

Emprego da flotação por ar dissolvido para tratamento de despejos líquidos industriais provenientes de laticínios

ENG.^o LUIZ DI BERNARDO (*)
ENG.^o JOÃO DONIZETE RAZABONI (**)
ENG.^o ROSEMIRO J. DE REZENDE (**)

RESUMO

A flotação é uma operação unitária que tem sido utilizada com sucesso para o tratamento de águas residuárias e de águas de abastecimento.

Este trabalho apresenta uma descrição dos sistemas de flotação por ar dissolvido e os fundamentos teóricos, enfatizando-se os parâmetros que governam tal operação unitária.

Utilizando-se dos despejos líquidos industriais provenientes de uma usina de leite (Cooperativa de Laticínios de São Carlos — SP — Brasil), realizou-se uma investigação experimental, dividida em duas etapas: (1) estudos sobre a floculação dos despejos líquidos, utilizando-se de cal, sulfato de alumínio, polieletrólito catiônico (Drew-floc 21) e polieletrólito aniônico (Drew-floc 225); (2) estudos da flotação por ar dissolvido da suspensão obtida através da floculação dos despejos líquidos, empregando a pressurização da recirculação e a pressurização total. Para ambos sistemas de flotação, variou-se a pressão entre 3 e 6 atmosferas; para o sistema com pressurização da recirculação, variou-se, também, a taxa de recirculação entre 50 e 200% da vazão de despejo floculado.

Com base no trabalho experimental realizado, concluiu-se que a floculação dos despejos líquidos de uma usina de leite pode ser realizada com sucesso quando se empregam as seguintes dosagens: 250 mg/l de sulfato de alumínio, 250 mg/l de cal e 0,01 mg/l de polieletrólito aniônico. A flotação dos despejos líquidos floculados com estes produtos químicos apresenta eficiência elevadíssima de remoção de sólidos, DQO e óleos e graxas, chegando-se a valores compreendidos entre 90 e 98%.

SUMMARY

Dissolved-air floatation has been successfully used as one of the unit operation in water and wastewater treatment plants.

This work presents a brief description of the pressurization systems usually considered when dissolved air floatation is used the main parameters that govern this unit operation.

An experimental investigation, divided in two phases, was conducted to study both, the flocculation of dairy wastes with alum, lime and cationic and anionic polyelectrolytes and the floatation of the suspension resulting from the first phase. The pressure in the air-liquid mixture chamber was varied from 3 to 6 atmospheres for both, the total pressurization and the recycle pressurization

methods. The recycling rate for the later was varied from 50 to 200% of the suspension flow rate.

Based on this study it was concluded that the flocculation can be achieved with success when using the following doses: 250 ml/l of alum, 250 mg/l of lime and 0,01 mg/l of anionic polyelectrolyte (Drew-floc 225). Both the floatation methods studied can accomplish high removals of Chemical Oxygen Demand, suspended solids and Oil and Grease that lie between 90 and 98%.

1. INTRODUÇÃO

A flotação é uma operação unitária que tanto pode ser utilizada no tratamento de águas residuárias como no tratamento de águas de abastecimento. A sua aplicação no tratamento de águas residuárias tem sido normalmente restrita à separação de óleo e material graxo, espessamento de lodo em sistema de lodos ativados e separação de águas de efluentes de lagoas de estabilização. O seu uso em tratamento de águas de abastecimento é recente e, geralmente, aplicável à clarificação de água de cor elevada.

A maior parte dos trabalhos publicados sobre a flotação referem-se ao fornecimento de dados de operação de instalações existentes e que, muitas vezes, podem não estar funcionando.

(*) Prof. Assistente Doutor — da Escola de Engenharia de S. Carlos-USP-Brasil.

(**) Alunos de Pós-graduação.

do de acordo com as condições ótimas de pressão e/ou recirculação. É possível que, em alguns casos, os componentes da instalação não apresentam características hidráulicas compatíveis com aquelas necessárias para que a flotação seja realizada eficientemente. Dentre os principais trabalhos publicados sobre a aplicação da flotação por ar dissolvido para o tratamento de despejos líquidos industriais, destacam-se os realizados por Biesinger (1), Boyd e Shell (2) e Maia e Bezerra (6). A flotação merece atenção especial de alguns livros específicos sobre o tratamento de despejos industriais como o de Eckenfelder (3) e Lipták (5). São discutidos nestes trabalhos, as principais características e parâmetros que governam a flotação por ar dissolvido, assim como são fornecidos dados de operação de instalações existentes em frigoríficos, indústrias de papel e papelão, de conservas alimentícias, refinarias de petróleo e óleo comestíveis, etc.

Atualmente, ainda não se dispõe de dados da literatura, onde houvesse sido investigada a influência da pressão e da recirculação na eficiência da flotação e nem de um trabalho específico do emprego de um sistema conjugado de floculação - flotação para o tratamento de despejos líquidos provenientes de laticínios. Assim, o presente trabalho foi realizado com despejos líquidos provenientes de laticínios e tem os seguintes objetivos:

- investigar, em aparelho de "Jar-Test", a possibilidade do tratamento de tais despejos mediante a aplicação de sulfato de alumínio, cal e polieletrólito;
- investigar a aplicabilidade da flotação por ar dissolvido, em conjunto com a floculação dos despejos líquidos, como as únicas unidades de tratamento;
- investigar a influência que a taxa de recirculação e a pressão na câmara de pressurização exercem na eficiência da flotação.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO

2.1. MECANISMOS DE CONTATO ENTRE BOLHAS DE GÁS E PARTÍCULAS SUSPENSAS

A flotação por ar dissolvido consiste na combinação de bolhas de gás com partículas suspensas ou material graxo e oleoso, causando uma diminuição da densidade destas partículas em relação à fase líquida. Considera-se três mecanismos como os responsáveis pela

aderência das bolhas de gás no material a ser flotado: (i) aderência de bolhas ascendentes de gás com a partícula suspensa ou precipitação direta delas sobre a partícula suspensa; (ii) aprisionamento de bolhas de gás na estrutura dos flocos; (iii) absorção e adsorção de bolhas de gás nos flocos durante a formação dos mesmos. A Figura 1 apre-

senta um esquema ilustrativo destes três mecanismos.

2.2. TIPOS DE SISTEMAS DE PRESSURIZAÇÃO

Em função do método de pressurização aplicado, a flotação pode ser realizada de três modos distintos, como mostra a Figura 2.

