

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 10/08/00

Ass.: *M*

# REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA ESPECÍFICA DE UM SISTEMA DE FLOTOOZONIZAÇÃO COMO PÓS TRATAMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS

**Roberto Franca Gadêlha**

DEDALUS - Acervo - EESC



31100016537

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento

Orientador : Prof. Dr. Carlos Eduardo Blundi



São Carlos

2000

Class.	TESE-EESC
Cutt.	62380
Tombo	T0191/0

311 00014537

at 1099573

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

G124r Gadêlha, Roberto Franca  
Remoção de matéria orgânica específica de um sistema de flotoozonização como pós tratamento de reatores anaeróbios / Roberto Franca Gadêlha. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.  
Área: Hidráulica e Saneamento.  
Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Blundi.

1. Pós tratamento. 2. Anaeróbio. 3. Ozônio.  
4. Flotação. 5. Proteína. 6. Carboidrato.  
7. Lipídios. I. Título.

## FOLHA DE APROVAÇÃO

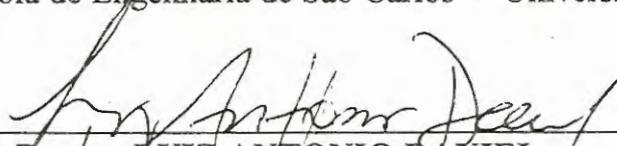
Candidato: Engenheiro **ROBERTO FRANCA GADÊLHA**

Dissertação defendida e aprovada em 01-06-2000  
pela Comissão Julgadora:



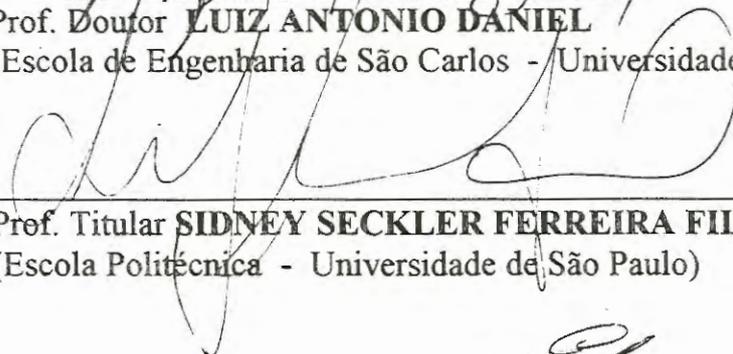
---

Prof. Doutor **CARLOS EDUARDO BLUNDI (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



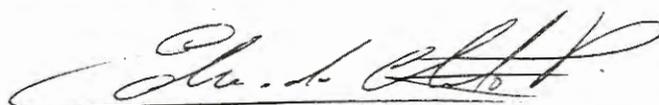
---

Prof. Doutor **LUIZ ANTONIO DANIEL**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



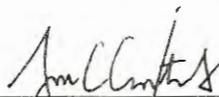
---

Prof. Titular **SIDNEY SECKLER FERREIRA FILHO**  
(Escola Politécnica - Universidade de São Paulo)



---

Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Hidráulica e Saneamento



---

**JOSÉ CARLOS A. CINTRA**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Aos meus pais, irmãos e esposa,  
que me ensinaram que a riqueza  
de um homem está nas amizades  
que ele conquista.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao nosso Senhor Jesus Cristo, Nossa Senhora, e a Deus, pelo Dom da vida, da saúde, sabedoria e proteção que conservou em mim durante esta etapa da vida.

Ao meu pai Ronaldo Delgado Gadêlha, minha mãe Maria Helena Franca Gadêlha, meus irmãos Igor e Vitor, e em especial a minha esposa Julyana Mesquita Dias Franca Gadêlha, por toda a força concedida para esta caminhada.

Aos meus avôs Damásio Barbosa da Franca (in memorian) e João Gadêlha de Oliveira (in memorian), e minhas avós Maria Ilzeni Moreira Franca e Nair Delgado Gadêlha, os quais devo imensa gratidão.

Aos meus tios Frederico Martins e João Monteiro da Franca Neto, pelo apoio conferido durante esta fase da minha vida.

Ao Professor e amigo Dr. Carlos Eduardo Blundi, por sua brilhante orientação, com exemplar dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores Doutores Luiz Antônio Daniel e Marco Antônio Penalva Reali, pelas contribuições concedidas que resultaram no sucesso deste trabalho.

Aos Professores Doutores José Roberto Campos, Eugênio Foresti, Arthur Mattos, e a todos os docentes, técnicos e funcionários deste

departamento que formam a grande família do SHS/EESC-USP a qual regozizei da alegria de conviver.

Ao amigo Cilmar Donizette Baságua por sua colaboração ao longo da fase experimental.

Ao Engenheiro M.Sc. Rogério Gomes Penetra, e ao Eng. M.Sc. Neyson Martins Mendonça, pela assistência conferida.

Aos amigos e irmãos Aurélio Pessoa Pícanço; Giovani Chaves Penner; Hélio da Silva Almeida; Márcio Nemer Sassim; Juan Carlos Escobar Riviera; Patrícia Torres, os quais convivemos e formamos uma grande família.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudo concedida.

## SUMÁRIO

- LISTA DE FIGURAS .....	i
- LISTA DE TABELAS .....	iii
- LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	v
- LISTA DE SÍMBOLOS .....	vi
- RESUMO .....	vii
- ABSTRACT .....	viii
1. - INTRODUÇÃO .....	1
2. - OBJETIVO .....	5
3. - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	6
3.1 - Matéria orgânica específica .....	6
3.1.1 - Proteínas .....	6
3.1.2 - Aminoácidos .....	8
3.1.3 - Carboidratos .....	9
3.1.4 - Gorduras, óleos e graxas (Lipídios) .....	10
3.2 - Flotação .....	11
3.2.1 - Sistemas de flotação .....	11
3.2.2 - Fundamentos gerais da flotação por ar dissolvido (FAD) .....	13
3.2.3 - Unidades de um sistema FAD .....	15
3.2.3.1 - Unidades de geração de microbolhas .....	15
3.2.3.2 - Câmara de flotação .....	15
3.4 - Ozônio .....	16
3.4.1 - Produção de ozônio .....	16
3.4.2 - Propriedades físicas e químicas .....	17
3.4.3 - Transferência de massa .....	25
3.5 - Métodos de determinações de ozônio .....	27
4. - MATERIAIS E MÉTODOS .....	30
4.1 - Considerações iniciais .....	30
4.2 - Instalações utilizados .....	31
4.2.1 - Reator Anaeróbio de Leito Expandido .....	31
4.2.2 - Instalação de Flotação por Ar Dissolvido em escala de laboratório (flotatest) .....	32
4.2.3 - Conjunto de ozonização .....	33
4.2.3.1 - Ozonizador .....	33
4.2.3.2 - Colunas de ozonização .....	35
4.3 - Métodos e ensaios realizados .....	37

## SUMÁRIO

4.3.1	- Método para determinação do ozônio na fase gasosa.....	37
4.3.2	- Metodologia para determinação do ozônio na fase líquida.....	39
4.3.3	- Calibração ozonizador .....	40
4.4	- Ensaio estático de flotação.....	40
4.5	- Ozonização.....	41
4.6	- Parâmetros analisados.....	43
5	- RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	45
5.1	- DQO <sub>total</sub> .....	45
5.1.1	- Esgoto bruto.....	46
5.1.2	- Reator anaeróbio de leito expandido.....	46
5.1.3	- Efluente flotado.....	46
5.1.4	- Efluente ozonizado.....	47
5.1.5	- Considerações gerais.....	47
5.2	- DQO <sub>Filtrada</sub> .....	47
5.2.1	- Esgoto bruto .....	47
5.2.2	- Reator anaeróbio de leito expandido .....	47
5.2.3	- Efluente flotado .....	49
5.2.4	- Efluente ozonizado .....	49
5.2.5	- Considerações gerais .....	49
5.3	- Proteínas .....	49
5.3.1	- Esgoto bruto .....	51
5.3.2	- Reator anaeróbio de leito expandido .....	51
5.3.3	- Efluente flotado .....	51
5.3.4	- Efluente ozonizado .....	51
5.3.5	- Considerações gerais .....	52
5.4	- Carboidratos .....	52
5.4.1	- Esgoto bruto .....	52
5.4.2	- Reator anaeróbio de leito expandido .....	52
5.4.3	- Efluente flotado .....	54
5.4.4	- Efluente ozonizado .....	54
5.4.5	- Considerações gerais .....	54
5.5	- Lipídios .....	55
5.5.1	- Esgoto bruto .....	55
5.5.2	- Reator anaeróbio de leito expandido .....	55
5.5.3	- Efluente flotado .....	56
5.5.4	- Efluente ozonizado .....	56
5.5.5	- Considerações gerais .....	57
5.6	- pH e alcalinidade .....	57
5.6.1	- pH .....	57

## SUMÁRIO

5.6.2 - Alcalinidade .....	59
5.7 - Sólidos .....	60
5.7.1 - Sólidos Totais .....	60
5.7.1.1 - Esgoto bruto .....	60
5.7.1.2 - Reator anaeróbio de leite expandido .....	61
5.7.1.3 - Efluente flotado .....	62
5.7.1.4 - Efluente ozonizado .....	62
5.7.2 - Sólidos Fixos Totais .....	62
5.7.2.1 - Esgoto bruto .....	62
5.7.2.2 - Reator anaeróbio de leite expandido .....	62
5.7.2.3 - Efluente flotado .....	64
5.7.2.4 - Efluente ozonizado.....	64
5.7.3 - Sólidos Voláteis Totais .....	64
5.7.3.1 - Esgoto bruto .....	64
5.7.3.2 - Reator anaeróbio de leite expandido .....	64
5.7.3.3 - Efluente flotado .....	66
5.7.3.4 - Efluente ozonizado .....	66
5.7.4 - Sólidos Suspensos Totais .....	66
5.7.4.1 - Esgoto bruto .....	67
5.7.4.2 - Reator anaeróbio de leite expandido .....	67
5.7.4.3 - Efluente flotado .....	67
5.7.4.4 - Efluente ozonizado .....	68
5.7.5 - Sólidos Suspensos Fixos .....	68
5.7.5.1 - Esgoto bruto .....	69
5.7.5.2 - Reator anaeróbio de leite expandido .....	69
5.7.5.3 - Efluente flotado .....	69
5.7.5.4 - Efluente ozonizado .....	70
5.7.6 - Sólidos Suspensos Voláteis .....	70
5.7.6.1 - Esgoto bruto .....	71
5.7.6.2 - Reator anaeróbio de leite expandido .....	71
5.7.6.3 - Efluente flotado .....	71
5.7.6.4 - Efluente ozonizado .....	72
5.7.7 - Sólidos Dissolvidos Totais .....	72
5.7.7.1 - Esgoto bruto .....	73
5.7.7.2 - Reator anaeróbio de leite expandido .....	73
5.7.7.3 - Efluente flotado .....	73
5.7.7.4 - Efluente ozonizado .....	74
5.7.8 - Sólidos Dissolvidos Fixos .....	74
5.7.8.1 - Esgoto bruto .....	75

## SUMÁRIO

5.7.8.2 - Reator anaeróbio de leito expandido .....	75
5.7.8.3 - Efluente flotado .....	75
5.7.8.4 - Efluente ozonizado .....	76
5.7.9 - Sólidos Dissolvidos Fixos .....	76
5.7.9.1 - Esgoto bruto .....	76
5.7.9.2 - Reator anaeróbio de leito expandido .....	76
5.7.9.3 - Efluente flotado .....	76
5.7.9.4 - Efluente ozonizado.....	76
5.7.10 - Análise geral, serie de sólidos .....	78
5.8 - Transferência de massa .....	78
5.9 - Calibração do ozonizador .....	80
5.10 - Temperatura .....	81
6. - CONCLUSÕES .....	83
7. - RECOMENDAÇÕES .....	86
ANEXOS .....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	129

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- Formação das proteínas a partir de aminoácidos.....	7
FIGURA 2	- Estrutura molecular dos aminoácidos.....	8
FIGURA 3	- Estrutura molecular aberta do D-Glicose .....	10
FIGURA 4	- Estrutura molecular dos glicerídios .....	11
FIGURA 5	- Ângulo de contato entre uma fase sólida e uma fase gasosa imersa em uma fase líquida.....	13
FIGURA 6	- Circuito interno gerador de ozônio Qualidór – Laboratório.....	16
FIGURA 7	- Reações do ozônio na fase líquida em água pura.....	19
FIGURA 8	- Reações do ozônio na fase líquida com compostos orgânicos presentes na água. (reação direta e reação indireta).....	20
FIGURA 9	- Principais produtos resultantes da reação do ozônio com aminoácidos.....	24
FIGURA 10	- Técnicas analíticas para determinação de ozônio .....	28
FIGURA 11	- Reator Anaeróbico de Leito Expandido, Escola de Engenharia de São Carlos – USP .....	31
FIGURA 12	- Flotatest, utilizado para ensaios de flotação em batelada, Laboratório de Tratamento Avançado e Reuso de Águas, EESC – USP .....	33
FIGURA 13	- Jar-test – Utilizado para mistura rápida, Laboratório de Tratamento Avançado e Reuso de Águas, EESC – USP.....	33
FIGURA 14	- Esquema do conjunto de ozonização .....	34
FIGURA 15	- Gerador de ozônio Qualid'or – Laboratório à esquerda, e câmara refrigeradora à direita .....	34
FIGURA 16	- Rotâmetro, utilizador para regular vazão de gás .....	35
FIGURA 17	- Colunas de ozonização, utilizada como câmara de contato. E sistema de coleta de "off-gas", composto de um erlenmeyer, em série com a coluna .....	36
FIGURA 18	- Sistema de coleta de gás em excesso (off-gas) .....	36
FIGURA 19	- Espectrofotômetro Dulcotest, para determinação ozônio na fase líquida .....	39
FIGURA 20	- Evolução da eficiência do sistema, na remoção de $DOQ_{total}$ , em função do tratamento aplicado.....	46
FIGURA 21	- Evolução da eficiência do sistema, na remoção de $DOQ_{filtrada}$ , em função do tratamento aplicado .....	48

