

I-071 - TRATAMENTO DE ÁGUA EUTROFIZADA ATRAVÉS DE FLOTAÇÃO

Telmo Vieira Garcia⁽¹⁾

Químico da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina UFSC.

Karling Fernanda Schuster⁽²⁾

Bióloga pela Universidade Comunitária Regional de Chapecó-UNOCHAPECO. Bióloga da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN).

Leda Freitas Ribeiro

Bióloga pela Universidade regional de Blumenau. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Bióloga da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN).

Iram Tozatti – Técnico da FAST Indústria e Comércio Ltda., Capinzal - SC

In memorium⁽¹⁾

Endereço⁽²⁾: Rua Castro Aves, 715 E – Bairro São Cristóvão – Chapecó - SC - CEP: 89801-111 - Brasil - Tel: (49) 33212706- e-mail: kschuster@casan.com.br

RESUMO

Este trabalho avaliou a remoção de cianobactérias, microalgas e parâmetros físicos e químicos na água *in natura* do manancial Lajeado Tigre, no município de Chapecó/SC, através de uma unidade Piloto de flotação por ar dissolvido (FAD) em um sistema contínuo de tratamento de água. Este manancial é utilizado para abastecimento público pela CASAN e durante o período de estiagem (dezembro de 2008 a abril de 2009) apresentou densidades visíveis da comunidade fitoplanctônica com a predominância das espécies de cianobactérias *Cylindrospermopsis sp*, *Dolichospermum (Anabaena) sp*, *Raphidiopsis sp*, *Microcystis sp* e microcistina (cianotoxina extracelular) na água na concentração máxima de 0,865 µg/L. A unidade de flotação mostrou-se efetiva na remoção dos microrganismos presentes na água, apresentando na câmara de flotação 93% de remoção geral do fitoplâncton, demonstrando que o processo de flotação por ar dissolvido auxiliou na remoção das células de cianobactérias, produzindo um efluente com valores médios <1,0 uT para turbidez e <2,5 uH para cor aparente no efluente flotado.

PALAVRAS-CHAVE: Cianobactéria, Cianotoxina, Flotação, Coagulação.

INTRODUÇÃO

As alterações de qualidade da água nos mananciais, devido às florações de algas, comprometem o funcionamento das unidades de tratamento, influencia diretamente no sistema de abastecimento de água, reservatórios e da rede de distribuição.

Dentre os principais problemas observados nas Estações de tratamento de água que captam e tratam águas eutrofizadas para o abastecimento público, o mais relevante é a presença de microalgas e cianobactérias no manancial.

Esses organismos impõem um aumento no consumo de insumos químicos, presença de sabor/odor, redução da carreira filtrante e também o risco da liberação das cianotoxinas por lise celular, através da oxidação de células remanescentes na desinfecção do efluente filtrado pelo cloro e ou outro agente oxidante aplicado para este fim.

Desta forma, visando à remoção das cianobactérias e à oxidação das cianotoxinas em águas, foram realizados trabalhos de pesquisas em instalações Piloto, tais como: Garcia (2007) removeu 84,6%-66,4% para água flotada, 79,2% para água ozoflotada, e 95% de remoção do fitoplâncton total da água da Lagoa Peri, através da coagulação, floculação seguida de ozoflotação e filtração. Mondardo (2004) investigou o desempenho do ozônio como pré-oxidante em águas com elevadas concentrações de microalgas e cianobactérias, em um sistema de filtração direta descendente, obtendo remoção de 98,8% do fitoplâncton presente, após FD (Filtração direta).

A FAD (flotação por ar dissolvido) surgiu como uma tecnologia promissora para substituir as unidades de sedimentação em estações convencionais de tratamento de água, uma vez que certas partículas, devido à baixa densidade, apresentam baixa velocidade de sedimentação (ou, às vezes, uma tendência à flutuação) após a coagulação e floculação, a exemplo das cianobactérias que possuem estruturas celulares chamadas de aerótopos (vesículas gasosas) que auxiliam a sua flutuação.

