac{H_g + J \cdot L_v}{n_c} \right)_{sp} - \left( \frac{H_g + J \cdot L_v}{n_c} \right)_{cp} \right] \quad (6)$$

O custo do polímero (C2) num ano genérico, considerando um sistema fechado de bombeamento, é:

$$C2 = \frac{8,76 \cdot C_p \cdot V_r}{t_p} \cdot (CZ\$/l) \quad (7)$$

onde:

$C_p$  = concentração do polímero (em ppm);

$t_p$  = tempo para a degradação do polímero (em horas);

$V_r$  = volume do reservatório (em  $m^3$ );

$CZ\$/l$  = custo de um litro de polímero no dia 12/10/88

O custo do polímero (C3) num ano genérico, considerando um sistema contínuo de bombeamento, é:

$$C3 = 31 \cdot 536 \cdot Q_a \cdot C_p \cdot (CZ\$/l) \quad (8)$$

O quadro 6 apresenta as perdas de carga unitárias da tubulação de recalque e os rendimentos correspondentes às vazões que fornecem os rendimentos máximos nas curvas características levantadas.

Substituindo na equação (6) os valores das grandezas apresentadas no quadro 6, obtém-se a energia ganha em cruzados apresentada no quadro 7.

Substituindo na equação (7):  $CZ\$/l = 1 \cdot 201,20$  (preço de 12/10/88) e  $V_r = 1,52 \cdot m^3$ , obtém os valores dos custos anual do polímero, considerando o sistema fechado de bombeamento, apresentados no quadro 8.

Substituindo na equação (8):  $Q_a = 12$  ( /s);  $CZ\$/l = 1 \cdot 201,20$ , obtém-se os valores dos custos anual do polímero, considerando um sistema contínuo de bombeamento, vistos no quadro 9.

Comparando os valores do custo da energia elétrica ganhos com os custos do polímero, apresentados nos quadros 7 e 8, verifica-se, mesmo no caso da bancada de ensaio utilizada (comprimento virtual de 35 metros), custos do polímero inferiores aos valores da energia economizada, independente da concentração do polímero utilizada.

Portanto, para os casos práticos em que se pode recircular a solução ou reutilizar a fase líquida da mistura, como em transportes de minérios, é vantajosa economicamente a opção pelo polímero.

Comparando os valores da energia ganha com os custos do polímero, apresentados nos quadros 7 e 9, verifica-se vantagem pelo uso do polímero, a partir de comprimentos virtuais próximos ou superiores a 2.000 metros, dependendo da grandeza da concentração do polímero. No caso em estudo, ao elevar o comprimento virtual da linha de recalque o valor da energia economizada ultrapassa pela primeira vez o custo do polímero para a concentração de polímero de 100 ppm (valores indicados por +).

Portanto, para os casos de sistemas contínuos de bombeamento deve ser feito um estudo econômico criterioso. Haverá neste caso um par de valores da concentração e do comprimento virtual, a partir do qual a opção pelo polímero será vantajosa.

Nos casos de bombeamento contínuo de misturas sólido-líquidas, verifica-se no quadro 6 quedas dos rendimentos da bomba ao aumentar a concentração da areia. Devido a isto, verificou-se que o valor da energia economizada ultrapassa pela primeira vez o custo do polímero para comprimentos virtuais da linha de recalque acima de 5 000 metros quando a concentração de areia é em torno de 7,1% e acima de 6 000 metros quando a concentração de areia for em torno de 15,4%.

Normalmente, os casos práticos do uso de polímeros redutores de arraste encontrados na bibliografia tratam de linhas de recalques longas. Por exemplo, pode-se citar transporte de resíduos industriais na Tchecoslováquia, através de condutos forçados com 4.100 metros de comprimento. Kolar *et alii* (13), realizaram as investigações de campo numa linha de recalque com 16.100 metros de comprimento.

## CONCLUSÕES

As reduções da perda de carga aumentam com a elevação da concentração do polímero, mas são limitadas pela própria concentração do polímero. As variações máximas de redução da perda de carga ocorreram para concentrações inferiores a 400 ppm.

As reduções maiores da perda de carga foram verificadas no trecho da canalização de diâmetro menor, alcançando valores médios da ordem de 67%.

A presença do sólido na mistura em escoamento diminui a capacidade redutora do polímero. Esta diminuição deve-se ao aumento rápido da temperatura, sendo mais significativa à medida em que se aumenta a concentração do sólido. As reduções médias máximas obtidas nos escoamentos de água limpa e de misturas de concentrações médias de areia igual a 7,1% e 15,4%, no trecho da canalização de 2", foram de 67%, 59% e 52%, respectivamente.