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 22	- Evolução gráfica, ao longo do sistema em estudo, na remoção de Proteínas, referenciada à Caseína, em função do tratamento aplicado .....	50
FIGURA 23	- Evolução da eficiência do sistema, na remoção de Carboidratos, referenciada à Lactose, em função do tratamento aplicado.....	53
FIGURA 24	- Evolução da eficiência do sistema, na remoção de Lipídios, referenciada ao Óleo Savoy, em função do tratamento aplicado.....	56
FIGURA 25	- Evolução do pH, ao longo do tratamento.....	58
FIGURA 26	- Evolução da alcalinidade, ao longo do tratamento, (referenciados a média dos valores obtidos).....	60
FIGURA 27	- Evolução da concentração de sólidos totais, ao longo do sistema em estudo.....	61
FIGURA 28	- Evolução da concentração de Sólidos Fixos Totais, ao longo do sistema em estudo.....	63
FIGURA 29	- Evolução da concentração de sólidos Voláteis totais, ao longo do sistema em estudo.....	65
FIGURA 30	- Evolução da concentração de sólidos suspensos totais, ao longo do sistema em estudo.....	67
FIGURA 31	- Evolução da concentração de sólidos suspensos fixos, ao longo do sistema em estudo.....	69
FIGURA 32	- Evolução da concentração de sólidos suspensos voláteis, ao longo do sistema em estudo.....	71
FIGURA 33	- Evolução da concentração de sólidos dissolvidos totais, ao longo do sistema em estudo.....	73
FIGURA 34	- Evolução da concentração de sólidos dissolvidos fixos, ao longo do sistema em estudo.....	75
FIGURA 35	- Evolução da concentração de sólidos dissolvidos voláteis, ao longo do sistema em estudo.....	77
FIGURA 36	- Representação gráfico da dosagem aplicada, versus dosagem consumida.....	79
FIGURA 37	- Curva de calibração da produção do gás ozônio versus lâmina de trabalho, para o ozonizador Qualid'or .....	81

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- Reações e respectivas entalpias de formação do ozônio, para uma pressão de 1,013 bar (1 atm) e temperatura de 273K (0°C).....	17
TABELA 2	- Algumas das mais importante espécies desinfetantes com seus respectivos potenciais de oxidação referido ao eletrodo de hidrogênio a 25 °C, e para a atividade unitária do íon de hidrogênio.....	18
TABELA 3	- Variações experimentais no processo de ozonização.....	42
TABELA 4	- Resultados obtidos durante a fase experimental, referentes a eficiência total na remoção de DQO <sub>total</sub> .....	45
TABELA 5	- Resultados obtidos durante a fase experimental, referentes a eficiência total na remoção de DQO <sub>filtrada</sub> .....	48
TABELA 6	- Resultados obtidos durante a fase experimental, referentes a eficiência total na remoção de Proteínas, relacionada à Caseína .....	50
TABELA 7	- Eficiência na remoção de Carboidratos, referenciada à Lactose, obtidas durante a fase experimental, ao longo dos tratamentos impostos ao sistema .....	53
TABELA 8	- Eficiência do sistema em estudo, na remoção de Lipídios, referenciados ao Óleo Savoy, durante a fase experimental, ao logo dos tratamentos em estudo.....	55
TABELA 9	- Resultados de pH, obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.....	58
TABELA 10	- Resultados de alcalinidade, obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.....	59
TABELA 11	- Concentrações de sólidos totais obtidos durante a fase experimental.....	61
TABELA 12	- Concentrações de sólidos fixos totais obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.....	63
TABELA 13	- Concentrações de sólidos voláteis totais, obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.....	65
TABELA 14	- Concentrações de sólidos suspensos totais, obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.....	66
TABELA 15	- Concentrações de sólidos suspensos fixos, obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.....	68

## LISTA DE TABELAS

TABELA 16	- Concentrações de sólidos suspensos voláteis, obtidas durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.....	70
TABELA 17	- Concentrações de sólidos dissolvidos totais, obtidas durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.....	72
TABELA 18	- Concentrações de sólidos dissolvidos fixos, obtidas durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.....	74
TABELA 19	- Concentrações de sólidos dissolvidos voláteis, obtidas durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo...	77
TABELA 20	- Resultados obtidos durante a fase experimental, referentes a concentração de ozônio consumida pela amostra, a partir da dosagem aplicada e do tempo de contato imposto ao sistema.....	79
TABELA 21	- Produções do gás ozônio, do gerador de ozônio Qualid'or, para uma vazão de 65 l/h, e diferentes lâminas de trabalho.....	80
TABELA 22	- Temperatura do efluente, ao longo do tratamento, durante a fase experimental.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SHS	- Departamento de hidráulica e saneamento
EESC	- Escola de Engenharia de São Carlos
USP	- Universidade de São Paulo
FAD	- Flotação por ar dissolvido
PROSAB	- Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RALEx	- Reator Anaeróbio de Leito Expandido

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\theta$  - Ângulo de contato entre uma fase sólida e uma fase gasosa imersa em uma fase líquida.
- $\Delta H_r^0$  - Variação de entalpia, em kJ/mol .
- $K_{La}$  - Coeficiente de transferência de massa .

**GADELHA, R. F. (2000).** *Remoção de Matéria Orgânica Específica de um Sistema de Flotozonização como Pós – Tratamento de Reatores Anaeróbios.* São Carlos, 2000. 136 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

## RESUMO

O presente estudo abrangeu a investigação da influência da flotação seguida de ozonização na remoção de matéria orgânica específica (proteína, carboidrato e lipídios), como pós - tratamento de um Reator Anaeróbio de Leito Expandido tratando esgoto municipal. Foram realizados ensaios estáticos de flotação, seguido de diferentes dosagens de ozônio para diferentes tempos de contato. Os melhores resultados foram obtidos para os maiores tempos de contato e maior dosagem aplicada, durante a ozonização, com remoções de 68 %, 90 % e 95 % na remoção de proteínas, carboidratos e lipídios respectivamente. Constatou-se uma quebra do material particulado durante a ozonização, aumentando, teoricamente, a biodegradabilidade do efluente. Acompanhou-se as variações de DQO<sub>total</sub> e DQO<sub>filtrada</sub>, série de sólidos, pH, alcalinidade e temperatura.

Palavras-chave: Pós tratamento, anaeróbio, ozônio, flotação, proteína, carboidrato, lipídios.

**GADELHA, R. F. (2000).** *Removal of Specific Organic Matter of a System of Flotoozonation as Powders - Treatment of anaerobic reactors.* São Carlos, 2000. 136 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

## **ABSTRACT**

The present study embraced the investigation of the influence of the flotation followed by ozonation in the removal of specific organic matter (protein, carbohydrate and lipids), as powders treatment of a Anaerobic reactors of Expanded Bed treating domestic sewer. Static test of flotation were accomplished, followed by different dose of ozone for different times of contact. The best results were obtained for the largest times of contact and larger applied dose, during the ozonation, with removals of 68 %, 90 % and 95 % in the removal of proteins, carbohydrate and lipids respectively. It was verified, a break of the particle material , through the action of the ozone, increasing, theoretically, the biodegradation of the municipal sewer . It was accompanied total DQO and filtered DQO, series of solids, pH, alkalinity and temperature.

**Keywords:** Powders treatment, anaerobic, ozone, flotation, protein, carbohydrate, lipids.

## 1. INTRODUÇÃO

Os principais compostos orgânicos encontrados em águas residuárias são: carboidratos, proteínas, aminoácidos e lipídios. Outros compostos orgânicos como uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas, também podem estar presentes, porém em concentrações menores. Os constituintes orgânicos são tanto de origem animal como vegetal e podem resultar de processos de síntese ou de decomposição de outros produtos existentes no meio.

A matéria orgânica é normalmente o principal constituinte das águas residuárias e segundo METCALF & EDDY (1991), cerca de 75 % dos sólidos suspensos e 40 % dos sólidos filtráveis presentes são de natureza orgânica. Os mesmos autores citam que as proteínas constituem 40 a 60% dessa matéria orgânica; carboidratos, de 25 a 50 %; óleo e graxas , 10 %.

Devido a matéria orgânica ser utilizada pelos microrganismos presentes no esgoto ou na água do corpo receptor, no qual o oxigênio dissolvido é consumido causando sua depleção parcial ou mesmo total, dificultando a sobrevivência para os organismos que dependem do oxigênio para o seu metabolismo e que inclui todos os macroorganismos, foram desenvolvidas vários sistemas de tratamento para reduzir o teor de matéria orgânica nos efluentes, dentre os quais se destaca o processo de digestão anaeróbia.

A digestão anaeróbia é um processo biológico natural que ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual populações de bacterianas interagem estreitamente para promover a fermentação estável e auto-regulada da matéria orgânica, ca qual resultam, principalmente, os gases metano e dióxido de carbono (MOSEY, 1983).

A importância da digestão anaeróbia, como processo de tratamento de resíduos orgânicos, cresceu de forma extraordinária nas últimas décadas,

principalmente por apresentar balanço energético mais favorável que os processos aeróbios convencionais. Dentre as principais vantagens amplamente enunciadas, citam-se: baixo consumo de energia, por não exigir a introdução forçada do oxigênio no meio como os processos aeróbios; baixa produção de lodo, estimada como sendo inferior a 20% daquela apresentada por processos aeróbios convencionais; possibilidade de recuperação e utilização do gás metano como combustível.

Ao final da década de 80, os processos anaeróbios de tratamento de águas residuárias encontravam-se suficientemente desenvolvidos, do ponto de vista de engenharia, para permitir seu uso no tratamento de uma variedade muito grande de despejos líquidos, dentre os quais provenientes de: laticínios, cervejarias, abatedouros, frigoríficos, indústrias alimentícias e de bebidas, usinas de açúcar e álcool, entre outros, até mesmo para o tratamento de esgoto sanitário.

Segundo CHERNICHARO (1997), as diversas características favoráveis dos processos anaeróbios, como baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de lodo, aliadas às condições ambientais no Brasil, onde há predominância de temperatura elevada, têm contribuído para a colocação dos sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto em posição de destaque. Segundo o mesmo autor, em que pese estas grandes vantagens, os reatores anaeróbios têm dificuldade em produzir um efluente que se enquadre nos padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Torna-se de grande importância, portanto, o *pós - tratamento* dos efluentes dos reatores anaeróbios, como uma forma de adequar os efluentes tratados aos requisitos da legislação ambiental e propiciar a proteção dos corpos d'água receptores dos lançamentos.

O principal papel do pós - tratamento é o de completar a remoção da matéria orgânica, o de proporcionar a remoção de constituintes poucos afetados no tratamento anaeróbio (nutrientes, como nitrogênio e fósforo, e microrganismos patogênicos), bem como subprodutos do metabolismo. Em nível mundial, não há ainda experiências consistentes referentes a esta tão importante etapa de pós tratamento. O conhecimento existente é grande

quando se analisa cada unidade individualmente, mas não quando se investiga a relação integrada *reatores anaeróbios/pós tratamento*.

Segundo CAMPOS et al. (1996), apesar de o efluente dos reatores anaeróbios necessitar de pós-tratamento, a combinação anaeróbio – aeróbio ou anaeróbio – físico-químico ainda resulta em concepções mais vantajosas do que aquelas que se fundamentam essencialmente nos processos aeróbios.

A esse respeito, vale lembrar que, por ocasião da escolha de um determinado processo para o projeto de unidades de tratamento de águas residuárias, os processos biológicos foram, por um longo período e de maneira geral, preferidos por projetistas e estudiosos em detrimento aos processos físico-químicos. O conceito de que os processos físico-químicos não teriam condições de oferecer resultados e custos compatíveis era o principal argumento apresentado. Entretanto, estudos preliminares recentes realizados no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (SHS-EESC-USP), empregando o pós tratamento físico-químico por flotação dos efluentes de reatores anaeróbios apresentam resultados surpreendentemente positivos em relação ao desempenho da associação seqüencial de reatores anaeróbios com unidades de flotação por ar dissolvido (CAMPOS et al., 1996).

A flotação por ar dissolvido (FAD) é um processo que promove a ascensão das partículas no interior do reator, através da aderência das microbolhas de gás as partículas previamente floculadas, o que as torna menos densas que a água (flutuáveis), proporcionando sua rápida remoção na parte superior da unidade de flotação, com produção de lodo com elevado teor de sólidos, com possibilidade de arraste de parcelas de substâncias voláteis que apresentem elevada constante de Henry, além de constituir um processo de alta taxa, resultando em unidades compactas e versáteis, que possibilitam bom nível de controle operacional através do monitoramento da quantidade do ar fornecida ao processo.

Dentre os processos físico-químicos utilizados no tratamento de esgoto sanitário, além do processo de flotação por ar dissolvido, tem-se destacado o processo de ozonização.