MATERIAIS E MÉTODOS

As investigações experimentais foram realizadas em um sistema contínuo de tratamento de água, em uma instalação Piloto cedida pela empresa FAST Indústria e Comércio Ltda, montada em Chapecó/SC no mês de abril de 2009. O sistema estudou a flotação com ar dissolvido na água *in natura* do Lajeado Tigre, cujas características biológicas se enquadravam como água eutrofizada, devido à elevada densidade de fitoplâncton presente. Desta forma, os experimentos em contínuo foram efetuados em duas etapas com ensaios de coagulação e floculação em reatores em descontínuo e investigação experimental na instalação Piloto de Flotação.

1ª ETAPA- ENSAIOS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO EM REATORES EM DESCONTÍNUO

Na determinação dos parâmetros de controle do processo, (Dosagem de coagulante, pH ótimo de coagulação, cor aparente e turbidez), foram realizados os ensaios em reatores em descontínuo na Estação de recalque de água *in natura* e repetidos a cada 2 horas após ajustes técnicos. A escolha da dosagem econômica de coagulante $[Al_2(SO_4)_3]$ e pH ótimo de coagulação aplicado no Piloto, teve como referência a eficiência de remoção da cor e turbidez em ensaios de reatores em descontínuo, procedendo-se de acordo com a metodologia descrita a seguir.

a) Soluções de trabalho: de coagulante a 1% de Sulfato de Alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$, (10 mg/mL; de Soda barrilha e polímero a 0,1%, (1 mg/mL). Distribuiu-se a dosagem de coagulante de forma crescente (5 a 100 mg/L), em grupos de 6 jarros subseqüentes, nos suportes para sua aplicação conjunta nos jarros do equipamento.

b) Mistura rápida: aplicou-se uma rotação 150 rpm (rotação máxima permitida pelo jar-test), produzindo um gradiente de velocidade $G = 180 \text{ s}^{-1}$ durante 30 segundos. No início dessa etapa, com o agitador já ligado, procedeu-se à adição do coagulante, instantaneamente, em todos os jarros, girando o suporte. O polímero foi aplicado após o primeiro minuto do teste.

c) Mistura lenta: aplicou-se uma rotação de 25 rpm até 15 minutos, produzindo um Gradiente de velocidade $G = 15 \text{ s}^{-1}$, conforme Figura 1. Nessa etapa é possível observar, de forma qualitativa, as características e qualidades dos flocos formados.

d) Análise qualitativa de flotação e decantação (manteve-se sem agitação durante 20 minutos): ao fim desse período procedeu-se à coleta das amostras, de forma simultânea, em todos os frascos e procederam-se os ensaios de pH, cor aparente e turbidez. Recorreu-se à análise qualitativa nesses ensaios de bancada, pois o laboratório não dispõe do equipamento flota-teste com jarros. Dessa forma, foram efetuados os testes de flotação diretamente no Piloto. Para o pH ótimo de coagulação, selecionou-se a dosagem de coagulante que melhor correspondeu à remoção de cor e turbidez. Assim, repetiu-se a sequência do teste, conservando a dosagem de coagulante e variando a dosagem de barrilha (2,5 a 100 mg/L).



Figura 1: Imagem da análise qualitativa nos ensaios de bancada com Jar Test.

2ª ETAPA - UNIDADE DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA *in natura*

A captação da água *in natura* foi constituída a partir de uma derivação da adutora de captação da água do Lajeado Tigre, através de uma Bomba centrífuga com capacidade de 10 m³/h. A Figura 2 apresenta o *bloom* de algas visível no manancial.



Figura 2: Imagem do Lajeado Tigre apresentando *bloom* de algas identificadas como cianobactérias

Depois de derivada a vazão de trabalho, a água *in natura* foi conduzida até a câmara de homogeneização mecanizada, onde foi adicionada, com bombas dosadoras, a dosagem de 25 a 190 mg/L sulfato de alumínio, 1,0 a 20 mg/L de polímero catiônico, 5 e 9 mg/L carbonato de sódio (soda barrilha), seguindo para um floculador improvisado tipo helicoidal denominado de Unidade de Flotação de acordo com as características técnicas da unidade de coagulação e floculação obtidos “*in locu*” conforme o Quadro 1.