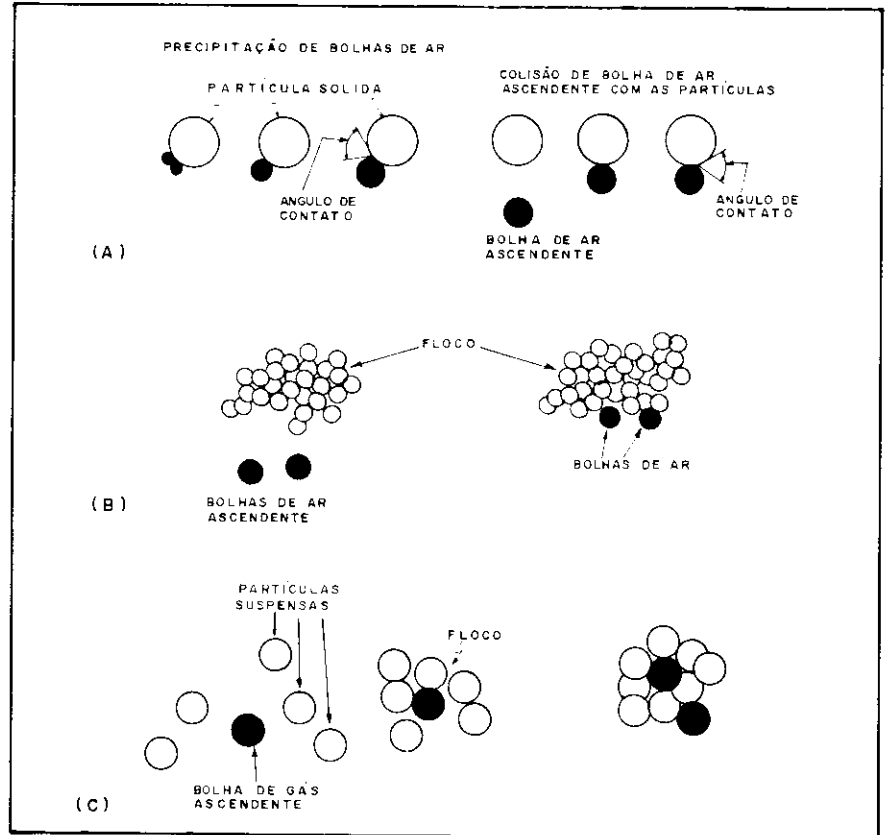


FIG. 1 - ESQUEMAS ILUSTRATIVOS DOS MECANISMOS DE ADERÊNCIA (I)

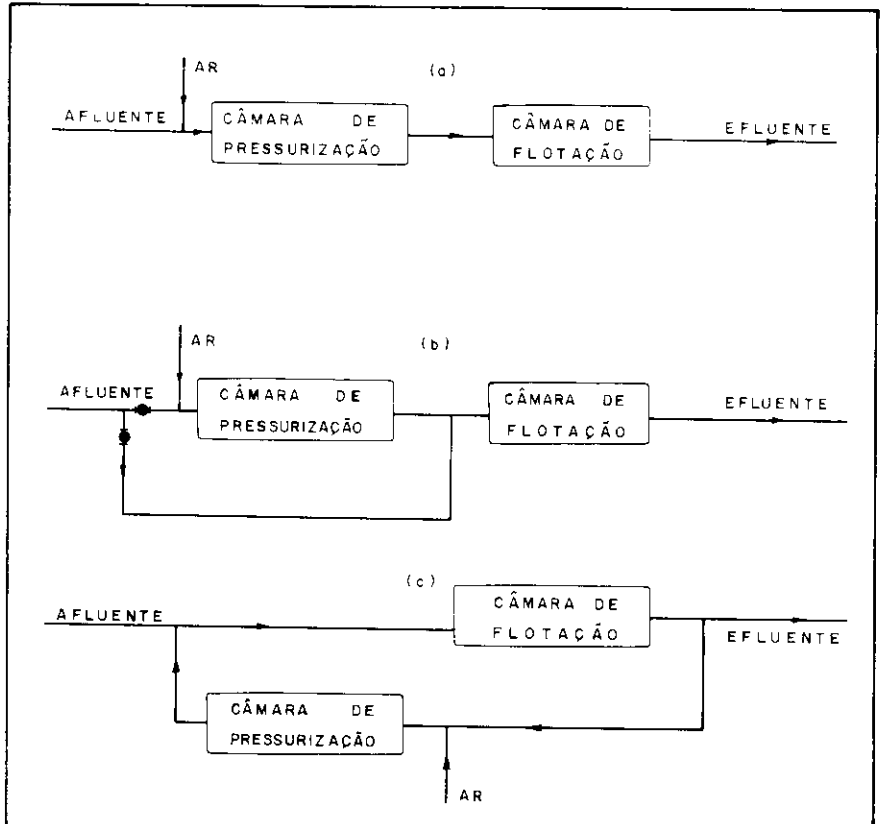


FIG. 2 - ESQUEMAS ILUSTRATIVOS DE PRESSURIZAÇÃO

No caso a da figura 2, tem-se a pressurização total do afluente. Em geral, este sistema é utilizado quando o afluente contém grande quantidade de partículas suspensas ou de óleo e que podem passar através da câmara de pressurização, onde a agitação é intensa, sem que haja prejuízo à eficiência de tratamento. A regularização de vazão do afluente ou o retorno de parte do efluente da câmara de flotação ao tanque de sucção ou de regularização de vazão é indispensável para evitar interrupções que prejudiquem o funcionamento da instalação.

No caso b da figura 2, tem-se a pressurização parcial do afluente, que normalmente é utilizada quando o afluente apresenta concentrações relativamente baixas de partículas suspensas ou de óleo. Do mesmo modo que no caso a, a agitação intensa existente na câmara de pressurização não deve prejudicar a eficiência de tratamento. Assumindo-se constante a parcela pressurizada e igual, por exemplo, à vazão mínima do afluente, a parcela remanescente e não pressurizada, poderia ser recalçada através de uma bomba de rotação variável, evitando-se o uso de tanque de regularização de vazão.

No caso c, tem-se a pressurização da recirculação da câmara de flotação, utilizada sempre que a mistura intensa existente na câmara de pressurização puder prejudicar os flocos ou partículas de óleo suspensas no afluente. Este sistema é normalmente usado quando se tem tratamento físico-químico de óleo emulsionado ou para clarificação e/ou adensamento de suspensões floculentas. Como se pressuriza o efluente de flotação, a dissolução de ar é mais eficiente neste caso. Entretanto, a câmara de flotação deve ter área superficial superior aos casos anteriores, pois é resultante de uma taxa de escoamento superficial que leva em conta a vazão do afluente e da recirculação.