O processo de ozonização tem sido utilizado na desinfecção de águas de abastecimento em vários países. O ozônio é um oxidante muito forte, cuja dosagem de aplicação depende das características do efluente.

Atualmente, o ozônio vem sendo usado para outras finalidades além da desinfecção, tais como oxidação da matéria orgânica e inorgânica, auxiliar na remoção de cor e turbidez e, mais recentemente, em processos biológicos aeróbios em filtros e em meios absorventes.

O presente trabalho tem como principal proposta o estudo da remoção da matéria orgânica específica (proteínas, carboidratos, lipídios), em sistemas integrados de reatores anaeróbios/pós-tratamento, sendo utilizados como pós-tratamento um sistema de flotação por ar dissolvido seguido de ozonização, fazendo parte do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) – Tema 2: Pós - tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é verificar a influência, na remoção da matéria orgânica específica (proteínas, carboidratos, lipídios), dos sistemas de flotação por ar dissolvido seguido de ozonização como alternativa de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, tratando esgoto sanitário.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão abordados alguns tópicos sobre os principais constituintes da matéria orgânica, como também, os processos de flotação, e ozonização.

#### 3.1 – Matéria orgânica específica

Apesar de haver um número muito grande de constituintes que compõem a matéria orgânica das águas residuárias, existe um grupo de compostos básicos que se encontram presentes praticamente em todos os tipos de despejos, sendo assim abordados a seguir.

##### 3.1.1 - Proteínas

Proteínas são compostos orgânicos nitrogenados de origem animal ou vegetal, resultante da condensação de elevado número de moléculas de  $\alpha$  aminoácidos. As proteínas apresentam massa molecular elevada, variando de 6.000 a milhões e são encontradas sob a forma de moléculas isoladas ou como componentes reticulares de células, constituindo sua armação estrutural (glicoproteínas, lipoproteínas). Na formação das proteínas os  $\alpha$  aminoácidos se condensam e a ligação resultante nesse processos é chamada de ligação peptídica. Essa ligação corresponde à união entre átomos de carbono e nitrogênio de dois aminoácidos que se encontram em seqüência na molécula de proteína.

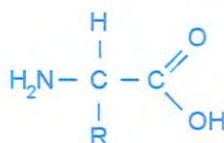
A condensação de duas moléculas de  $\alpha$  aminoácidos dá origem a um dipeptídeo.



de frigoríficos; proteínas enzimáticas, em despejos de indústrias têxtil e de papel.

### 3.1.2 - Aminoácidos

Aminoácidos são compostos de função mista que possuem o grupo funcional amino e o grupo funcional carboxílico, apresentando a seguinte forma estrutural:



**FIGURA 2** – Estrutura molecular dos aminoácidos. FONTE: BLUNDI (1988)

Para outros autores, como VILLELA et al (1966), aminoácido é qualquer ácido orgânico que apresenta um ou mais grupo amino em sua estrutura.

São compostos sólidos, solúveis em água e possuem alto ponto de fusão.

Segundo HAWK (1951), os aminoácidos podem ser classificados de acordo com seus grupos aminos e carboxílicos, em :

- aminoácidos neutros: que contém um grupo carboxílico e um grupo amino;
- aminoácido ácido: que contém excesso de grupos carboxílicos;
- aminoácidos básicos: que contém excesso de nitrogênio básico;

Os aminoácidos também podem ser classificados em função da natureza do radical R. Desse modo, tem-se os aminoácidos alifáticos, aromáticos e os heterocíclicos.

Outra forma de classificação dos aminoácidos, segundo LEHNINGER(1982), é agrupá-los com base na polaridade do grupo R da

formula geral. A classe apolar inclui: alanina, leucina, isoleucina, valina, prolina, fenilalanina, triptofano e metionina. A classe polar neutra inclui: glicina, serina, treonina, cisteína, tirosina, asparagina e glutamina. A classe com grupo R carregado negativamente inclui: ácido aspártico, e ácido glutâmico. A classe do grupo R carregado positivamente inclui: arginina, lisina e histidina.

Geralmente, os aminoácidos nos efluentes originam-se da hidrólise das proteínas e são constituintes importantes de todos os seres vivos, animais, plantas e microrganismos.

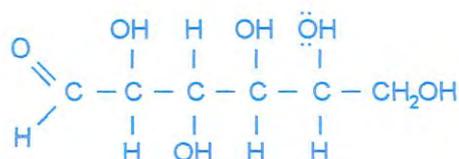
### **3.1.3 - Carboidratos**

Carboidratos são poli-hidroxi aldeídos e poli-hidroxi cetonas e seus derivados. De acordo com RUSSEL (1982), são aldeídos ou cetonas, que são ao mesmo tempo poliíons de seus polímeros. São chamados, também, de açúcares.

Os carboidratos são classificados em monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Monossacarídeos são os carboidratos constituídos um único poli-hidroxi aldeído ou por uma única poli-hidroxi cetona. Glicose é o principal representante desse grupo e é o monossacarídeo mais abundante na natureza. Oligossacarídeos são carboidratos constituídos por cadeias curtas de monossacarídeos unidos por ligações covalentes. A sacarose, ou açúcar de cana, é um exemplo de um oligossacarídeo, que recebe a denominação de dissacarídeo e é formado por uma molécula de glicose e uma de frutose. Polissacarídeos são carboidratos que possuem cadeias longas de monossacarídeos. Exemplos típicos de polissacarídeos são o amido e a celulose que são polímeros de glicose unida de forma diferente em cada composto.

Os carboidratos são compostos constituintes de águas residuárias, estando presente nas suas diversas formas, tais como monossacarídeo e polissacarídeo (amidos e celulose). Os monossacarídeos, geralmente são solúveis em água enquanto que os polissacarídeos são insolúveis.

Alguns carboidratos, especificamente os açúcares, são fermentados por certas bactérias ou leveduras, resultando a formação de álcool e dióxido de carbono. Amidos são mais estáveis e podem ser convertidos em açúcares através de atividade microbiana. A celulose apresenta uma resistência muito alta à decomposição biológica e por isso constitui sério problema para o tratamento de águas residuárias que a contém, como é o caso dos despejos das indústrias de papel e celulose.



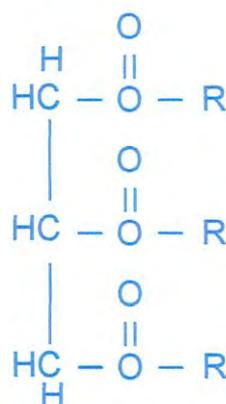
D-Glicose (forma cadeia aberta)

**FIGURA 3** – Estrutura molecular aberta do D-Glicose. FONTE: WHITE (1972)

### 3.1.4 - Gorduras, óleos e graxas (Lipídios)

Os óleos, gorduras e graxas são constituintes importantes das águas residuárias. Óleos e gorduras, geralmente provem dos alimentos e constituem um grupo de compostos significativos, principalmente na composição dos esgotos municipais.

O termo óleo e graxa inclui óleos, gorduras, ceras, e outros constituintes solúveis em hexano. Óleos, gorduras e graxas são insolúveis em água.



Glicerídios

**FIGURA 4** – Estrutura molecular dos glicerídios. FONTE: WHITE (1972)

Os óleos, gorduras e ceras podem ser classificados como lipídios simples. Lipídios, segundo VILLELA et al (1966), são todas as substâncias solúveis em solvente orgânico apolares ou de baixa polaridade. Óleos e gorduras, também denominados como glicéridos, são ésteres do glicerol (glicerina) com ácidos graxos. Os óleos se apresentam no estado líquido à temperatura ambiente e as gorduras são sólidos nas mesmas condições.

Ceras, também denominado de céridos, são lipídios simples, sólidos resultantes da reação de ácido graxo com álcoois superiores. Existem ainda os lipídios complexos constituídos pelos fosfolipídios, cerebrosídeos e outros que são lipídios combinados com certos grupos ou radicais químicos que lhes conferem funções específicas no metabolismo dos seres vivos.

Os glicéridos podem ser hidrolisados em meio alcalino, originando o glicerol e o sal de ácido graxo correspondente, normalmente denominados de sabões sendo essa reação conhecida como saponificação.

O esgoto sanitário contém óleos e gorduras provenientes de alimentos como manteiga, banha, gorduras, óleos vegetais. A gordura pode ter sua origem em diversas fontes como carnes, sementes e frutas. São compostos orgânicos muito estáveis, não sendo facilmente decomposto por bactérias em geral, e por esse fato, podem causar sérios problemas ao tratamento das águas residuárias nas quais se encontram presentes.

Óleos e similares, derivados de petróleo, podem ser despejados nos esgotos através dos escoamentos provenientes de postos, garagens, lojas, passeios, causando problemas às unidades de tratamento e à manutenção das mesmas. Normalmente formam uma camada flutuante, interferindo na atividade biológica superficial.

## **3.2 - Flotação**

### **3.2.1 - Sistemas de flotação**

Segundo REALI (1991), a flotação pode ser definida como sendo um processo de separação de partículas sólidas e líquidas (óleo, por exemplo) de uma fase líquida através da utilização de bolhas de gás, normalmente o ar. As bolhas, aderido à superfície da partícula, aumentam seu empuxo,

provocando a ascensão das mesmas em direção a superfície da fase líquida, onde são devidamente coletadas após atingirem concentração adequada.

Os diferentes métodos de produção de bolhas originam os diferentes tipos de flotação (ZABEL, 1984):

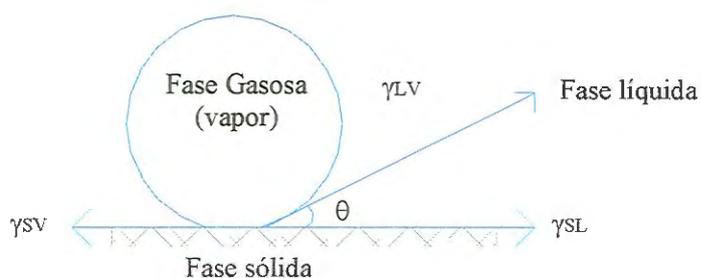
- **Flotação por ar disperso:** turbinas e rotores são utilizados para promover a dispersão, aeração e agitação da suspensão, produzindo bolhas com diâmetro superior a 1 mm. Para a produção de bolhas com diâmetros menores, o gás pode ser introduzido através de placas porosas localizadas no fundo do reator;
- **Flotação eletrolítica :** a passagem de corrente contínua entre dois eletrodos localizados na câmara de flotação provoca a eletrólise da água, gerando bolhas de hidrogênio e oxigênio com diâmetros menores do que as aquelas obtidas com flotação com ar disperso ou por ar dissolvido.
- **Flotação por ar dissolvido :** as bolhas são geradas pela redução da pressão de um fluxo de água supersaturado com ar. Desta forma, o ar é precipitado na forma de pequenas bolhas, geralmente com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$ , e com pouca agitação do líquido . Há três tipos de flotação por ar dissolvido:
  - Flotação a vácuo: o líquido a ser tratado é saturado com ar à pressão atmosférica. Na seqüência, é introduzido em uma câmara de flotação submetida a vácuo (pressão negativa), onde ocorrerá a liberação e formação das bolhas;
  - Micro – flotação : o líquido a ser tratado é enviado a grandes profundidades (cerca de 10 m ) onde é saturado com ar. À medida que é encaminhado de volta a superfície, o líquido é submetido a pressões gradativamente menores, o que provoca a liberação do ar e formação das bolhas;
  - Flotação por ar pressurizado: o líquido a ser tratado é supersaturado com ar em altas pressões, obtidas em câmaras de

saturações. Ao ser enviado à câmara de flotação sob pressão atmosférica, o ar dissolvido é liberado e ocorre a formação das bolhas. Atualmente é o tipo mais utilizado. Há três diferentes variações na flotação por pressurização:

- ◇ Pressurização total do afluente: o volume total do afluente é saturado com ar em altas pressões;
- ◇ Pressurização parcial do afluente: somente uma fração do volume afluente é saturado com ar em altas pressões. A fração restante é enviada diretamente à câmara de flotação.
- ◇ Recirculação pressurizada: uma fração do volume já clarificado é saturado com ar em altas pressões, recirculado para a câmara de flotação e misturado ao volume total do afluente.

### 3.2.2 - Fundamentos gerais da flotação por ar dissolvido

Segundo SHERGOLD<sup>1</sup> apud REALI (1991), a aderência de uma bolha de gás a uma superfície sólida imersa em uma fase líquida ocorre quando a condição termodinâmica é observada, ou seja, há o estabelecimento de um ângulo de contato ( $\theta$ ) diferente de zero na fronteira entre as três fases, conforme a figura 5:



**FIGURA 5** – ângulo de contato entre uma fase sólida e uma fase gasosa imersa em uma fase líquida. FONTE: SHERGOLD<sup>1</sup> (1984) apud REALI (1991).

<sup>1</sup>SHERGOLD, H.L. (1984). "Flotation on Mineral Processing". In: NATO ADVANCED INSTITUTE ON THE SCIENTIFIC BATION, Cambridge, England, July 5-16, 1982. Proceedings. Ed. by K.J. IVES. The Hague, Martinus Nijhoff, 1984, p.229-87.

De acordo com KITCHENER<sup>2</sup> apud REALI (1991), é comprovado experimentalmente que, caso a fase sólida não consiga formar um ângulo de contato diferente de zero com a fase gasosa em um meio líquido, as partículas (fase sólida) não são flotáveis.