Quadro 1: Características técnicas das unidades de coagulação e floculação do Piloto.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA UNIDADE DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO	
Vazão	2,77 L/s
Coagulante	Sulfato de Alumínio
Alcalinizante	Barrilha
Mangueira	200 m
Td	2'24''
Diâmetro interno	50 mm
Nº anéis	40 Anéis
Gradiente	Não calculado (s ⁻¹)

Depois de coagulada e floculada, a água foi conduzida ao Piloto “FAD - FAST MOD F-15”, com as características conforme descritas no Quadro 2.

Quadro 2: Características técnicas da unidade Piloto de flotação.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA UNIDADE DE FLOTAÇÃO	
Geração de microbolhas	Bomba multifases
Taxa de recirculação	30 %
Diâmetro de microbolha	10 a 110µm
Taxa de aplicação superficial	6,0 m/h
Pressão	4,5 kg/cm ²
Área de flotação	1,652 m ²
Velocidade de escoamento	6,1 m/h
Td - Câmara de flotação	9 min

A sequência amostral aplicada na instalação Piloto para controle e análise do processo foram efetuadas na água *in natura* (amostrada na derivação da adutora de captação) e no efluente do flotador, a cada 2 horas após ajustes técnicos da dosagem de coagulante, alcalinizante, polímero e ajuste do pH de coagulação.

Os procedimentos de amostragens e técnicas de execução foram efetuados de acordo com as normas técnicas previstas no APHA - Standards Methods for the Examination of de Water and Wastewater, 19th Edition, (1995) e descrito no Quadro 3.

Quadro 3: Procedimento das técnicas e equipamentos para execução das análises de água realizadas.

PARÂMETRO	TÉCNICA APLICADA	EQUIPAMENTO
pH	Técnica (4500 B)	pHmetro – ORION
Turbidez	Técnica (2130 B)	Turbidímetro - HACH – 2.100 P
Cor _(aparente)	Técnica (2120 B)	Espectrofotômetro - HACH – DR 2010.
Fitoplâncton	Técnica (10900 C)	Microscópio Olympus IX 51 - Câmaras de Uthermöhhl
Cianotoxinas	[Oshima (1995)] - [Li et al (2001)] - [Harada (1999)]	HPLC
Sólidos Totais e fixos	Técnica (2540 B-E)	Estufa / Mufla / Balança analítica
Teor de umidade (lodo)	Gravimétrica	Estufa / Balança analítica

A cada duas horas de operação do Piloto eram coletadas amostras para realização de análises conforme descrito no quadro 4.

Quadro 4: Medidas físicas realizadas e intervalo de amostragem Procedimento das técnicas e equipamentos para execução das análises de água realizadas.

PARÂMETRO	INTERVALO DE AMOSTRAGEM	UNIDADE
Temperatura	A cada 2 horas de operação	°C
Cor	A cada 2 horas de operação	uH
Turbidez	A cada 2 horas de operação	uT
Identificação Cianobactérias e Microalgas	A cada 2 horas de operação	Nº de células/mL
Sólidos Totais, Fixos Teor de umidade	A cada 2 horas de operação	g/L
Cianotoxinas (<i>In natura</i>)	Amostras aleatórias	µg/L

A figura 3 ilustra o equipamento Piloto utilizado os testes de tratamento da água do Lageado Tigre.



Figura 3: Imagem do equipamento Piloto.

Posteriormente foram qualificadas como cianobactérias, cujas espécies mais abundantes no período da pesquisa foram as Nostocaceae dos gêneros *Dolichospermum* (*Anabaena*), *Cylindrospermopsis* e *Raphidiopsis* e também das Microscystaceae do gênero *Microcystis*.

O gênero *Dolichospermum* (*Anabaena*) apresentou uma evolução de crescimento populacional com uma densidade máxima da ordem de $3,84\text{E}+05$ cel./mL e após não foi identificada, retornando um crescimento na ordem de $1,4\text{E}+04$ cel./mL em abril de 2009. Também os gêneros *Microcystis* e *Raphidiopsis* apresentaram uma evolução de crescimento populacional com uma densidade máxima da ordem de $3,0\text{E}+5$ e $6,6\text{E}+04$ cel./mL. Após declinou a uma densidade $2,8$ e $5,5\text{E}+04$ cel./mL, sendo a *Raphidiopsis* não identificada em ensaios posteriores, apresentou um crescimento em abril/2009.