2.3. RELAÇÃO AR-SÓLIDOS

A eficiência de uma instalação de flotação depende de inúmeros fatores, porém, a relação ar-sólidos tem sido considerado o parâmetro mais significativo. Este parâmetro depende, essencialmente do tipo de suspensão a ser flotada. Na prática, encontram-se valores variando desde 0,006, nos casos de tratamento de despejos de indústrias de óleos comestíveis e de papel, até 0,06, no caso de espessamento de lodo biológico (2, 3, 6).

A relação ar-sólidos pode ser calculada mediante o emprego das equações 1 ou 2, conforme o caso em questão.

- sem recirculação;

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 \cdot S_a (f \cdot P - 1)}{S_s} \quad (1)$$

- com recirculação.

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 \cdot S_a (f \cdot P - 1)}{S_s} \cdot \frac{Q_r}{Q_a} \quad (2)$$

onde:

$\frac{A}{S}$: massa de ar liberado pela despressurização por massa de sólidos presentes no afluente (mg/mg).

S_a : solubilidade do ar na água à pressão atmosférica (ml/l).

S_s : concentração de sólidos suspensos presentes no afluente (mg/l).

f : eficiência da dissolução do ar na água na pressão P.

Q_r : vazão de recirculação (l/s).

Q_a : vazão do afluente (l/s).

A solubilidade do ar na água limpa depende da temperatura, conforme a Figura 3, reproduzida da referência (3).

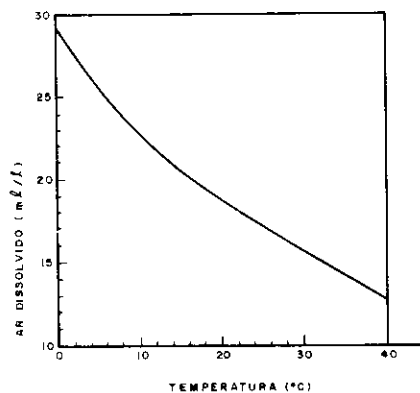


FIG. 3 — RELAÇÃO ENTRE A SOLUBILIDADE DO AR NA ÁGUA A PRESSÃO ATMOSFÉRICA E A TEMPERATURA (3)

O fator f depende das características físicas e químicas da água e da pressão mantida na câmara de pressurização. O valor de f está compreendido entre 0,5 para sistemas de pressurização total ou parcial e 0,8 para sistemas com recirculação. O pH e a pressão influenciam significativamente no tamanho das bolhas de ar, como mostram as figuras 3 e 4 (A).

A figura 4 mostra que, de um modo geral, o aumento de pressão con-

duz a diminuição do tamanho das bolhas de ar e proporcionando uma superfície maior de contato entre ar e flocos. Porém, a partir de 5 atmosferas, o efeito do aumento de pressão se torna praticamente desprezível em relação ao tamanho das bolhas de ar.

A figura 5 mostra que o pH influi significativamente no tamanho das bolhas, porém, para valores de pH superiores a 7, o tamanho das bolhas praticamente não se altera.

2.4. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DOS SISTEMAS DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO

2.4.1. Dispositivo de Fornecimento de Ar

O ar tanto pode ser inserido na sucção como no recalque das bombas, quer se tenha um sistema de pressurização total ou de recirculação. Em qualquer caso, a vazão de ar que pode ser introduzida é limitada, pois ocorre uma diminuição instantânea de vazão e pressão da bomba, chegando-se à completa paralização do recalque de água. Por ser extremamente difícil o controle da vazão máxima de ar admissível na sucção, o ar tem sido normalmente introduzido na canalização de recalque, em um dispositivo misturador, como por exemplo, um venturi. O ar pode ser fornecido por meio de um compressor rotativo ou por meio de um compressor provido de reservatório. Em qualquer caso, a introdução de ar deve ser controlada, e de preferência, utilizar-se de uma válvula cônica, que permite um ajuste mais adequado da vazão de ar, que deve ser medida através de um dispositivo qualquer, como um rotâmetro.

Conhecendo-se a relação ar-sólidos que apresenta a eficiência ótima, determina-se a vazão de ar que deve ser fornecida e conseqüentemente, torna-se possível especificar o compressor.

2.4.2. Câmara de Pressurização

O despejo líquido ou a vazão de recirculação com o ar penetra na parte superior da câmara de pressurização e sai pela parte inferior. Esta câmara deve dispor de uma ventosa, para expulsar o excesso de ar, de válvula de segurança e de um manômetro que permita conhecer a pressão no interior da câmara.

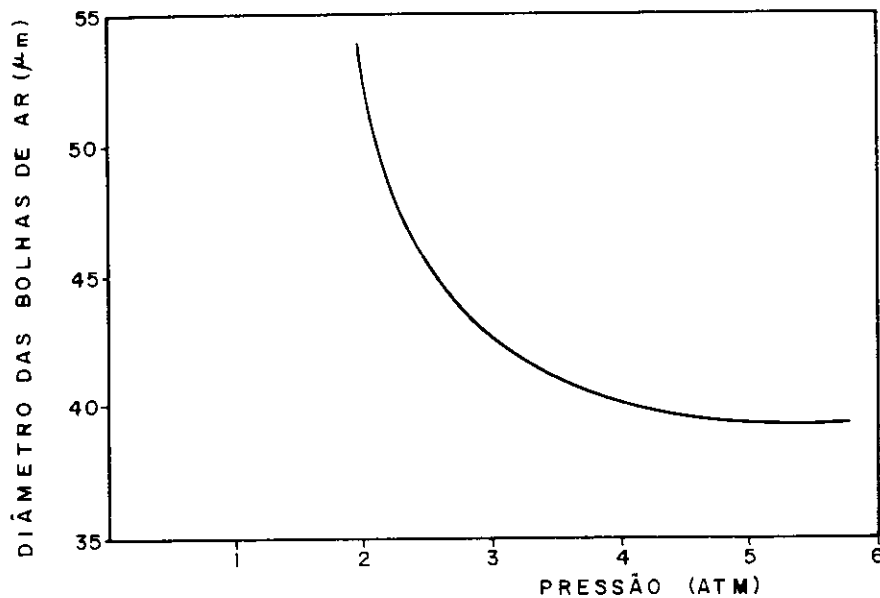


FIG. 4 – INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NO TAMANHO DAS BOLHAS DE AR