Além disso, o autor conclui que a flotabilidade de um sólido depende do seu grau de hidrofobicidade, reponsável pelo estabelecimento de um ângulo de contato finito.

Basicamente, um sistema de FAD é composto por uma unidade de coagulação e outra de floculação, seguida de uma câmara de flotação. Uma fração do líquido tratado é recirculada, pressurizada e saturada com ar em uma câmara de saturação. O líquido recirculado é introduzido na câmara de flotação por meio de uma série de dispositivos injetores e misturado à vazão afluyente floculada. Nos dispositivos injetores, a pressão é reduzida à pressão atmosférica, liberando o ar na forma de pequenas bolhas. As bolhas de ar fixam-se aos flocos e ascendem à superfície da camara de flotação, formando o lodo flotado, retirado por meio de raspadores mecanizados ou pela operação de inundação (ZABEL, 1985). Portanto, o tratamento químico efetivo, a floculação, a quantidade de ar fornecida, os dispositivos injetores e a remoção do lodo flotado afetam a eficiência global da FAD.

Segundo PENETRA (1998), um sistema de reatores anaeróbios seguido de sistema de flotação por ar dissolvido constitui alternativa bastante atraente, capaz de promover elevado grau de tratamento de esgoto sanitário.

---

<sup>2</sup>KITCHENER, J.A. (1984). "The Forth Flotation Process: past, present and future. In. NATO ADVANCED INSTITUTE ON THE SCIENTIFIC BASIS OF FLOTATION, Cambridge, England, July 5-16, 1982. Proceedngs. Ed. by K.J.IVES. The Hague, Martinus Nilhoff, 1984, p.3-51.

### **3.2.3 - Unidades do sistema FAD**

#### **3.2.3.1 - Unidades de geração de microbolhas**

“Uma unidade de geração de microbolhas convencional é composta basicamente de um conjunto moto-bomba para pressurização da água, seguido de uma câmara de saturação (com ou sem recheio) na qual o gás (normalmente o ar) é dissolvido na massa líquida sob pressão, e finalmente de um dispositivo de despressurização da água que sai da câmara de saturação” (REALI & CAMPOS, 1992).

A quantidade de ar fornecida à câmara de flotação pode ser variada mediante alteração da fração de recirculação, da pressão da câmara de saturação ou por ambas.

#### **3.2.3.2 - Câmara de Flotação**

As câmaras de flotação convencionais são divididas em duas zonas: zona de contato e zona de clarificação. A zona de contato, também denominada de zona de reação ou de mistura, é o local onde ocorre a mistura entre a fração de recirculação do líquido saturado e a vazão floculada afluyente à câmara. Desta forma, o tempo de detenção hidráulica da mistura nesta zona deverá ser suficiente para promover o contato entre as microbolhas de ar e os flocos, garantindo a máxima eficiência possível. Segundo EDZWALD (1992), a função da zona de contato é proporcionar contato e aderência dos flocos às microbolhas enquanto a função da zona de clarificação é promover condições adequadas de repouso (baixas velocidades descendentes) para que o conjunto bolha – floco alcance a superfície.

Segundo PENETRA (1998), com dosagem de cloreto férrico de 65 mg/l, quantidade de ar fornecida de 19 g/m<sup>3</sup> de efluente e velocidade de 10 cm/min, com a adoção de 15 minutos de tempo de floculação, resultou em elevadas remoções de Demanda Química de Oxigênio (89 %), de fosfato total (96 %), de sólidos suspensos (96 %), de turbidez (98%) e de cor

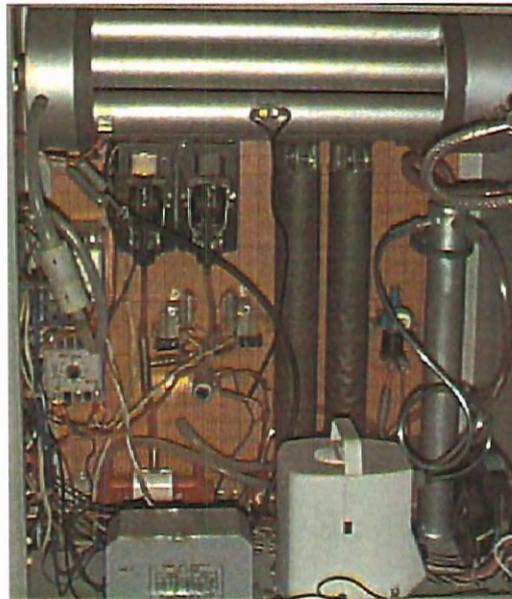
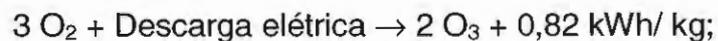
aparente (92%) e na ausência de sulfetos, tratando efluente de reator anaeróbio.

Para maiores informações sobre o processo de Flotação, vide dissertação PENETRA (1998), PATRIZZI (1998), MARCHIORIETTO (1999).

### 3.4 – Ozônio

#### 3.4.1 – Produção de ozônio:

O ozônio é produzido através da descarga elétrica em uma abertura, através da qual escoo um gás contendo oxigênio. De difícil transporte e armazenamento, o ozônio é geralmente produzido próximo ao local de uso. Desde o final do século passado, quando foi desenvolvido o primeiro ozonizador por Marius Otto, os equipamentos existentes atualmente funcionam segundo o mesmo princípio básico, isto é, o ar ou oxigênio seco escoo em uma célula onde se tem a descarga elétrica, produzida por uma fonte elétrica de alta voltagem (vide FIGURA 6) onde ocorre a seguinte reação:



**FIGURA 6** – Circuito interno gerador de ozônio Qualidór – Laboratório.

O ozônio, pode, também ser formado a partir de radiação ultravioleta e através de reações químicas.

### 3.4.2 – Propriedades físicas e químicas do ozônio

O ozônio, uma forma alotrópica triatômica do oxigênio, é onipresente; pode ocorrer na natureza e pode ser formado a partir do oxigênio, mas, em qualquer caso, em uma forma diluída. Segundo SCHULHOF & SMITH (1989) a concentração de ozônio gerada do ar ou do oxigênio puro é tão baixa que a eficiência de sua transferência para a fase líquida é uma consideração econômica extremamente importante.

Ozônio tem um odor penetrante descrito como feno cortado fresco, e numa concentração de aproximadamente 0,01ppm (v/v) é facilmente detectável pela maioria das pessoas. O odor é particularmente evidente após tempestades elétricas ou descargas semelhantes. É de interesse perceber que objetos como fotocopiadoras e impressoras a laser produzem ozônio a níveis detectáveis.

O gás ozônio é reportado a ser distintamente azul na matriz e é condensado a um líquido azul escuro abaixo de  $-111,9^{\circ}\text{C}$  (HANN & MANLEY, 1952).

O ozônio líquido torna-se explosivo a aproximadamente 30% (m/m), assim como concentrações de gases comprimidos em misturas de ar - ozônio (KINMAN, 1972).

**A TABELA 1** - Reações e entalpias de formação do ozônio, para pressão de 1,013 bar (1 atm) e temperatura de 273K ( $0^{\circ}\text{C}$ ).

Reação	Entalpia $\Delta H_f^0$ (kJ/mol)
$\text{O} + \text{O} \rightarrow \text{O}_2$	-494,9
$\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$	-106,3
$\text{O} + \text{O} + \text{O} \rightarrow \text{O}_3$	-601,2

FONTE: BILITZKY et al (1985)

O ozônio possui um forte poder oxidante na água, mas torna-se bastante instável quando traços de agentes redutores são introduzidos. Segundo NEBEL (1981), o ozônio é o segundo oxidante mais poderoso, sendo excedido apenas pelo flúor .

**TABELA 2** - importantes espécies desinfetantes com seus respectivos potenciais de oxidação referido ao eletrodo de hidrogênio a 25°C, para a atividade unitária do íon de hidrogênio.

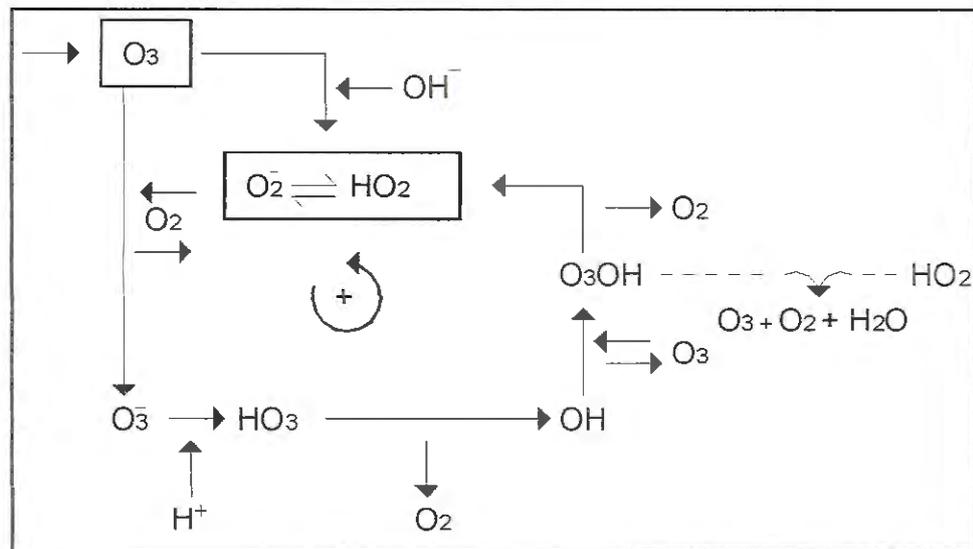
Espécie Desinfetante	Peso por mol (g)	Moléculas (mg/l)	Potencial oxidação (V)
O <sub>3</sub>	48,00	1,26.10 <sup>19</sup>	+2,07
HOBr	96,91	6,21.10 <sup>18</sup>	+1,59
HOCl	52,46	1,15.10 <sup>19</sup>	+1,49
HOI	143,91	4,19.10 <sup>18</sup>	+1,45
Cl <sub>2</sub>	70,90	8,50.10 <sup>18</sup>	+1,36
Br <sub>2</sub>	159,81	3,77.10 <sup>18</sup>	+1,07
NH <sub>2</sub> Cl	51,47	1,17.10 <sup>19</sup>	+0,75
NH <sub>2</sub> Br	95,93	6,27.10 <sup>18</sup>	+0,74
I <sub>2</sub>	253,81	2,38.10 <sup>18</sup>	+0,54

**FONTE** : Ozone in Water and Wastewater Treatment (1972)

O ozônio puro é 12,5 vezes mais solúvel na água que o oxigênio. Estudos realizados por NEBEL (1981), demonstraram que a pressão parcial do ozônio na fase gasosa é diretamente proporcional à solubilidade do ozônio na água, concordando com a lei de Henry. Quando materiais que reagem com ozônio estão presentes na água a eficiência da transferência de massa do ozônio aumenta.

De acordo com HOIGNÉ & STAEHELIN (1985), o conhecimento da cinética de decomposição do ozônio na água é de grande interesse visto a sua larga aplicação nos processos de tratamento de água e efluentes.

As reações do ozônio na água pura, pode ser observada na FIGURA 7.



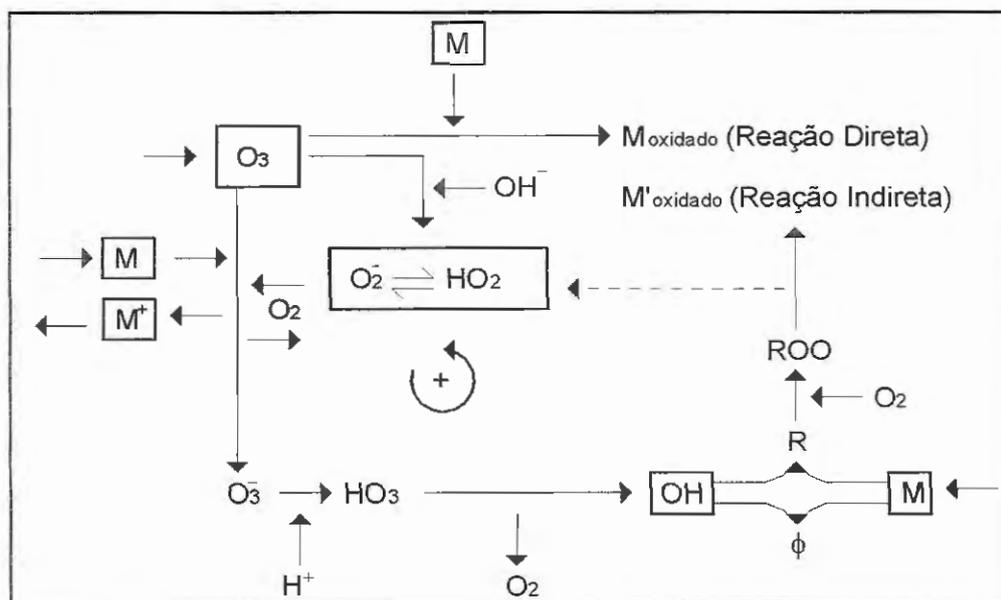
**FIGURA 7** – Reações do ozônio na fase líquida em água pura. FONTE: HOIGNÉ & STAEHELIN (1985).

GLAZE (1987) reporta que, na presença de contaminantes, como matéria orgânica e bicarbonatos, esse ciclo não pode ser observado. O autor reporta que o ozônio é instável em valores elevados de pH, em água livre de contaminante, justificando que o processo de decomposição é iniciado pelos íons hidróxidos.