O gênero *Cylindrospermopsis* se apresentou a partir de 08/04/09 e manteve-se constante, com uma densidade oscilando na faixa de $1,70\text{E}+05$ a $2,7\text{E}+05$ cel./mL, cuja presença pode estar associada à implantação de um aerador junto a captação. Neste viés também pode ser observado que outras Famílias de algas apresentaram-se de forma aleatória e com baixa densidade. A *Bacillariophyceae* do gênero *Fragilaria* ocorreu com maior densidade alcançando índices de $4,0\text{E}+3$ cel./mL em março de 2009, após declinou não sendo identificada em ensaios posteriores, apresentando um crescimento em abril/2009 na ordem $2,7\text{E}+3$ cel./mL. A figura 4 apresenta a ocorrência de espécies de algas identificadas no Lageado Tigre.

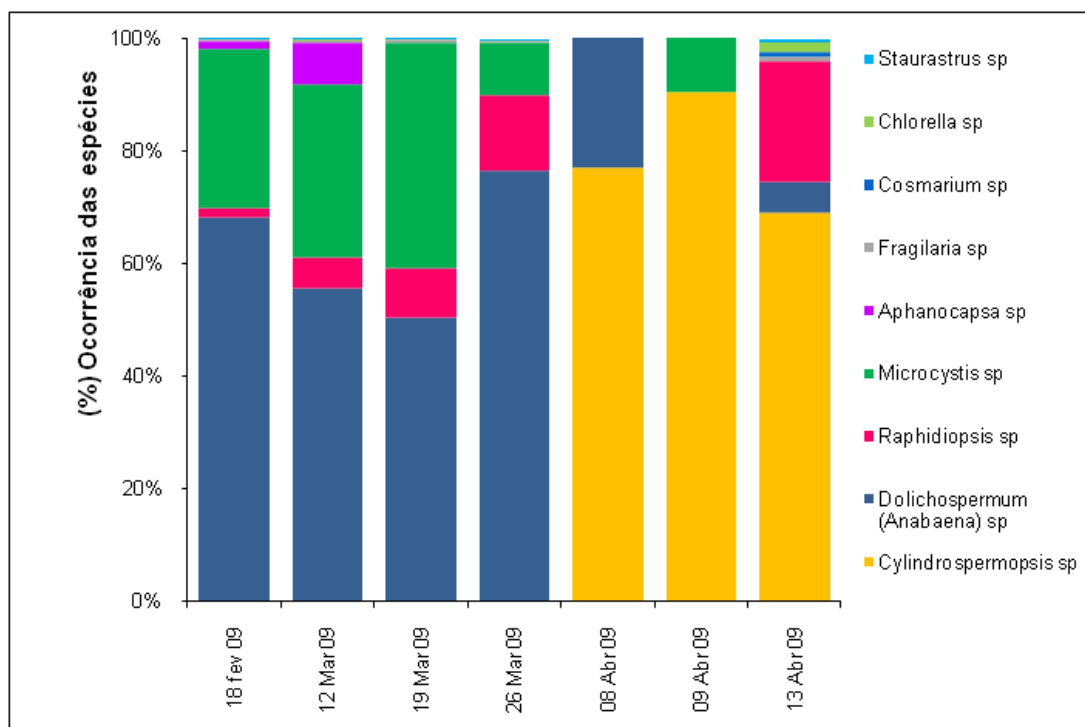


Figura 4: Ocorrência das espécies de algas no Lagoado Tigre no período de fevereiro a abril/2009.

A água *in natura* do Lagoado Tigre apresentou como característica, a dominância das espécies do grupo das cianobactérias, conhecidas como produtoras de potentes cianotoxinas. Dessa forma, fizeram-se presentes na água a cianotoxina (extracelular) microcistina, nas concentrações expostas na Tabela 1. As características físicas e químicas da água *in natura* do Lagoado Tigre também foram analisadas em abril de 2009 e ficou evidenciada a presença de cor elevada e baixa turbidez como é demonstrado na Tabela 2.

Tabela 1: Concentração de cianotoxinas presentes na água *in natura* do Lagoado Tigre (µg/L).