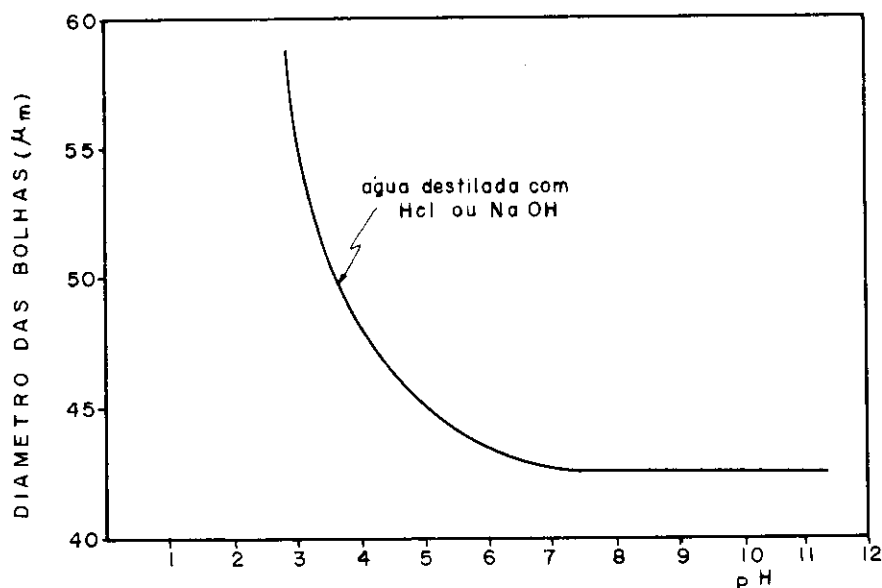


FIG. 5 – INFLUÊNCIA DO pH NO TAMANHO DAS BOLHAS DE AR

A canalização de saída deve dispor de uma válvula redutora de pressão que permita ajustar a perda de carga para a pressão adequada a ser mantida na câmara de pressurização.

O tempo médio de detenção nesta câmara varia entre 1 e 3 minutos (3).

2.4.3. Câmara de flotação

O despejo líquido despressurizado ou a mistura do despejo líquido com a recirculação, são encaminhados para a câmara de flotação, onde entram pela parte inferior e em uma câmara de expansão. Na parte superior, o material flotado é coletado continuamente em uma canaleta com auxílio de um raspador automático e, posteriormente, é transferido para um recipiente externo.

A parte líquida é coletada em canaleta externa e encaminhada para uni-

dades de tratamento subsequentes ou disposta convenientemente.

A área superficial da parte correspondente à flotação propriamente dita, é calculada a partir da taxa de escoamento superficial, normalmente compreendida entre 3 e 10 m³/m². h (5).

O tempo médio de detenção na câmara de flotação é geralmente adotado entre 20 e 30 minutos (3).

3. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

A investigação experimental foi realizada com os despejos líquidos provenientes da Cooperativa de Laticínios de São Carlos (SP-BRASIL). Basicamente, os despejos líquidos são provenientes das lavagens de latões, caixas plásticas, pisos e recipientes de pasteurização do leite.

O trabalho experimental foi realizado em duas etapas: (1) ensaios de floculação em aparelho de "Jar-Test", utilizando-se de uma amostra composta e de cal, sulfato de alumínio, polieletrólito catiônico (Drew-floc 21) e polieletrólito aniônico (Drew-floc 225) como produtos químicos; (2) ensaios de flotação, utilizando-se como afluente à instalação, o despejo floculado conforme resultados da fase 1.

3.1. ENSAIOS DE FLOCULAÇÃO

3.1.1. Características dos Ensaios

Os seguintes parâmetros foram empregados para a realização dos ensaios de floculação:

- tempo de mistura rápida: 3 minutos a 100 rpm
- tempo de floculação: 20 minutos a 50 rpm
- tempo de sedimentação: 30 minutos

3.1.2. Características da Amostra de Despejo Líquido

Foi utilizada uma amostra composta, cujas principais características são apresentadas no QUADRO I.

QUADRO 1

CARACTERÍSTICA	MEDIDA
DQO (mg/l)	1036
DOC ₅ (mg/l)	704
Óleos e Graxas (mg/l)	636
Sólidos Totais Flocos (mg/l)	567
Sólidos Totais Veláveis (mg/l)	667
Sólidos Suspensos (mg/l)	426
Sólidos Dissolvidos (mg/l)	808
pH	5,6
Temperatura (°C)	26
Turbidez (UT)	120

3.1.3. Resultados e Discussão

O QUADRO II apresenta, de forma resumida, os resultados obtidos.

Os resultados constantes do QUADRO II mostram que é possível tratar os despejos líquidos provenientes de laticínios através de processo físico-químico, pois como se pode observar, é possível de se obter remoção de DQO da ordem de 90% (ensaio nº 6).

Verifica-se também no QUADRO II, que além de necessitar de dosagens menores, o polieletrólito aniônico produz resultados superiores ao catiônico. O emprego de somente sulfato de alumínio e cal conduz ao uso de dosagens substancialmente mais elevadas.

QUADRO II

ENSAIO	FRASCO	CAL (mg/l)	SULFATO DE ALUMÍNIO (mg/l)	POLIELETRÓLITO (mg/l)		CARACTERÍSTICAS DO SOBRENADANTE			OBSERVAÇÃO
				CATIÔNICO	ANIÔNICO	TURBIDEZ (UT)	DQO FILTRADA (mg/l)		
1	1	400	400	—	—	10,0	—	—	Frasco 1 selecionado - observações visuais
	2	300	300			9,6			
	3	200	200			8,9			
	4	100	200			7,2			
2	1	250	400	—	—	7,1	2,7	—	Frasco 3 - selecionado
	2	300	400			7,7	2,7		
	3	450	400			8,6	1,5		
	4	550	400			10,0	1,0		
3	1	400	250	—	—	9,7	1,4	254	—
	2	400	350			9,0	1,0	222	
	3	400	450			8,1	0,6	198	
	4	400	600			7,5	1,0	198	
4	1	250	250	0,010	—	7,6	2,0	202	—
	2	250	250	0,050		7,5	1,8	226	
	3	250	250	0,075		7,4	4,0	166	
	4	250	250	0,100		7,5	4,2	194	
	5	250	250	0,120		7,6	4,6	139	
5	1	300	350	0,010	—	7,6	3,8	157	—
	2	300	350	0,050		7,7	3,6	169	
	3	300	350	0,075		7,6	2,8	94	
	4	300	350	0,120		7,8	5,2	90	
6	1	250	250	—	0,010	7,7	5,3	99	—
	2	250	250		0,050	7,7	4,5	81	
	3	250	250		0,075	7,9	5,0	112	
7	1	300	350	—	0,010	7,5	3,2	112	—
	2	300	350		0,050	7,3	2,0	99	
	3	300	350		0,075	7,8	4,5	91	

Apesar das remoções relativamente elevadas de DQO, deve-se ressaltar que as medidas foram feitas filtrando-se amostras do sobrenadante dos frascos em virtude de ter sido verificada a presença excessiva de sólidos suspensos.