Segundo DORE et al (1989), os mecanismos de ação do ozônio em compostos orgânicos ocorrem através de duas reações com estes compostos, podendo-se ter reações diretas, as quais envolvem o ozônio molecular e reações indiretas, que abrangem reações com os radicais hidroxilas  $OH^0$  produzidos na autocatálise de decomposição do ozônio.

HOIGNÉ & BADER (1983) afirmam que a reação direta do ozônio é altamente seletiva e relativamente lenta, enquanto a reação indireta pode ocorrer facilmente, com a rápida reação do radical  $OH^0$  com muitos compostos presentes na massa líquida.

A FIGURA 8 mostra de forma esquemática as reações do ozônio na fase líquida, na presença de compostos orgânicos presentes na água.



**FIGURA 8** – Reações do ozônio na fase líquida com compostos orgânicos presentes na água. (reação direta e reação indireta). FONTE: HOIGNÉ & STAEHELIN (1985).

De acordo com NEBEL (1981) a forte natureza eletrolítica do ozônio, propicia a sua reação com um amplo espectro de grupos funcionais orgânicos e organo - metálicos. É possível observar que o ozônio pode reagir diretamente para formar carbonilas. A maioria das reações diretas do ozônio com compostos orgânicos baseiam-se na divisão da dupla ligação do carbono - carbono, comportando-se como um dipolo, como um agente eletrolítico em aromáticos e, como agente nucleofílico na ligação C=N (NEBEL, 1981).

A oxidação parcial de poluentes orgânicos que estão dissolvidos em água, pelo ozônio, produz compostos polares que aumentam a eficiência da remoção de compostos orgânicos pela coagulação com sais de alumínio e ferro. Algumas substâncias são oxidadas rapidamente pelo ozônio, incluindo ácidos húmicos, alguns tipos de detergentes, fenóis, pesticidas, compostos aromáticos, proteínas e aminoácidos (NEBEL, 1981).

Segundo GUROL & MIRAT (1985), podem ser identificados os mecanismos principais que contribuem à remoção de contaminantes orgânicos como volatilização de compostos dissolvidos (Stripping) e

oxidação química pelas moléculas de ozônio (oxidação direta) e por radicais livres (oxidação indireta).

O mesmo autor afirma que a taxa de oxidação química dos compostos orgânicos é diretamente proporcional à concentração do ozônio na água, que é determinada pelas condições operacionais do reator. Ou seja, da vazão do gás ozônio, vazão da água em estudo, da concentração do ozônio no gás, do tempo de detenção da água, do coeficiente de transferência de massa ( $K_L a$ ).

Sob condições de pH ácido ou neutro, o ozônio molecular dissolvido reage com materiais orgânicos. Em condições de pH alcalino, o ozônio decompõe-se primeiramente para formar radicais hidroxilas (OH), os quais reagem rapidamente com a maioria dos compostos orgânicos. Os radicais hidroxilas são conhecidos por serem mais reativos e menos seletivos em suas reações que o ozônio molecular (<sup>3</sup>BOLLYKY & SILER apud DI MATTEO, 1992), resultados estes, também verificados por ESPUGLAS et al (1997).

HOIGNÉ & BADER (1983), analisando a reação do ozônio com carboidratos, concluíram que devido a sua estrutura química, os carboidratos reagem levemente com ozônio, como é o caso dos álcoois alifáticos. A reação da molécula de ozônio com os álcoois alifáticos primários ou secundários leva a formação de peróxido de hidrogênio, aldeídos alifáticos, ácidos ou cetonas. Consequentemente, a reação do ozônio com carboidratos pode ser um precursor para radicais hidroxilas que, reagem fortemente com os hidrocarbonetos (AMBAR & NETA, 1967).

A reação do ozônio com carboidratos conduz a um consumo de ozônio da ordem de 2 mol de O<sub>3</sub> por mol de monossacarídeo, para sua remoção total (BONNET, 1988), sem que ocorra perda substancial do COT (DUGUET et al, 1987; BONNET, 1988).

---

<sup>3</sup>BOLLYKY, L. J.; SILER, J. (1989) – Removal of tributyl phosphate from aqueous solution by advanced ozone oxidation methods. In: THE NINTH OZONE WORLD CONGRESS. New York. Proceedings. New York, USA.

YAMADA & SOMIYA (1980) encontraram uma significativa quantidade de formaldeído e ácido pirúvico após a ozonização da glicose.

LEGUBE et al (1985), que estudaram a aplicação de ozônio em efluente secundário de esgoto sanitário, detectaram aumento de monossacarídeos, devido a presença inicial de polissacarídeos.

De acordo com LANGLAIS et al (1991), a reação do ozônio com polissacarídeos, leva a ruptura das ligações glicosídeas, seguido pela oxidação das funções alcólicas dos monossacarídeos, eventualmente levando a formação de ácidos alifáticos e aldeídos. Estas reações lentas incluem não somente a reação da molécula de ozônio, mas também a ação dos radicais hidroxilas.

ALBERT et al (1998) afirmaram que a ação dos radicais intermediários da decomposição do ozônio e especialmente das hidroxilas, ao contrário com a molécula do ozônio, reagem rapidamente com carboidratos.

Segundo HOIGNÉ & BADER (1983), os aminoácidos [R-CH(NH<sub>2</sub>)COOH] podem reagir com o ozônio, na sua estrutura, em dois níveis: no grupo funcional amino e no radical R. Os mesmos autores afirmaram que a reação do ozônio com o grupo funcional primário amino, é função do pH.

LAPLANCHE et al (1982), afirma que no caso de aminos alifáticos primários saturados, a ação do ozônio (ou radical hidroxila), aparentemente leva a formação de hidroxalamina, e finalmente aldeídos, ácidos e íons de nitrato.

O radical R dos aminoácidos pode ser do grupo alquila (alifático saturado), grupo alquila sulfúrico, ou mesmo um aromático ou do grupo heterocíclico insaturado (imidazol). DUGUET et al (1982), que estudaram a oxidação da glicina, afirmam que o aumento do pH, pode aumentar intensamente a velocidade de reação do ozônio com os aminoácidos, também verificada para a alamina por RENAUD et al (1984), e para leucina por NARKIS et al (1977); YAMADA & SOMIYA (1980). Com as alquilaminas, o ozônio deve reagir pelo processo eletrofilico com o nitrogênio

e finalmente deve conduzir a descarboxilação parcial, mais uma formação de ácidos, aldeídos, íons nitrato e amônia.

No segundo caso do radical R dos aminoácidos (dos grupo alquila sulfúrico), a reação do ozônio é muito forte, até mesmo em pH ácido, e aumenta proporcionalmente com o aumento do pH (MUDD et al, 1969). O centro da reação dos aminoácidos sulfúrico é aparentemente a oxidação do composto, que contém o átomo do enxofre, em sulfóxido ou em um grupo sulfônico.

No terceiro caso do radical R dos aminoácidos, (aromático ou um grupo heterocíclico insaturado), o ataque do ozônio pode ocorrer preferencialmente no radical R ou na função amina e com sua reatividade dependendo do pH (MUDD et al, 1969; RENAUD et al, 1984), além de que sua reatividade pode resultar em variados produtos como ácidos aromáticos alifáticos e aldeídos.

Segundo BAILEY (1972), a reação do ozônio com aminoácidos e proteínas, em soluções aquosa, tem preferência pelo radical R, dos aminoácidos, que contenham enxofre, ou que sejam aromáticos, ou ainda heterocíclicos insaturados.

FROESE et al (1999), ao estudarem a formação de aldeídos a partir da oxidação de aminoácidos (valina, leucina, isoleucina e fenilalanina), como subproduto de vários oxidantes (cloro livre, monocloramina, dióxido de cloro e ozônio), verificaram uma baixa formação de aldeídos, a partir da oxidação com ozônio.

Concluindo, ozônio pode reagir significativamente com aminoácidos, especialmente em pH neutro ou básico, tanto no átomo de nitrogênio como no grupo funcional R, ou em ambos. Assim a reatividade dos polipeptídeos e das proteínas depende da natureza dos aminoácidos que os constituem.

Na FIGURA 9, pode-se verificar os principais produtos resultantes da reação do ozônio com aminoácidos.

Aminoácido R-CH(NH <sub>2</sub> )COOH	Cadeia orgânica	Produtos da ozonização	Referência
Glicina	R = - H -	Ácido Fórmico e nitrato	DUGUET et al (1982)
Alanina	R = - CH <sub>3</sub>	Formaldeído, ácido acético, amônia e nitrato	RENAULD, L.C. et al (1984)
Leucina	R = CH <sub>2</sub> - CH - CH <sub>3</sub>   CH <sub>3</sub>	Formaldeído, bu-tanol, ácido pirúvico, amônia e nitrato	YAMADA & SOMIYA(1980); NARKIS et al (1977)
Metiolina	R = - CH <sub>2</sub> - CH <sub>2</sub> - S - CH <sub>3</sub>	Grupo sulfóxido em R	MUDD et al (1969)
Cisteína	R = - CH <sub>2</sub> - SH	Cistina e ácido cistêmico	MUDD et al (1969)
Cistina	R = - CH <sub>2</sub> - S - S - CH <sub>2</sub> - CH - COOH   NH <sub>2</sub>	Ácido Cistêmico	MUDD et al (1969)
Fenilamina	R = - CH <sub>2</sub> - 	Fenilacetaldéido, ácido fenilacético, fenilacetamida, fenilhidroxilamina, amônia, nitrato	LAPLANCHE et al (1985)

**FIGURA 9** - Principais produtos resultantes da reação do ozônio com aminoácidos. FONTE – LANGLAIS et al (1991).

De acordo com HOIGNÉ & BADER (1983), os ácidos graxos saturados, componentes principais dos lipídios, reagem levemente com o ozônio. De qualquer modo, sua reatividade aumenta com a presença de ligação etilênicas na cadeia de carbono. Neste caso, os seus subprodutos são aldeídos, ácidos e peróxido de hidrogênio.

Os subprodutos da reação do ozônio com materiais orgânicos na água tem sido identificadas (GLAZE, 1986; GUITTONNEAU *et al*, 1992; e TRUSSELL, 1992). Em geral as reações do ozônio com materiais orgânicos

levam a destruição da molécula original, formando freqüentemente mais um produto biodegradável polar com um baixo peso molecular (HUCK *et al.* (1992); LANGLAIS *et al.* (1989); e SOMICH *et al.* (1990)).

Contudo, em alguns casos, particularmente envolvendo pesticidas, um subproduto intermediário mais tóxico e virulento pode ser formado (MAGGILOLO, 1978). Além disso, algumas formações como hidróxido, hidroperóxido, peróxido e ozônio podem ser direcionados pelos modelos de reações químicas aplicadas a ozonização de ligações duplas específicas carbono - carbono (MAGGILOLO, 1978). Essas espécies intermediárias de longa vida, podem ser significativas para a saúde humana e de importância fundamental na determinação das conseqüências ambientais do ozônio usados como desinfetante de esgotos. Contudo, mais pesquisas dos subprodutos gerais da ozonização de esgoto são necessárias.

Segundo STAEHELIN & HOIGNÉ (1982), pode-se observar que os radicais hidroxilas reagem com íons carbonatos, íons bicarbonatos e outros, que consomem os radicais  $\text{OH}^\bullet$ , podendo assim, inibir as reações de oxidação de solutos orgânicos através de reações de radicais livres e limitar a taxa de decomposição do ozônio na água.

Devido ao seu alto potencial de oxidação, a química inorgânica do ozônio envolve muitos outros elementos. Enquanto o ozônio não reage com íons de metais que têm o estágio de oxidação um, metais em transição são oxidados a estáveis, e a estágio de alta oxidação. O ozônio irá oxidar metal ferroso para férrico; arsenito para arsenato; e manganês para manganato, dióxido de manganês ou permanganato (NEBEL, 1981). Todos os membros da série dos halogênios, exceto o flúor, reagem com o ozônio.

### **3.4.3 – Transferência de massa**

O ozônio é transferido da fase gasosa, na qual é gerado, para a fase líquida, quando utilizado para tratar águas de abastecimento ou águas residuárias (NEBEL, 1981). Segundo RICE & NETZER (1982), os sistemas mais comuns de aplicação de ozônio são os processos heterogêneos, que

envolvem transferência de massa de ozônio por meio de bolhas, para o meio aquoso, pela interface gás / líquido.

A transferência de massa do ozônio para o líquido, é afetada, principalmente, pela concentração do ozônio na fase gasosa, temperatura, pH, pressão, pelo método de transferência, tempo de contato, dimensão das bolhas, água em estudo entre outros.

GUROL (1985) informa que os efeitos físicos e as reações químicas que ocorrem numa câmara, onde a mistura gasosa ar – ozônio, ou oxigênio – ozônio entra em contato com a água, para remover poluentes podem ser:

- transferência de massa de ozônio da fase gasosa para fase líquida;
- transferência de massa de compostos voláteis da água para fase gasosa;
- reação química do ozônio com os compostos existente na água;
- decomposição do ozônio nas fases líquidas e gasosas;
- reação química dos radicais, produtos da decomposição do ozônio;
- formação de ozônio residual na fase líquida;
- caminhamento de pequenas bolhas de ozônio para saída da câmara;

GUROL (1985) afirma que a composição química da água pode ser um significativo fator na determinação da eficiência da ozonização, quanto à transferência de massa, pois vários constituintes orgânicos e inorgânicos podem acelerar ou inibir, total ou parcialmente, a auto decomposição do ozônio, além de que, o pH da água tem uma forte influência na sua auto-decomposição.