A altura manométrica e o rendimento do conjunto aumentaram e as perdas hidráulicas da bomba diminuíram com a elevação da concentração do polímero. Os acréscimos da altura manométrica e do rendimento foram de até 14% e 20%, respectivamente, enquanto que as reduções das perdas hidráulicas da bomba chegaram a 24%.

Nos sistemas contínuos de bombeamento existe um par de valores — comprimento virtual da linha de recalque e concentração do polímero — para o qual o uso do polímero é economicamente vantajoso.

Nos sistemas fechados de bombeamento (recirculação) o uso do polímero é economicamente vantajoso independente do comprimento da linha de recalque e das concentrações do polímero e do sólido utilizadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 — Chandler, R. W. & Lewis, W. R. — Control of sewer overflows by polymer injection, Dallas Water Utilities — Bachman Creek Project.

U.S. Environmental Protection Agency, Report: EPA — 600/2-77-189, september, 1977.

2 — Forester, R. H. *et alii* — Effects of polymer addition on friction in a 10 inch diameter pipe. *Journal of Hydronaut.*, Vol. 3: 59-62, January, 1969.

3 — Hayes, J. W. & Hutton, J. F. — *The effect of very dilute polymer solutions on the formation of Taylor vortices*. Comparison of theory with experiment. *Prog. heat and Mass Transfer*, Pergamon Press, Vol. 5: 195-209, 1972.

4 — Herod, J. E. & Tiederman, W. G. — Drag reduction in dredge — spoil pipe flow. *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 100 (Nº HY 12): 1863-1866, december, 1974.

5 — Hull, D. H. — Polymer helps "overflows" go down the drain. *Water and Wastes Engineering*, 55-56, may, 1978.

6 — Kolar, V. *et alii* — Experiments with a drag reducing polymer in an ash-slag hydrotransport pipeline, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 26: 143-148, september, 1988.

7 — McComb, W. D. & Chan, K. T. J. — Laser-Doppler anemometer measurements of turbulent structure in drag-reducing fibre suspensions. *Journal of the Fluid Mechanic*. Vol. 152: 455-478, august, 1984.

8 — Metzner, A. B. — Polymer solution an fiber suspension rheology and their relationship to turbulent drag reduction. *Ph Fluids*, Vol. 26: 145-149, 1977.

9 — Porph, M. *et alii* — Drag reduction in hydraulic transport of solids. *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 96 (Nº HY4): 903-909, april, 1970.

10 — Ram, A. *et alii* — Reduction of friction in oil pipelines by polymer additives. *Industry Engineering Chemical*, Vol. 6: 309-313, july, 1967.

11 — Sellin, R. H. & Hoyt, J. W. — The Effect of Drag — reducing Additives on Fluid Flows and their Industrial Applications. Part. 1: Basic Aspects. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 20 (Nº 1): 29 - 68, 1982.

12 — Seyer, F. A. & Metzner, A. B. — Turbulence phenomeno drag-reducing systems. *Journal of Chemical Engineering*, Vol. 15 (Nº 3) 426-434, 1969.

13 — Toms, B. A. — Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers. First International Rheological Conference, Netherlands, in 1948. Book published by North-Holland Publication, Vol. 11 (Pt 2): 135-142, 1949.

14 — Virk, P. S. — Drag reduction in rough pipes. *Journal of the Fluid Mechanic*, Vol. 45 (Nº 2): 225-246, 1971.

15 — White, A. — Some observations on the flow characteristics for certain dilute macromolecular solutions, *Viscous Drag Reduction*. Plenum Press, 297-311, 1969.

## Agradecimento

Os autores agradecem à Fapesp-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio financeiro concedido ao desenvolvimento deste trabalho.

**Quadro 1**  
**Redução média da perda de carga com a**  
**concentração do polímero**

Diâmetro	Cp ppm	(ΔJ) em %				
		50	100	200	400	600
2"		12,2 ± 1,5	30,8 ± 2,4	47,5 ± 0,7	62,5 ± 2,4	67,2 ± 2,9
2"1/2		10,0 ± 2,4	18,3 ± 1,7	21,7 ± 1,7	35,9 ± 3,6	41,8 ± 3,5

**Quadro 2**  
**Redução média da perda de carga com a concentração do polímero. Escoamentos de**  
**misturas bifásicas sem e com polímero**