Para efeito de realização da segunda etapa do trabalho experimental, foram adotadas as seguintes dosagens de produtos químicos:

- sulfato de alumínio: 250 mg/l

- cal: 250 mg/l
- polieletrólito aniônico: (Drew-floc 225): 0,01 mg/l

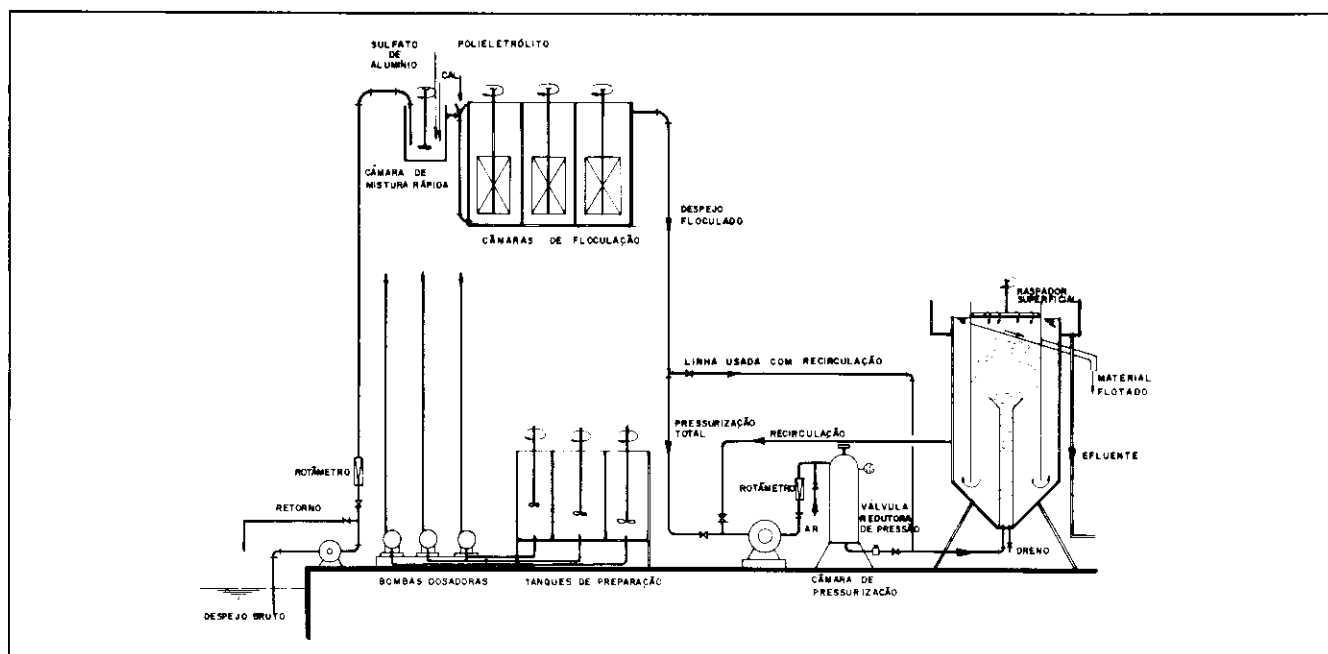
3.2. ENSAIOS DE FLOTAÇÃO

3.2.1. Descrição e Funcionamento da Instalação Piloto

A instalação piloto era constituída de: bomba centrífuga para recalque dos despejos brutos, rotâmetros,

câmara mecanizada de mistura rápida, três câmaras em série para floculação, tanques de preparação de suspensões de cal e sulfato de alumínio e de solução de polieletrólito, três bombas dosadoras do tipo diafragma, bomba centrífuga para recirculação, rotâmetro, câmara de pressurização, compressor tipo rotativo, válvula redutora de pressão e câmara de flotação. A Figura 6 apresenta um esquema ilustrativo da instalação piloto utilizada.

FIG. 6 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DA INSTALAÇÃO PILOTO



3.2.2. Metodologia dos Ensaios

Para o caso da pressurização da vazão de recirculação, foram programados 16 ensaios, com a pressão variando entre 3 e 6 atmosferas e vazão de recirculação entre 150 e 600 l/h, correspondendo respectivamente, a 50 e 200% da vazão do afluente floculado. No caso da flotação com pressurização total, foram investigados valores de pressão entre 3 e 6 atmosferas e vazão constante do afluente, igual a 300 l/h, resultando um número de 4 ensaios.

A coleta de amostras era feita levando-se em conta os tempos médios de permanência nas unidades intermediárias. Foram coletadas amostras do despejo bruto, floculado e do efluente da câmara de flotação. Em adição, foram coletadas amostras do material flotado. O QUADRO III apresenta as medidas efetuadas e os objetivos.

A instalação foi construída de modo a possibilitar que dois daqueles três métodos de pressurização apresentados na figura 2 fossem empregados, quais sejam: (1) pressurização da vazão de recirculação; (2) pressurização total.

De início, era acionada a instalação de floculação, compreendendo a bomba de despejo bruto, bomba dosadoras e tanques de mistura rápida e lenta, para uma vazão de despejo constante de 300 l/h. O efluente desta instalação era descartado até o momento em que se verificava, por meio de amostras

AMOSTRA	CARACTERÍSTICAS MEDIDAS	OBJETIVO
Despejo Bruto	DQO, Óleos e Graxas, pH, temperatura, sólidos suspensos	Verificar a eficiência de remoção na flotação
Efluente da Unidade de Floculação	Sólidos Suspensos	Determinação do teor de sólidos suspensos na câmara de flotação
Efluente da Câmara de Flotação	DQO, Óleos e Graxas, pH, temperatura, sólidos suspensos	Verificar a eficiência da remoção

coletadas na 3ª câmara, que a floculação estava sendo realizada satisfatoriamente. A partir deste momento, acionavam-se a bomba de recirculação e o compressor, de modo a se obter os parâmetros desejados ((a) pressão e vazão de recirculação no caso de pressurização da recirculação; (b) pressão, no caso da pressurização total).