A influência da ozonização na remoção da matéria orgânica não foi suficientemente estudada, de forma a existirem poucos trabalhos reportados na literatura, o que justifica a realização deste trabalho, pois dependendo dos resultados a serem obtidos, o processo de ozonização poderá ser

economicamente viável, entre os processos existentes, como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios na remoção complementar de matéria orgânica e de organismos patogênicos.

### 3.5 – Métodos de determinações de ozônio

Para controle do processo de ozonização, é necessária a análise do balanço de massa do ozônio no sistema, no qual dispõe-se a concentração do gás ozônio que é transportada para câmara de contato ( $D_1$ ), que representa a dosagem aplicada; da concentração efluente, do gás ozônio, capturada pelo sistema de off-gas ( $D_2$ ); e do ozônio dissolvido na amostra ozonizada ( $D_3$ ). A demanda consumida pela amostra segue a seguinte equação:

$$D_{\text{demanda}} = D_1 - D_2 - D_3 \quad \text{eq. (1)}$$

Vários métodos são disponíveis para determinação do ozônio. Alguns dos mais utilizados podem ser vistos na FIGURA 10, dentre eles os mais freqüentes são: o método iodométrico e o método da absorvância em ultravioleta (LANGLAIS et al, 1991).

O método iodométrico, utilizado no presente trabalho para determinação da concentração de ozônio na fase gasosa, baseia-se na oxidação do íon iodeto pelo ozônio, liberando iodo, enquanto o ozônio é reduzido a oxigênio. O gás contendo oxigênio e ozônio passa por uma solução de iodeto de potássio (2%), formando para cada mol de  $O_3$  um mol de  $I_3^-$ . (LANGLAIS, 1991; NEBEL, 1981).



De acordo com LANGLAIS et al (1991) e NEBEL (1981) o iodo liberado é titulado com uma solução padrão de tiosulfato de sódio e a concentração de ozônio calculada .

Uma das vantagens do método iodométrico, é que não requer uma calibração e que pode ser usado tanto para baixas como para altas concentrações de ozônio, tanto para a fase gasosa, mais utilizada, como para a fase líquida (BILITZKY et al, 1985).

Na FIGURA 10, pode-se verificar algumas das técnicas analíticas existentes e utilizadas para determinação de ozônio.

Método	Princípio	Vantagens e limitações
Oxidação iodométrica	Oxidação do $I^-$ para $I_2$ ; detectando o $I_3^-$ por eletrometria, fotometria ou titulometria	Alta sensibilidade de detecção, aproximadamente $2\mu\text{g/l}$ ; sofre interferência de vários oxidantes; reações estequiométricas questionadas; provável perda de ozônio na coleta de amostras.
Espectrometria a UV	Absorbância a UV da molécula de ozônio a $254\text{nm}$ ; coeficiente molar de extinção de aproximadamente $2900\text{ l/mol-cm}$	Alta sensibilidade de detecção para $20\mu\text{g/l}$ com cubetas de $50\text{ cm}$ de trajetória, pode ser usado em sistemas contínuos; potencial interferência por compostos orgânico e inorgânicos com absorbância de $240\text{-}300\text{ nm}$ , por partículas suspensas e cor.
Leuco cristal violeta (LCV)	Oxidação do leuco cristal violeta para cristal violeta; mede-se a absorbância do cristal violeta a $592\text{ nm}$ ; absorbância molar de aproximadamente $10^5\text{ l/mol-cm}$	Com sensibilidade de aproximadamente de $1\mu\text{g/l}$ ; com interferência de alguns oxidantes, notadamente o dióxido de manganês; o principal problema é a célula do kit de teste que mancha com o uso.
DPD (Dietil -P- Fenil Diamina)	Oxidação do DPD; determinados por titulação ou métodos fotométricos	Sensibilidade de detecção para valores abaixo de $1\text{mg/l}$ , é disponível na forma de kit, apresenta algumas interferências por oxidantes, especialmente halogenos e manganês, os maiores problemas são os reagentes e a estabilidade do produto.
Índigo Trissulfonato (azul)	Embranquecimento do Índigo Trissulfonato (azul) devido a adição de ozônio; é medido espectrofotometricamente a $600\text{ nm}$ .	Boa sensibilidade para valores inferiores a $1\text{ mg/l}$ , não sofre interferência de peróxido; manganês e cloro podem interferir, porém podem ser corrigidos.

**FIGURA 10** – Técnicas analíticas para determinação de ozônio.  
 FONTE: LANGLAIS et al (1991).

Segundo NEBEL (1981), a análise de ozônio, utilizando iodeto de potássio, requer alguns cuidados, devido a interferências de algumas variáveis como pH da solução, concentração de ozônio e da temperatura.

GORDON et al (1989), que estudaram as limitações do método iodométrico para determinação de ozônio, afirmam que um método preciso e fidedigno para determinação do gás ozônio, não encontra-se disponível; com

isso o método iodométrico, provavelmente, continuará sendo freqüentemente utilizado.

Maiores informações sobre ozônio e suas particularidades, consultar MARCHIORETTO (1999), DI MATTEO, M. L. (1992).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 – Considerações Iniciais

O presente estudo abrangeu a investigação da influência da flotação seguida de ozonização na remoção de matéria orgânica específica (proteína, carboidrato e lipídios), como pós tratamento de um Reator Anaeróbio de Leito Expandido (RALEx) tratando esgoto sanitário, com realização de ensaios estáticos de flotação, seguido de diferentes dosagens de ozônio para diferentes tempos de contatos.

Foram utilizados equipamentos em escala piloto, como é o caso do Reator Anaeróbio de Leito Expandido, e equipamentos em escala de laboratório, com alimentação por batelada, como flotatest para a flotação, Jar-test para mistura rápida, além de um gerador de ozônio com pressão positiva (utilizando ar atmosférico) e colunas de ozonização.

Os ensaios de flotação, foram efetuados com parâmetros fixos, conforme proposto por PENETRA (1998), e de forma estática em função do volume requerido para a ozonização.

Foram aplicadas três dosagem de ozônio ( $7 \text{ mg O}_3 / \text{l}$ ,  $14 \text{ mg O}_3 / \text{l}$  e  $21 \text{ mg O}_3 / \text{l}$ ), com três tempos de contados (5 minutos, 10 minutos e 15 minutos), para uma produção constante de  $0,03 \text{ g O}_3 / \text{h}$ .

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira etapa foi determinada a produção do ozonizador de forma a obter-se as dosagem e tempo de contato requeridos. Na segunda etapa, foram aplicadas diferentes dosagens de ozônio para diferentes tempos de contatos, verificando em cada interação, a remoção de matéria orgânica específica obtida.

## 4.2 – Instalações utilizados

A seguir serão reportadas as instalações envolvidas durante a investigação experimental.

### 4.2.1 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido

Para o tratamento anaeróbio da água em estudo, foi utilizado um Reator Anaeróbio de Leito Expandido (RALEx), tratando esgoto sanitário (vide FIGURA 11).



**FIGURA 11** – Reator Anaeróbio de Leito Expandido, Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

De acordo com MENDONÇA (1999), o RALEx foi construído em aço carbono zincado à quente, com 14,9 m de altura total e volume útil de 32 m<sup>3</sup>.

O reator é composto de duas partes, uma de reação e outra de sedimentação. A câmara de reação apresenta formato cilíndrico e tem 12,0 m de altura e 1,5 m de diâmetro, enquanto que a câmara de sedimentação tem 2,9 m de altura e 1,5 m de diâmetro menor e 2,5 m de diâmetro maior.

O reator apresenta no seu interior dispositivo interno perfurado, com 400 mm de diâmetro e 7,0 m de altura. Esse dispositivo foi colocado, de maneira a se obter uma boa mistura da massa líquida, coleta do biogás

resultante da degradação do substrato e separação do material sólido de densidade maior que a massa líquida (número da patente requerida).

Foram coletadas amostras do efluente final do RALEx, como água de estudo, para as etapas subseqüentes, de flotação (flotatest) e ozonização respectivamente, da investigação experimental.

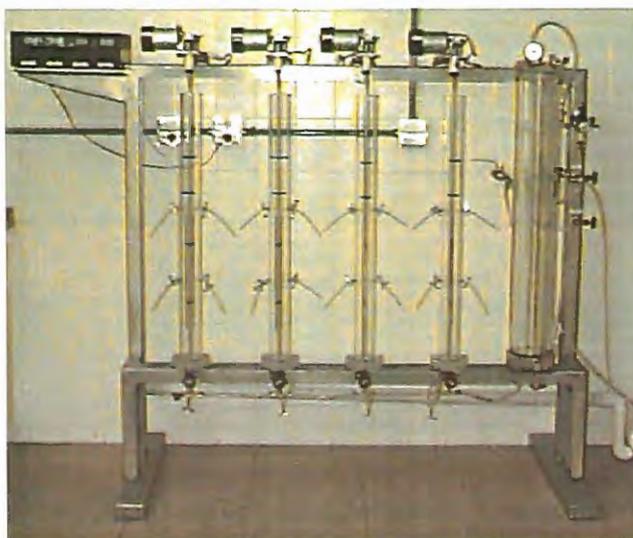
Maiores informações sobre Reator Anaeróbio de Leito Expandido consultar MENDONÇA (1999).

#### **4.2.2 – Instalação de Flotação por Ar Dissolvido em escala de laboratório (flotatest)**

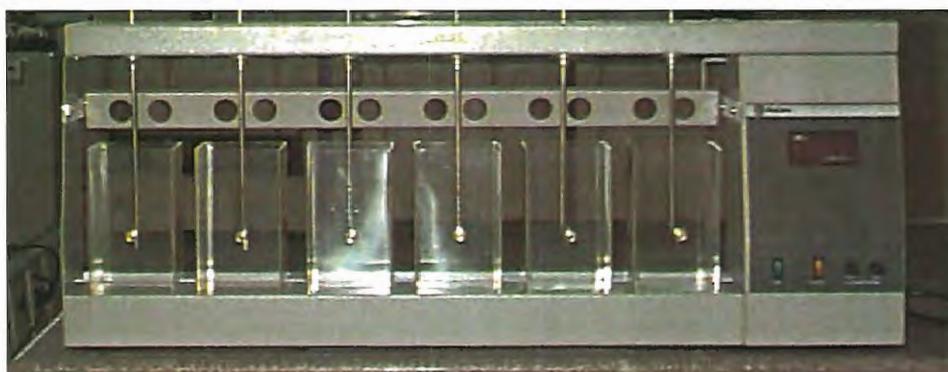
A instalação de flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (flotatest) é constituída de quatro câmaras de flotação operadas em paralelo, alinhadas por uma única câmara de saturação (vide FIGURA 12).

Inicialmente, é realizada a mistura rápida no aparelho Jar-test (vide FIGURA 13), com adição do coagulante na dosagem estabelecida, por conseguinte enche-se as câmaras de flotação para que seja efetuada a floculação. Cada câmara é provida de um agitador próprio (tipo eixo vertical, paletas paralelas ao eixo, dois braços e uma paleta por braço), que é impulsionado por um motor elétrico acoplado adequadamente ao sistema, o qual está ligado a um regulador de tensão para controle da rotação. Terminada a floculação, abrem-se os registros que controlam a entrada da recirculação pressurizada proveniente da câmara de saturação, promovendo a flotação dos flocos presente na câmara de flotação. Foi utilizado os pontos de amostragem mais próximos a base da câmara de flotação, observadas as condições estáticas do ensaio.

Para saturação do volume de água para recirculação, foi utilizada uma câmara de saturação sem recheio, em regime de batelada.



**FIGURA 12** – Flotatest, utilizado para ensaios de flotação em batelada, Laboratório de Tratamento Avançado e Reuso de Águas, EESC – USP.



**FIGURA 13** – Jar-test – Utilizado para mistura rápida, Laboratório de Tratamento Avançado e Reuso de Águas, EESC – USP.

#### **4.2.3 – Conjunto de ozonização**

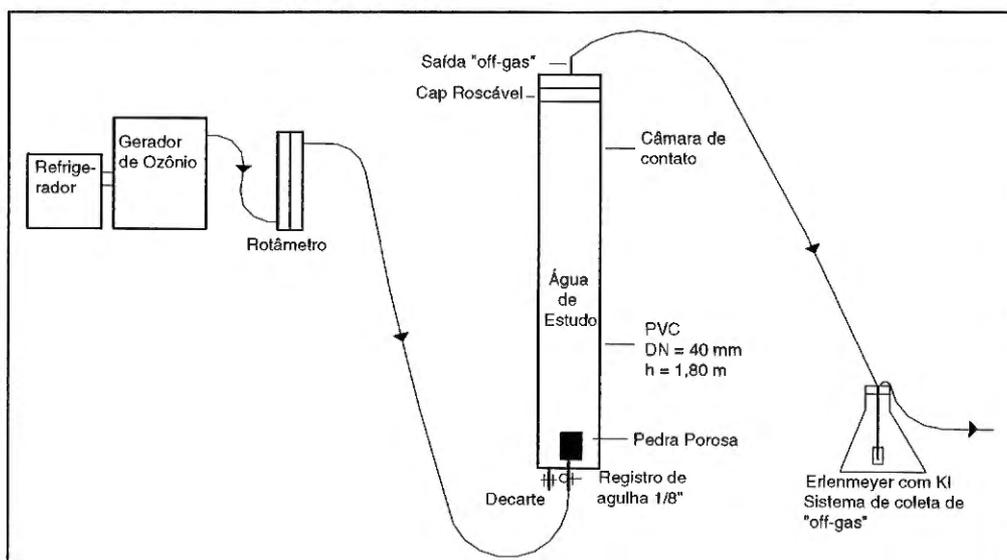
A seguir, serão descritos os materiais que envolvem o conjunto de ozonização(vide FIGURA 14).