DATA	STX - Saxitoxinas Totais	MYC - Microcistina	CYL - Cilindrospermopsina
18/Fev/2009	Não detectado	0,865 µg/L	Não executado
16/Abr/2009	Não detectado	0,426 µg/L	Não detectado

Tabela 2 – Média dos parâmetros físicos e químicos da água do Lagoado Tigre.

PARÂMETROS	MENOR VALOR	MAIOR VALOR	MÉDIA
Temperatura (água) - °C	22	24	23
pH	6,97	8,62	7,78
Turbidez (uT)	7,86	37,9	18,83
Cor aparente (uH)	40	80	40

RESULTADOS

A flotação demonstrou ser efetiva na remoção de células de cianobactérias, apresentando um índice de remoção entre 76 > 93% e foi também efetiva na remoção das microalgas. Assim sendo, a água flotada com os ajustes técnicos 3, 5, 6 e 7 apresentaram os melhores desempenhos na remoção das células de cianobactérias e microalgas do efluente do flotor.

A FAD, seguida de filtração rápida, vem sendo uma das opções relatadas na literatura como a mais recomendada, para remoção de algas, o que segundo Garcia (2007) associado ao poder oxidante do ozônio demonstrou ser mais efetivo.

Durante os sete dias do experimento, foram testadas diversas dosagens de sulfato de alumínio, barrilha e polímero, a fim de encontrar o melhor índice de remoção de cianobactérias da água após a flotação. A Tabela 3 apresenta a variação das dosagens de produtos químicos denominado de ajuste técnico.

Tabela 3: Dosagens de produtos químicos para ajuste técnico.

AJUSTE TÉCNICO	1	2	3	4	5	6	7
Data	9/4/09	13/4/09	13/4/09	13/4/09	13/4/09	13/4/09	13/4/09
Dose Sulfato (mg/L)	100	40	40	35	35	25	25
Dose Barrilha (mg/L)	NÃO	9	9	5	NÃO	NÃO	NÃO
Dose polímero (mg/L)	1	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	2
pH	4,64	6,15	6,73	6,37	4,66	5,96	6,09
Cor	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5
Turbidez	0,90	2,87	2,36	0,93	1,96	0,87	0,72

A Tabela 4 apresenta o resumo dos índices percentuais de remoção, comparando a remoção total do fitoplâncton entre a água *in natura* e o efluente do flotador, em uma análise comparativa de remoção das cianobactérias e microalgas em cada ajuste técnico que pode ser definido pela variação das dosagens de produtos químicos.

Tabela 4: Índices percentuais de remoção de microrganismos obtidos no efluente para ajuste técnico

TIPO DE AJUSTE TÉCNICO	1	2	3	4	5	6	7
Remoção de <i>Cylindrospermopsis</i> (%)	76	70	79	66	83	79	90
Remoção de <i>Dolichospermum (Anabaena)</i> (%)	100	86	100	100	100	100	100
Remoção de <i>Raphidiopsis</i> (%)	100	100	100	100	100	100	100
Remoção de <i>Microcystis</i> (%)	100	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Remoção Total de Cianobactérias (%)	78	77	85	76	88	85	93
Remoção Total de Microalgas (%)	100	100	100	100	100	94	100
Remoção Total de Fitoplâncton	78	78	86	77	88	85	93

O polímero auxiliou na melhoria da qualidade do efluente flotado, quando comparado com o efluente somente floculado com sulfato de alumínio, mas é preciso determinar um gradiente ideal que envolva mais os filamentos menores de cianobactérias, sem quebrá-los durante a flotação, pois, segundo Camp e Stein (1943, *apud* RICHTER, 1999), quanto maior o gradiente de velocidade G, menor é o diâmetro do floco e maior será sua densidade.

O lodo flotado, com base em análises gravimétricas apresentou as características presente na tabela 5 e pode ser visualizado na figura 6, o qual permitiu uma estimativa de 3.420 L/h de produção de lodo a ser desidratado para uma vazão de água estimada em 250/L/s. Bem como apresentou uma redução de 60% da de água presente no lodo pré – decanter

Tabela 5: Aspectos físicos DO LODO obtidos no efluente para ajuste técnico.