3.2.3. Resultados e Discussão

Os QUADROS IV e V apresentam os resultados dos exames físico-químicos e bioquímicos realizados com as amostras coletadas para cada condição de operação do sistema de flotação.

As características físicas da instalação piloto não permitiram que fossem investigadas as características da flotação para a pressão de 3 atmosferas e

taxas de recirculação iguais a 50% e 200% e para a pressão de 4 atmosferas e taxa de recirculação igual a 50%.

O QUADRO VI, que apresenta os valores de A/S relacionada com a eficiência da flotação, foi construído a partir dos dados dos QUADROS IV e V e utilizando-se das equações 1 e 2. O parâmetro f foi assumido igual a 0,8 para o caso da recirculação e 0,5 quando a pressurização total foi utilizada. Em qualquer caso, a solubilidade do ar na água limpa foi adotada igual a 17,5 ml/l.

É interessante observar no QUADRO VI, que a relação A/S pouco influi na eficiência de remoção de sólidos suspensos para as condições investigadas, pois foram obtidas remoções de sólidos suspensos superiores a 70% para qualquer relação A/S resultante. Apesar de apresentar menor

QUADRO IV

QUADRO IV - PRESSURIZAÇÃO DA RECIRCULAÇÃO

ENSAIO	AMOSTRA	pH	MATERIAL SOLÚVEL EM HEXANA (mg/l)		SÓLIDOS SUSPENSOS (mg/l)			DQO (mg/l)		RECIRCULAÇÃO		PRESSÃO NA CÂMARA DE PRESSURIZAÇÃO (atm)
			AMOSTRA NÃO FILTRADA	AMOSTRA FILTRADA	TOTAL	FIXO	VOLÁTIL	AMOSTRA NÃO FILTRADA	AMOSTRA FILTRADA	VAZÃO (l/h)	%	
01	Despejo Bruto	8,00	2782,0	-	299,0	125,0	174,0	1437,0	-	150	50	5,0
	Efluente da Floculação	9,74	-	-	625,0	279,0	346,0	-	-			
	Efluente da Flotação	8,20	2045,0	-	99,0	8,0	91,0	241,0	148,0			
02	Despejo Bruto	6,93	579,0	-	218,0	5,0	213,0	817,0	-	150	50	6,0
	Efluente da Floculação	6,98	-	-	533,0	240,0	293,0	-	-			
	Efluente da Flotação	5,89	323,0	-	32,0	5,0	27,0	179,0	-			
03	Despejo Bruto	4,66	2051,0	-	183,0	2,0	181,0	626,0	-	300	100	3,0
	Efluente da Floculação	7,27	-	-	520,0	296,0	224,0	-	-			
	Efluente da Flotação	6,52	1492,0	-	116,0	26,0	90,0	215,0	128,0			

(cont..)

CONTINUAÇÃO DO QUADRO IV

04	Despejo Bruto	11,0	389,0	-	274,0	72,0	202,0	2128,0	-	300	100	4,0
	Efluente da Floculação	7,00	-	-	513,0	205,0	308,0	-	-			
	Efluente da Flotação	6,00	253,0	-	142,0	17,0	128,0	602,0	151,0			
05	Despejo Bruto	6,28	876,0	-	193,0	9,0	184,0	2370,0	-	300	100	5,0
	Efluente da Floculação	6,46	-	-	617,0	158,0	459,0	-	-			
	Efluente da Flotação	5,78	43,0	-	83,0	5,0	78,0	218,0	-			
06	Despejo Bruto	10,50	9362,0	-	500,0	10,0	490,0	2151,0	-	300	100	6,0
	Efluente da Floculação	6,60	-	-	1091,0	179,0	915,0	-	-			
	Efluente da Flotação	6,60	229,0	-	169,0	13,0	156,0	463,0	240,0			
07	Despejo Bruto	5,30	1072,0	-	324,0	4,0	320,0	1326,0	-	450	150	3,0
	Efluente da Floculação	6,41	-	-	454,0	182,0	272,0	-	-			
	Efluente da Flotação	6,26	522,0	-	19,0	3,0	16,0	212,0	170,0			
08	Despejo Bruto	9,10	1453,0	-	627,0	18,0	609,0	2442,0	-	450	150	4,0
	Efluente da Floculação	7,58	-	-	890,0	269,0	611,0	-	-			
	Efluente da Flotação	6,75	931,0	-	48,0	9,0	39,0	183,0	162,0			
09	Despejo Bruto	6,87	3655,0	-	455,0	5,0	450,0	1782,0	-	450	150	5,0
	Efluente da Floculação	6,41	-	-	624,0	192,0	432,0	-	-			
	Efluente da Flotação	6,33	960,0	-	19,0	2,0	17,0	179,0	-			
10	Despejo Bruto	6,60	418,0	-	253,0	13,0	240,0	1892,0	-	450	150	6,0
	Efluente da Floculação	6,60	-	-	526,0	213,0	313,0	-	-			
	Efluente da Flotação	6,30	180,0	-	63,0	3,0	60,0	249,0	176,0			
11	Despejo Bruto	10,50	971,0	-	87,0	5,0	82,0	689,0	-	600	200	4,0
	Efluente da Floculação	6,38	-	-	628,0	274,0	414,0	-	-			
	Efluente da Flotação	6,70	203,0	-	29,0	5,0	24,0	184,0	126,0			
12	Despejo Bruto	3,90	941,0	-	210,0	5,0	205,0	1425,0	-	600	200	5,0
	Efluente da Floculação	6,60	-	-	526,0	213,0	313,0	-	-			
	Efluente da Flotação	6,36	-	-	39,0	6,0	33,0	102,0	79,0			
13	Despejo Bruto	3,80	1844,0	-	-	-	-	6047,0	-	600	200	6,0
	Efluente da Floculação	8,37	-	-	590,0	246,0	344,0	-	-			
	Efluente da Flotação	7,20	357,0	-	66,0	17,0	49,0	148,0	-			