##### **4.2.3.1 – Ozonizador**

Foi utilizado um Gerador módulo laboratório da QUALID'OR – LABORATÓRIO (vide FIGURA 15), funcionando com pressão positiva e ar na geração de ozônio, com capacidade máxima de 8 g O<sub>3</sub> / h com concentração de 20 g/m<sup>3</sup> (2 % m/m).

No conjunto encontra-se uma câmara de refrigeração (vide FIGURA 15), com temperatura entre 2 – 4 °C, a fim de manter constante a

temperatura do ar, além de favorecer o processo de secagem do ar através de um secador automático (100 W), presente no conjunto de geração de ozônio.



**FIGURA 14** – Esquema do conjunto de ozonização.



**FIGURA 15** – Gerador de ozônio Qualid'or – Laboratório à esquerda, e câmara refrigeradora à direita.

Foi utilizado um rotâmetro (vide FIGURA 16), na saída do ozonizador, para manutenção da vazão desejada.



**FIGURA 16** – Rotâmetro, utilizador para regular vazão de gás.

#### **4.2.3.2 – Colunas de ozonização**

A coluna utilizada é de seção cilíndrica, construída em PVC, com diâmetro interno de 1 ½ " e altura total de 1,85 m (vide FIGURA 16). A sua base está conectada a uma pedra porosa para difusão do ozônio, conectada a uma mangueira para entrada do gás, com um registro de agulha. Paralelamente a essa mangueira, encontra-se uma outra, responsável pela coleta de água de estudo ozonizada e, eventualmente para descarte da água de limpeza do sistema.

Para calibração da produção de ozônio foi utilizada a câmara de contato supra citada.

O excesso de gás (off-gas) não retido na câmara de contato é levado por uma mangueira conectada ao topo da mesma a um sistema formado por um erlenmeyers (2 litros) (vide FIGURA 17, e Figura 18), vedado por uma rolha e com um difusor poroso contendo uma solução de iodeto de potássio 2% (1 litro). Esse sistema permitiu a remoção total da concentração residual de ozônio no efluente gasoso.



**FIGURA 17** – Coluna de ozonização, utilizada como câmara de contato. E sistema de coleta de “off-gas”, composto de um erlenmeyer, em série com a coluna.



**FIGURA 18** – Sistema de coleta de gás em excesso (off-gas).

### 4.3 – Métodos e ensaios realizados

Nesta seção serão discutidos os métodos e os ensaios realizados durante a fase experimental.

#### 4.3.1 – Método para determinação do ozônio na fase gasosa

Foi utilizado o método iodométrico, segundo APHA (1995), como segue abaixo:

- I. Coloca-se um volume de 500 ml de solução de iodeto de potássio 2% na câmara de contato (coluna). Durante um tempo pré - fixado (10min), borbulha-se o gás ozônio através da coluna;
- II. Decorrido o período de ozonização, fecha-se o registro de entrada do gás, e solta-se a seringa da mangueira coletora, recolhendo-se uma amostra de 200 ml;
- III. Essa amostra de 200 ml é imediatamente fixada com 4 ml de solução de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 1N, 2 ml de ácido para cada 100 ml de amostra, e protegido contra a incidência da luz ambiente ;
- IV. Titula-se a amostra com uma solução de tiosulfato de sódio ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) 0,025 N, até que adquira uma coloração amarelo palha;
- V. Adiciona-se 2 ml de solução indicadora de amido, levando a amostra a um tom azulado;
- VI. Continua-se a titulação com tiosulfato de sódio, até a cor azul desaparecer totalmente;
- VII. Anota-se o volume total de tiosulfato de sódio gasto;

VIII. Determina-se a produção parcial de ozônio ( $P_1$ , em  $\text{gO}_3/\text{h}$ ):

$$P_1 = (N_T \cdot \Delta V_T \cdot F_c \cdot 24000 \cdot V_1 \cdot 60) / (V_2 \cdot 1000 \cdot T_{\min}) \quad \text{eq. (2)}$$

Onde :

- ◆  $N_T$  - Normalidade do  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  (0,025N);
- ◆  $dV_T$  -  $V_F \pm V_b$  ;  
sendo:
  - $V_F$  - Volume de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  0,025 N consumido na titulação da amostra em ml;
  - $V_b$  - Volume de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  0,025N consumido na titulação do branco em ml;
- ◆  $F_c$  - Fator de correção ( 1 );
- ◆  $V_1$  - Volume de KI na câmara de contato, em litros;
- ◆  $V_2$  - Volume de amostra coletado para a titulação, em ml (200 ml);
- ◆  $T_{\min}$  - Tempo de aplicação de  $\text{O}_3$ , em minutos;

IX. Branco :

- 200 ml de amostra + 10 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N + 2 ml de solução indicadora de amido.
  - Se a cor azul aparecer, titula-se com  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  0,025N até a cor azul desaparecer e anote o resultado; (sinal de subtração – para  $V_b$ );
  - Se a cor azul não aparecer, titule com iodo 0,005N até a mesma aparecer e depois com  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  0,025N e anote o volume de tiosulfato (sinal de adição + para  $V_b$ );

X. Determinação da dosagem parcial de ozônio aplicada ( $\text{DO}_{3,1}$ , em  $\text{mg O}_3 / \text{L}$ ):

$$\text{DO}_{3,1} = (P_1 \cdot 100 \cdot T_c) / (V_1 \cdot 6) \quad \text{eq.(3)}$$

Onde:

- P - Produção do aparelho ( g de  $O_3$  / h );
- $T_c$  - Tempo de aplicação, em minutos;
- $V_1$  - Volume na câmara de contato, em litros;

#### 4.3.2 – Metodologia para determinação do ozônio na fase líquida

Foi utilizado um espectrofotômetro Dulcotest DT 11(vide Figura 19), para determinação do ozônio na fase líquida, com um comprimento de onda de 528 nm. Após a ozonização eram coletadas duas amostra de 12 ml cada, sendo uma delas o branco utilizada para “zerar” o espectrofotômetro. Na segunda amostra era adicionada os reagentes especiais da MERK, para determinação de ozônio, mascarada por esta empresa como B1,B2 e B3, e efetuadas as leituras do ozônio residual.



**FIGURA 19** – Espectrofotômetro Dulcotest, para determinação ozônio na fase líquida.

Foram utilizados os reagentes do Método Colorimétrico do DPD, para determinação de cloro, e “as gotinhas mágicas da MERCK”, para as amostras ozonizadas, utilizando o espectrofotômetro Dulcotest, na tentativa de obter-se uma correlação entre os métodos, e conseqüentemente, reagentes de forma mais econômica, porém, devido a água em estudo e das condições de ensaios, pode-se adiantar que não houve formação de ozônio residual na fase líquida. Todavia, foi verificada a correlação do Método Colorimétrico do DPD para determinação do Cloro, e dos reagentes da MERCK, utilizando padrões de cloro, e verificadas as concentrações no

espectrofotômetro Dulcotest DT 11 a 528 nm. Pode-se adiantar que houve uma correlação de 1 para valores de até 0,1 mg de  $O_3$  / l entre os reagentes da MECK e os do DPD.

#### 4.3.3 – Calibração ozonizador

O ozonizador foi calibrado para uma concentração no gás pré - estabelecida de 0,03 g  $O_3$  / h, para um tempo de aplicação de 10 min, com um volume 500 ml, de solução de iodeto de potássio 2%, na câmara de contato (coluna), e posteriormente verificada para volumes de 250ml, 750 ml e 1000 ml da mesma solução, obtendo-se a produção parcial de ozônio  $P_1$ .

Para a verificação da possível formação de gás em excesso (off-gas), foi colocado em série com a câmara de contato, um erlenmeyer de 2L com um volume de 1 L de solução de iodeto de potássio 2%, obtendo-se a produção parcial de ozônio  $P_2$ .

A produção total de ozônio é a soma das produções parciais  $P_1$  e  $P_2$  ( $P_1 + P_2$ ).

Deve-se obter o valor da produção do aparelho, a fim de que se possa conhecer, em função das variáveis tempo e volume na câmara de contato, a dosagem de ozônio aplicada.

Para determinação das produções parciais do ozônio na fase gasosa foi utilizada a metodologia descrita no item 4.3.1. nas fases I a IX.

#### 4.4 – Ensaio estático de flotação

Foram realizados ensaios estáticos de flotação, utilizando efluente do Reator Anaeróbio de Leito Expandido como água em estudo.

Os ensaios foram realizados em um "flotatest", em regime de batelada (tipo batch), com parâmetros fixos e otimizados por PENETRA(1998).

Inicialmente, coletou-se 1,75 litros de amostra em um jarro do "Jar-test", sem alteração do pH, onde adicionou-se cloreto férrico como coagulante, na dosagem de 65 mg/l. Após a adição do coagulante, iniciou-se a mistura rápida, por um tempo de 30 segundos, com um gradiente de  $1100\text{ s}^{-1}$ . Ao finalizar a mistura rápida, transportou-se a água em estudo para

as câmaras de flotação do “flotatest”, e iniciou-se a floculação, por um tempo de 15 minutos, com um gradiente de  $80 \text{ s}^{-1}$ . Com o termino da floculação, foram abertos os registros que controlam a entrada da recirculação pressurizada proveniente da câmara de saturação, que era de 20%, utilizando água de abastecimento saturada com ar por um tempo de 11 minutos, perfazendo uma quantidade de ar fornecida ao sistema de  $19 \text{ g/m}^3$ , promovendo a flotação dos flocos presente na câmara de flotação. Após o início da fase de geração de bolhas, e atendida a vazão de recirculação, os flocos foram flotados por um tempo de 5 minutos, a partir do qual iniciou-se a coleta de amostras clarificadas, coletando-se lentamente, por um tempo de 1 minuto de 30 segundos, de forma a não formar caminhos preferenciais e conseqüentemente evitar arraste de flocos já flotados, até perfazer um volume total de 500 ml.

Visto que cada ensaio no flotatest foi realizado sob as mesmas condições, as alíquotas de cada “batelada” foram acumuladas em um único recipiente do qual foram retiradas amostras para análises do efluente clarificado, representando a qualidade média do efluente flotado.

A mistura rápida não foi realizada no flotatest devido ao mesmo não apresentar eficiência satisfatória em tal etapa.

Como foi efetuado uma recirculação de 20 %, utilizando água de abastecimento pressurizada, e conseqüentemente uma diluição da água em estudo na mesma proporção, nas análises em laboratório, foram consideradas o efeito dessa diluição, nesta etapa e nas subseqüentes.

#### **4.5 – Ozonização**

Foi utilizado, como água em estudo nesta etapa, o efluente clarificado obtido no ensaio estático de flotação (flotatest), o qual foi submetido a diferentes dosagens de ozônio, sendo estas aplicadas para diferentes tempos de contato. Esta etapa objetivou, principalmente, o conhecimento geral e específico do comportamento da água de estudo, quando oxidados.

O gerador de ozônio foi calibrado para apresentar uma produção de 0,03 g O<sub>3</sub> / h (vide item 4.3.3), correspondendo a uma vazão de 65 l/h gás produzido, controlado pelo rotâmetro.

Com a produção determinada, os volumes das amostras na câmara de contato e os tempos de aplicação do ozônio, dispondo da equação da dosagem de ozônio, referenciada no item 4.3.1 passo X, tem-se a dosagem aplicada na amostra.

As dosagens aplicadas, os tempos de contato, os volumes das amostras e as lâminas de trabalho estudadas, podem ser observadas na TABELA 3.

**TABELA 3 - Variações experimentais no processo de ozonização.**

Tempo de Contato (min)	Dosagem Aplicada (mg O <sub>3</sub> /L)	Volume da Amostra (ml)	Lâmina Líquida de Trabalho na Coluna (m)
5	7	360	0,31
5	14	180	0,16
5	21	120	0,10
10	7	710	0,63
10	14	360	0,31
10	21	240	0,21
15	7	1070	0,94
15	14	540	0,47
15	21	360	0,31

Inicialmente, colocou-se a água em estudo na câmara de contato, a qual seria submetida a dosagem do oxidante ozônio e preparou-se o sistema de coleta do gás em excesso (off-gas), composto de um erlenmeyer de 2L, com 1L de solução KI 2%, em série com a câmara de contato. Em seguida deu-se início a ozonização, a uma vazão de 65 l/h de gás, pelo tempo de contato desejado.

Ao findar-se o tempo de contato, coletou-se 200 ml da solução de iodeto de potássio a 2%, do sistema de "off-gas" e deu-se início ao

procedimento descrito no item 4.3.1 nos passos I a X, obtendo-se a dosagem de ozônio que escapou para esse sistema. Coletou-se, também, 24 ml da água em estudo ozonizada para determinação da dosagem de ozônio na fase líquida, também conhecida como ozônio residual (Vide item 4.3.2).