ASPECTOS FÍSICOS ANALISADOS	VALOR MEDIDO	SÓLIDOS TOTAIS	SÓLIDOS FIXOS
Lodo - raspador	99,7(%) unidade	2,7 g/L	1,6 g/L
Lodo - pré Decanter	99,3(%) unidade	7,0 g/L	4,4 g/L
Lodo - pós Decanter	60,0(%) unidade	398 g/L	108 g/L
Volume medido (Flotado)	3,8 mL/L		
Volume Flotado previsto p/ 250 L/s	3,42 m³/h		
Massa Flotado prevista p / 250 L/s	2.430 kg/h		



Figura 6: Sistema de desidratação de lodo da unidade Piloto e vista o superior do flotor.

CONCLUSÕES

Como conclusões do trabalho podemos citar:

A água do Lajeado Tigre apresentou no período de estudo, como característica predominante no fitoplâncton da água da *in natura*, as cianobactérias das espécies *Dolichospermum (Anabaena) sp*, *Cylindrospermopsis sp*, *Microcystis sp* e *Raphidiopsis sp*, as quais estão associadas a presença da cianotoxinas extracelulares denominada microcistina, na concentração de 0,865 e 0,426 µg/L.

A tecnologia FAD apresentou na câmara de flotação para as cianobactérias uma taxa de 85% e 93% de remoção geral do fitoplâncton e de 100% na remoção de microalgas, demonstrando que o processo de flotação foi efetivo.

O efluente gerado no processo de FAD apresentou a ocorrência de pequenos filamentos de *Cylindrospermopsis sp*, oriunda da lise celular promovida por velocidade de ascensão das bolhas no flotor e as forças de cisalhamento nesta etapa, resultando uma quantidade de 3,7E+4 e 1,8E+4 cel/mL (37.423 e 18.371 cel/mL), em todos os ajustes técnicos aplicados em que este gênero esteve presente.

O FAD produziu uma água flotada com valores médios <1,0 uT para turbidez e <2,5 uH para cor aparente, o que está abaixo do limite máximo permitido pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde.

Em relação ao amido, concluiu-se que são bons os resultados de laboratório e de teste na ETA, no que diz respeito à qualidade da água decantada, porém no caso específico dessa estação sua utilização não foi considerada prioritária, uma vez que os resultados obtidos com o cloreto férrico atingiram os objetivos desejados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standards Methods for the examination of water and wastewater. 19th Edition. New York, 1995.
2. BRASIL - Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Diário Oficial da União de 26 de março de 2004, nº 59, seção I: 166 - 176.
3. GARCIA, T. V. Remoção de algas através da eletroflotação - tratamento eletrolítico seguido de filtração direta no tratamento de água de abastecimento. Florianópolis: UFSC, 2002.
4. GARCIA, T. V. Tratamento de água eutrofizada através da ozoflotação. Florianópolis: UFSC, 2007.
5. HYDE, R. A. et al. Water clarification by flotation. Journal American Water Works Association, Denver, July, p. 343-374, 1977.
6. MELO FILHO, L.C. Avaliação da ozonização como pré ou pós-tratamento à filtração direta descendente na remoção de cianobactérias e saxitoxinas. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis – SC, 2006.

7. MONDARDO, R.I. Influência da pré – oxidação na tratabilidade das águas via filtração direta descendente em manancial com elevadas concentrações de microalgas e cianobactérias. Dissertação de mestrado - UFSC, Florianópolis - SC, 2004.
8. RICHTER, A. C. Coagulación y floculación. HYTSA Estudios y proyectos S.A. - ENE-I Ingenieria S.R.L. Peru, 1999.
9. VRABLIK, E. R. Fundamental principles of dissolved air flotation of industrial wastes. 14 th. Industrial Waste Conference, Purdue University, Lafayette, Indiana, Estados Unidos da América, 1959.
10. ZABEL, T. F. Flotation in water treatment. In.: NATO ADVANCE STUDY INSTITUTE ON THE SCIENTIFIC BASIS OF FLOTATION, Cambridge, England, July, p. 5-16, 1982. Proceedings. Ed. By Kennedy J. Ives. The Hague, Martinus Nijhoff, 1984