QUADRO V – PRESSURIZAÇÃO TOTAL

QUADRO V - PRESSURIZAÇÃO TOTAL										
ENSAIO	AMOSTRA	pH	MATERIAL SOLÚVEL EM HEXANA (mg/l)		SÓLIDOS SUSPENSOS (mg/l)			DQO (mg/l)		PRESSÃO NA CÂMARA DE PRESSURIZAÇÃO (atm)
			AMOSTRA NÃO FILTRADA	AMOSTRA FILTRADA	TOTAL	FIXO	VOLÁTIL	AMOSTRA NÃO FILTRADA	AMOSTRA FILTRADA	
01	Despejo Bruto	6,50	218,0	-	249,0	11,0	238,0	739,0	-	4,0
	Efluente da Flocculação	6,40	-	-	697,0	250,0	447,0	-	-	
	Efluente da Flotação	6,40	25,0	-	22,0	2,0	20,0	61,0	44,0	
02	Despejo Bruto	10,90	1974,0	-	1386,0	6,0	1380,0	5618,0	-	5,0
	Efluente da Flocculação	6,50	-	-	386,0	166,0	220,0	-	-	
	Efluente da Flotação	7,20	40,0	-	12,0	2,0	10,0	39,0	36,0	
03	Despejo Bruto	10,90	284,0	-	277,0	7,0	270,0	662,0	-	6,0
	Efluente da Flocculação	7,60	-	-	697,0	244,0	453,0	-	-	
	Efluente da Flotação	5,50	139,0	122,0	42,0	2,0	40,0	61,0	50,0	

QUADRO VI – RELAÇÃO (A/S) EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÕES:

QUADRO VI - RELAÇÃO (A/S) EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÕES:										
SÓLIDOS SUSPENSOS NO EFLUENTE DA CÂMARA DE FLOCULAÇÃO (mg/l)	VAZÃO DE RECIRCULAÇÃO		PRESSÃO NA CÂMARA DE PRESSURIZAÇÃO (atm)	f	RELAÇÃO AR - SÓLIDOS	EFICIÊNCIA DA FLOTAÇÃO (%)				
	l/h	%				REMOÇÃO DE DQO		REMOÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	REMOÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS	
						FILTRADA	NÃO FILTRADA			
625,0	150	50	5,0	0,8	0,055	89,7	83,2	84,2	26,5	
533,0	150	50	6,0	0,8	0,081	-	78,1	94,0	44,2	
520,0	300	100	3,0	0,8	0,061	79,5	65,6	77,7	27,2	
513,0	300	100	4,0	0,8	0,097	92,9	71,7	72,3	34,9	
617,0	300	100	5,0	0,8	0,110	-	90,8	86,5	95,1	
1094,0	300	100	6,0	0,8	0,080	88,8	70,5	84,5	97,5	
454,0	450	150	3,0	0,8	0,100	87,2	84,0	95,6	51,3	
880,0	450	150	4,0	0,8	0,085	93,4	92,5	94,5	35,9	
624,0	450	150	5,0	0,8	0,160	-	90,0	96,9	73,7	
526,0	450	150	6,0	0,8	0,240	90,7	86,8	88,0	56,9	
688,0	600	200	4,0	0,8	0,140	81,7	74,7	95,9	79,1	
526,0	600	200	5,0	0,8	0,260	94,4	92,8	92,6	-	
590,0	600	200	6,0	0,8	0,300	-	97,5	88,1	80,6	
697,0	-	-	4,0	0,5	0,033	94,0	91,7	96,8	88,5	
386,0	-	-	5,0	0,5	0,088	99,3	99,3	96,9	97,9	
697,0	-	-	6,0	0,5	0,065	92,4	90,8	94,0	51,1	

flexibilidade com relação à operação, a flotação com pressurização total resultou superior à flotação com recirculação em alguns casos, porém, deve-se ressaltar neste caso, as dificuldades encontradas devido à obstru-

ções dos equipamentos, exigindo cuidados especiais de manutenção das válvulas, rotâmetros, etc.

Ao contrário do que afirmam Maia e Bezerra (6), limitando a pressão no interior da câmara de mistura em 4,0

atmosferas com aquela máxima utilizável na prática, os resultados obtidos nesta investigação experimental mostraram que é perfeitamente possível empregar a flotação com valores de pressão até 6 atmosferas para diferen-

tes taxas de recirculação ou para a pressurização total. Os dados do QUADRO VI mostram que a pressão pouco influi na eficiência da flotação dentro de uma certa faixa de variação quando a taxa de recirculação é pré-fixada.

A figura 7 apresenta as curvas típicas que relacionam a eficiência da flotação em função da relação A/S, quando a pressão na câmara de pressurização for de 5 atmosferas. Outras curvas poderiam ser obtidas para diferentes pressões ao se utilizar os dados do QUADRO IV. É evidente na figura 7 que para relação A/S igual a 0,11, a eficiência da flotação é excelente, com remoção superior a 90% de DQO não filtrada, sólidos suspensos e óleos e graxas.

A figura 8 apresenta as curvas que relacionam a pressão no interior da câmara de mistura em função da relação ar-sólidos para diferentes taxas de recirculação. Em alguns casos, ao se aumentar a pressão, houve redução da relação A/S pelo fato do teor de sólidos suspensos do despejo floculado no instante de coleta ter aumentado consideravelmente. Caso o teor de sólidos suspensos no despejo bruto não variasse substancialmente, as curvas obtidas, para qualquer taxa de recirculação, seriam semelhantes à aquela referente à taxa de 200%. De um modo geral, a figura 8 mostra que, para uma mesma pressão a relação A/S aumenta com o aumento da taxa de recirculação.

Com o objetivo de se conhecer algumas características do material flotado, foram coletadas amostras do mesmo, para duas condições de operação diferentes, cujos resultados são apresentados no Quadro VII.