Concentração média de areia em % V.M.	Cp ppm Diâmetro	(ΔJ) %		
		100	400	600
7,1 ± 0,6	2"	9,7 ± 2,9	54,6 ± 1,6	59,0 ± 3,0
	2"1/2	7,7 ± 1,8	30,1 ± 7,0	34,8 ± 5,6
15,4 ± 0,4	2"	7,8 ± 4,7	43,7 ± 4,9	51,6 ± 1,3
	2"1/2	7,3 ± 4,7	27,3 ± 5,7	31,4 ± 5,2

**Quadro 3**  
**Acréscimos médios da altura manométrica da bomba**

Tipos de recalque	Concentração do polímero em ppm			
	100	200	400	600
Água	3,3 ± 0,8	4,7 ± 1,0	5,9 ± 0,9	6,1 ± 1,0
Mistura C = (7,1 ± 0,6)% V.M.	4,0 ± 3,6	6,1 ± 1,3	8,8 ± 1,7	8,8 ± 1,8
Mistura C = (15,4 ± 0,4)% V.M.	3,2 ± 1,4	8,4 ± 2,8	11,3 ± 2,3	13,7 ± 1,7

**Quadro 4**  
**Acréscimos médios do rendimento do conjunto motor-bomba**

Tipos de recalque	Concentração do polímero em ppm			
	100	200	400	600
Água	8,9 ± 0,6	11,2 ± 2,1	13,3 ± 2,6	13,9 ± 2,4
Mistura C = (7,1 ± 0,6)% V.M.	3,8 ± 3,1	9,6 ± 3,2	14,4 ± 1,7	13,5 ± 2,0
Mistura C = (15,4 ± 0,4)% V.M.	4,8 ± 4,1	9,4 ± 3,1	13,3 ± 2,9	17,5 ± 3,0

**Quadro 5**  
Reduções médias das perdas hidráulicas da bomba

Tipos de recalque	Concentração do polímero em ppm			
	100	200	400	600
Água	3.2 ± 2.9	5.7 ± 1.2	6.9 ± 2.0	8.2 ± 1.9
Mistura $\bar{C} = (7.1 \pm 0.6)\% \text{V.M.}$	5.5 ± 2.1	9.8 ± 2.6	12.8 ± 1.5	13.3 ± 1.1
Mistura $\bar{C} = (15.4 \pm 0.4)\% \text{V.M.}$	5.0 ± 1.1	13.8 ± 3.3	16.8 ± 3.0	20.5 ± 3.4

**Quadro 6**  
Perdas de carga unitárias e rendimentos correspondentes às vazões que fornecem o máximo rendimento do conjunto.

$C_p$ (ppm)	Concentração de areia em % do volume da mistura					
	ZERO		7.1		15.4	
	J (m/m)	$n_c$ %	J (m/m)	$n_c$ %	J (m/m)	$n_c$ %
0	0,57	37,5	0,43	34,0	0,50	31,0
50	0,51	39,5	—	—	—	—
100	0,39	40,0	0,37	35,0	0,47	32,2
200	0,30	40,5	—	—	0,42	33,5
400	0,20	42,0	0,20	38,8	0,28	34,8
600	0,17	42,0	0,17	39,2	0,24	36,0

**Quadro 7**  
Valor anual da energia ganha, em cruzados, numa instalação de recalque de água tratada, em função da concentração do polímero e do comprimento virtual da canalização de recalque.

Comprimento virtual (m)	$\Delta \text{Cl}$ (em 1000 CZ\$)				
	Concentração do polímero em ppm				
	50	100	200	400	600
35	350	827	1 181	1 583	2 103
* 2 000	19 682	+ 46 862	67 004	89 752	95 893
* 3 000	+ 29 520	+ 70 290	+ 100 501	134 621	143 833
* 4 000	+ 39 358	+ 93 718	+ 133 999	179 491	191 173
* 5 000	+ 49 195	+ 117 145	+ 167 497	+ 224 361	239 713

Observações: \* valores adotados para efeito de análise valor da energia elétrica fornecido pela CPFL em 12/10/88 + valores maiores que os dos custos do polímero no sistema contínuo de bombeamento.

**Quadro 8**  
Custo anual do polímero, considerando  
o sistema fechado de bombeamento.

Tempo de degradação do polímero em horas	C2 (em 1 000 Cz\$)				
	Concentração do polímero em ppm				
	50	100	200	400	600
6	133	267	533	1 066	1 599
4	200	400	800	1 599	2 399

**Quadro 9**  
Custo anual do polímero, considerando um sistema  
contínuo de bombeamento.

C3 (em 1 000 CZ\$)				
50	100	200	400	600
22 729	45 457	90 915	181 829	272 742