4. CONCLUSÕES

Com base na investigação realizada, concluiu-se que:

- é possível tratar os despejos líquidos industriais provenientes de uma usina de leite, empregando-se sulfato de alumínio e cal, com concentrações da ordem de, respectivamente, 450 e 400 mg/l;
- é possível reduzir em aproximadamente 50% as concentrações de sulfato de alumínio e cal quando se empregam polímeros sintéticos;
- a utilização de polieletrólito aniônico (Drew-floc 225) conduz a resultados superiores em relação ao polieletrólito catiônico (Drew-floc 21) tanto pela qualidade do sobrenadante como pela menor dosagem requerida;

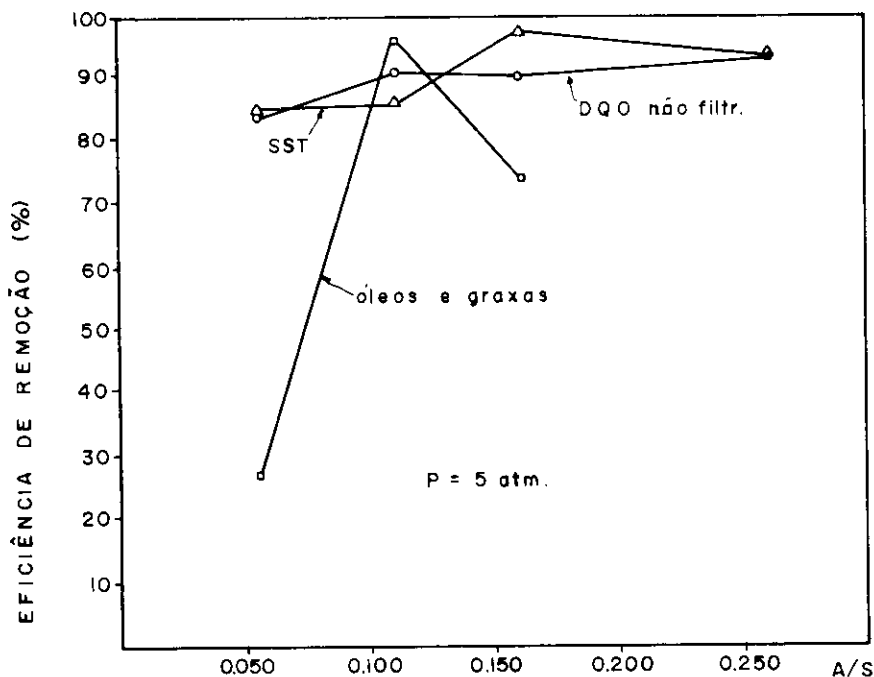


FIG 7 - EFICIÊNCIA DA FLOTACAO EM FUNCAO DE A/S SISTEMA COM RECIRCULACAO

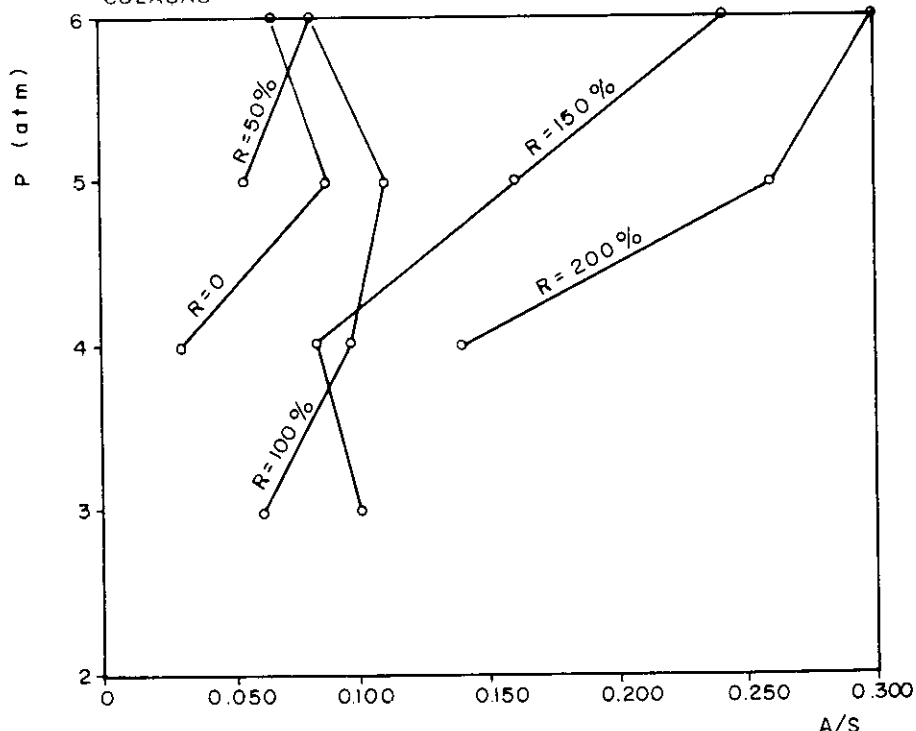


FIG 8 - RELAÇÃO ENTRE A PRESSÃO ABSOLUTA NA CÂMARA DE PRESSURIZAÇÃO E A RELAÇÃO A/S PARA DIFERENTES TAXAS DE RECIRCULAÇÃO

QUADRO VII - CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL FLOTADO

ENSAIO	SÓLIDOS SUSPENSOS (mg/l)			DENSIDADE
	Totais	Fixos	Voláteis	
02	25200,0	8150,0	17050,0	1,060
09	24972,0	8028,0	16944,0	1,062

- d) para valores de A/S superiores a 0,030, tal parâmetro influe muito pouco na remoção de sólidos suspensos;
- e) é possível empregar tanto a flotação com pressurização total como a com recirculação para valores de pressão no interior da câmara de pressurização compreendida entre 3 e 6 atmosferas, sem que haja diferenças substanciais da eficiência de remoção de sólidos;
- f) o sistema de flotação com pressurização da recirculação é mais flexível do ponto de vista operacional e apresenta menores problemas de manutenção que o sistema de flotação com pressurização total,

quando se flota o tipo de suspensão resultante de floculação dos despejos de uma usina de leite;

g) é possível obter um material flotado de concentração elevada em relação à do afluente à câmara de flotação; no presente caso, houve um aumento de aproximadamente 40 vezes.

5. BIBLIOGRAFIA

1. BIESINGER, M. G. et al. Industrial Experience With Dissolved Air Flotation Proceedings of the 29 th Industrial Waste Conference, May 1974 Purdue University, Lafayette-Indiana.
2. BOYD, J. L. & SHELL, G. L. Dissolved Air Flotation Application to Industrial Waste Water Treatment Proceedings of the 27th Industrial Waste Conference, May 1972 Purdue University, Lafayette-Indiana.
3. ECKENFELDER, W.W. JR. Flotation In: Industrial Water Pollution Control McGraw Hill Book Company, 1966.
4. HELÈNE, R.J. Processo de Flotação de Águas Brancas — Bases Teóricas e Aplicação Prática — O Papel, 1978.
5. LIPTÁK, B.G. Flotation and Foaming In: Environmental Engineers Handbook vol. I, Water Pollution, Chap. 5.9, 1974.
6. MAIA, J.C.C. & BEZERRA, J.F.M. Aplicação da Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento dos Despejos Líquidos Industriais — XI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária — Fortaleza, Ceará, Setembro de 1981.