De posse da dosagem aplicada  $D_1$ , da dosagem do "off-gas"  $D_2$  e do ozônio residual  $D_3$ , tem-se a parcela de ozônio que reagiu com a água em estudo que será:

$$D_{\text{reagiu}} = D_1 - D_2 - D_3 \quad \text{eq. 4}$$

#### 4.1.4 - Parâmetros analisados

- Proteína - Foi utilizado, para a determinação da concentração das proteínas, o Método do Micro-biureto Modificado, baseado na metodologia descrita por STICKLAND (1951).
- Carboidrato - Foi utilizado, para a determinação de carboidrato, o Método do Fenol e Ácido Sulfúrico, baseado na metodologia descrita por DUBOIS; GILLES; HAMILTON (1956);
- Lipídios - Foi utilizado, para a determinação de lipídios, o Método da Sulfosfosovanilina, baseado na metodologia descrita por POSTMA & STROES (1968);
- DQO Total;
- DQO Filtrada;
- Sólidos;
- Alcalinidade;

- pH;
- Temperatura;

Os ensaios de DQO<sub>Total</sub>, DQO<sub>Filtrada</sub>, sólidos, Alcalinidade, pH, Temperatura , foram realizados segundo os métodos descritos por APHA (1995).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

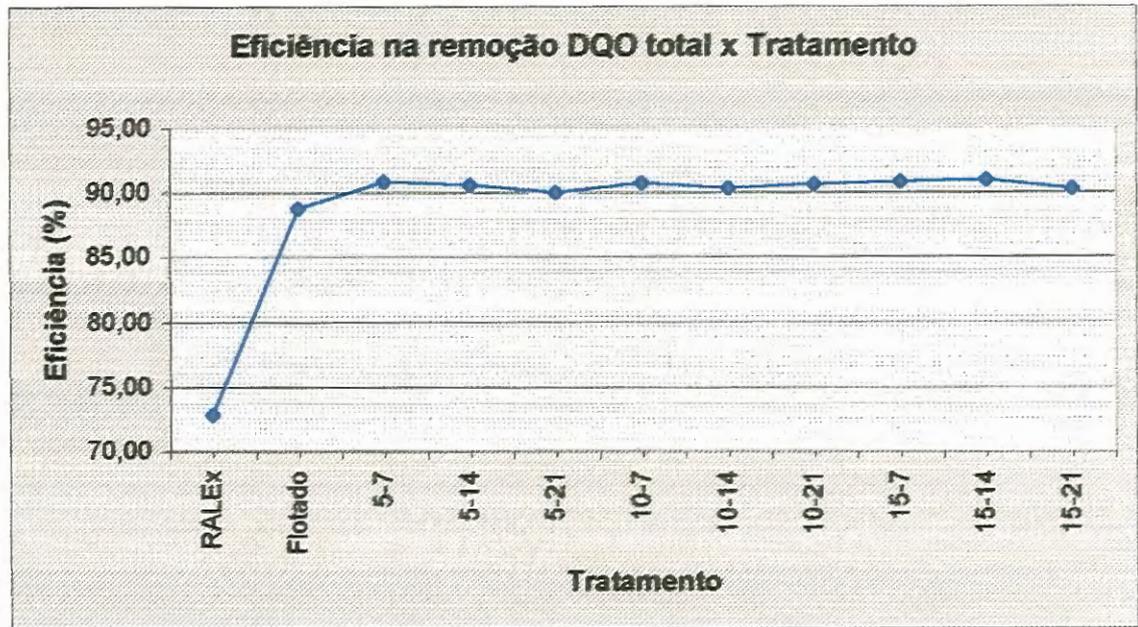
Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos ao longo da fase experimental e as discussões dos mesmos.

### 5.1 – DQO<sub>total</sub>

Os resultados, da eficiência total, referente a análise supra citada, podem ser obtidos na TABELA 4. Posteriormente pode-se observar a evolução gráfica da eficiência média referida à DQO<sub>total</sub> (vide FIGURA 20).

**TABELA 4** – Resultados obtidos durante a fase experimental, referentes a eficiência total na remoção de DQO<sub>total</sub>.

item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	DQO total (Eficiência total)								
					Tempo de cotato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	-	88,78	96,30	96,20	96,73	96,62	97,04	96,94	96,20	96,62	96,94	96,73
2	27/Jul	-	73,95	90,20	92,81	91,61	90,41	92,21	91,41	91,81	90,81	91,21	90,61
3	03/Ago	-	64,06	86,41	91,10	89,98	89,31	90,88	89,98	90,21	90,21	90,65	90,65
4	17/Ago	-	71,49	90,75	93,58	92,97	90,75	92,37	91,16	92,17	91,56	93,58	90,15
5	24/Ago	-	71,21	90,02	90,98	90,98	90,98	91,17	90,79	90,79	91,37	91,56	90,02
6	31/Ago	-	56,53	83,59	86,06	85,44	85,24	85,85	86,47	84,83	85,03	85,65	85,44
7	14/Set	-	63,53	86,90	90,33	89,76	89,76	89,19	89,00	88,62	89,38	89,38	88,43
8	21/Set	-	72,23	91,63	91,77	90,96	91,63	92,31	92,17	92,31	92,31	92,99	92,17
9	28/Set	-	84,59	91,60	91,60	93,66	92,01	93,04	93,45	93,24	93,66	94,07	92,63
10	05/Out	-	87,09	91,04	92,61	92,16	91,71	93,51	92,61	92,39	93,06	92,84	92,84
11	12/Out	-	66,78	84,77	88,09	88,09	87,20	87,43	86,98	87,43	0,00	86,98	86,98
12	19/Out	-	73,14	86,24	88,24	87,84	87,24	87,44	87,44	89,44	87,44	88,44	88,64
13	26/Out	-	72,37	83,09	86,19	86,61	86,19	85,78	84,75	87,64	87,64	87,43	87,43
<b>Ef. Média</b>			<b>72,75</b>	<b>88,66</b>	<b>90,74</b>	<b>90,52</b>	<b>89,93</b>	<b>90,63</b>	<b>90,24</b>	<b>90,54</b>	<b>90,76</b>	<b>90,90</b>	<b>90,21</b>
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>								



**FIGURA 20** – Evolução da eficiência do sistema, na remoção de  $DQO_{Total}$ , em função do tratamento aplicado.

### 5.1.1 – Esgoto bruto

A água em estudo supra citada, apresentou-se de forma bastante heterogênea na sua composição, apresentando uma  $DQO_{Total}$  média de 771 mg  $DQO_{Total}$  /l, com alguns picos ao longo da fase experimental. (vide ANEXO 1).

### 5.1.2 – Efluente Reator Anaeróbio de Leito Expandido

Como pode ser observado na FIGURA 20, o reator supra citado, apresentou uma eficiência média de 73 %, na remoção de  $DQO_{Total}$ , o que demonstra um bom desempenho do mesmo.

### 5.1.3 – Efluente Flotatest

Após a flotação, a eficiência média aumentou em 16 %, passando a atingir o patamar dos 89 % em média, na remoção de  $DQO_{Total}$ , demonstrando ser uma boa opção como pós tratamento de reator anaeróbio, mesmo verificadas as condições estáticas dos ensaios.

#### **5.1.4 – Efluente Ozonizado**

Verificou-se baixos acréscimos na remoção de DQO<sub>Total</sub>, contribuindo com um acréscimo médio de 1,8 %, porém não diferindo de forma significativa entre as condições operacionais exercidas, dosagem e tempo de contato, podendo essas pequenas contribuições, serem atribuídas a heterogeneidade da água em estudo e da sensibilidade do método de análise em questão.

#### **5.1.5 – Considerações gerais**

A eficiência total do sistema, na remoção de DQO<sub>Total</sub>, apresentou-se em média de 90,5 %, sendo um bom resultado para o sistema em estudo, onde pode verificar-se que a flotação e a ozonização, apresentam bons resultados como pós tratamento de reator anaeróbio, sendo o ultimo considerado um tratamento de polimento.

#### **5.2 – DQO<sub>filtrada</sub>**

Na TABELA 5 e na FIGURA 21, pode-se verificar os resultados de DQO<sub>filtrada</sub>, e a sua evolução gráfica, respectivamente, obtidos ao longo da fase experimental.

##### **5.2.1 – Esgoto bruto**

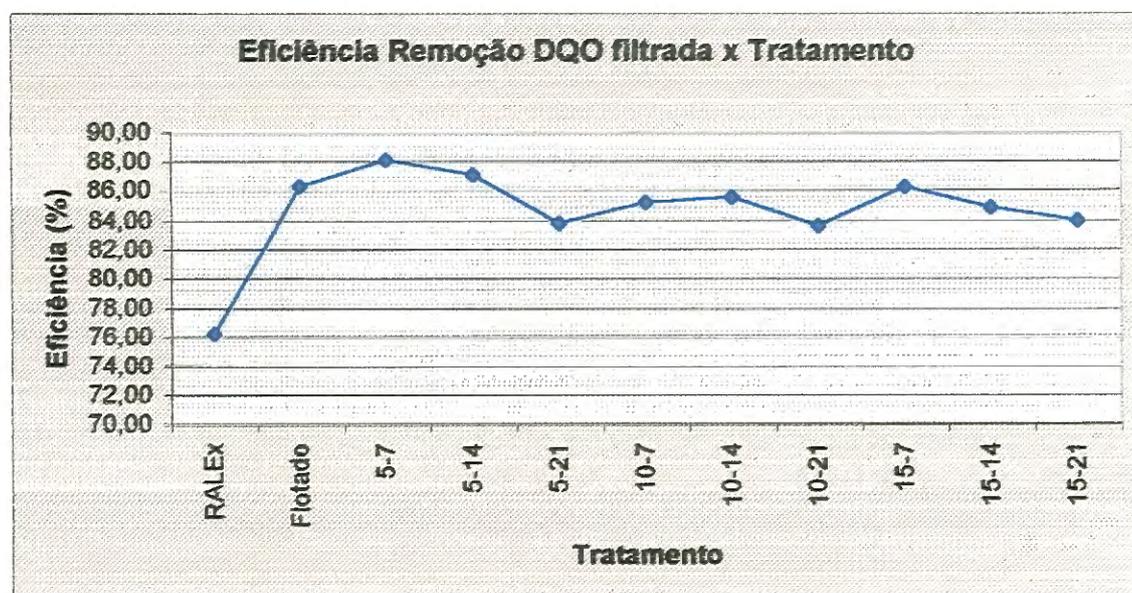
A água em estudo supra citada, apresentou uma concentração média de 283 mg DQO<sub>filtrada</sub> / l, vide ANEXO 1, com algumas variações ao longo, atribuídas a heterogeneidade da água em estudo ao longo dos dias.

##### **5.2.2 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido**

O RALEx, apresentou um bom desempenho na remoção de DQO<sub>filtrada</sub>, como esperado, perfazendo uma remoção total média de 76 % de DQO<sub>filtrada</sub>, como pode ser verificado na TABELA 5 e na FIGURA 21.

**TABELA 5** - Resultados obtidos durante a fase experimental, referentes a eficiência total na remoção de DQO filtrada .

item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	DQO filtrada (Eficiência global)								
					Tempo de contato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	-	84,45	94,66	95,15	94,16	91,20	93,18	91,70	91,20	93,18	92,19	90,71
2	27/Jul	-	75,48	85,60	85,06	81,31	80,77	82,92	85,60	81,31	88,28	87,75	88,28
3	03/Ago	-	69,88	82,71	84,17	90,70	83,44	84,89	87,79	83,44	84,17	86,34	84,17
4	17/Ago	-	75,17	84,83	86,16	82,17	81,50	80,84	84,83	82,17	87,48	86,82	80,17
5	24/Ago	-	79,00	86,21	86,21	86,70	83,73	83,23	83,73	82,74	84,72	82,74	83,23
6	31/Ago	-	72,08	80,74	84,15	81,88	77,89	80,17	75,04	71,63	75,04	74,47	74,47
7	14/Set	-	80,53	88,37	92,84	92,28	86,14	89,49	90,04	88,37	86,14	88,37	86,69
8	21/Set	-	82,62	92,42	91,76	92,42	90,10	89,76	91,09	89,76	92,42	90,10	88,77
9	28/Set	-	82,54	90,82	90,82	88,34	84,62	90,20	88,96	88,34	90,82	88,96	90,82
10	05/Out	-	85,38	90,96	93,58	92,27	89,65	88,34	90,96	89,65	91,61	87,04	90,31
11	12/Out	-	64,80	78,95	82,73	82,73	77,43	78,95	79,70	78,19		76,68	78,95
12	19/Out	-	73,38	85,34	87,89	82,80	83,82	83,31	83,82	82,29	80,26	79,24	79,24
13	26/Out	-	64,48	79,46	83,74	83,74	78,04	81,60	78,04	77,32	80,17	81,60	75,19
<b>Ef. Média</b>			<b>76,14</b>	<b>86,24</b>	<b>88,02</b>	<b>87,04</b>	<b>83,72</b>	<b>85,14</b>	<b>85,48</b>	<b>83,57</b>	<b>86,19</b>	<b>84,79</b>	<b>83,92</b>
					5,99	12,84	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>								



**FIGURA 21** - Evolução da eficiência do sistema, na remoção de DQO<sub>filtrada</sub>, em função do tratamento aplicado.

### **5.2.3 – Efluente Flotatest**

Para a etapa de flotação, utilizando flotatest, obteve-se acréscimo na eficiência global de 10 %, perfazendo remoção média, de 86 % de DQO<sub>filtrada</sub>, esse acréscimo é atribuído a remoções adicionais de partículas coloidais, durante a etapa em estudo.

### **5.2.4 – Efluente Ozonizado**

Verificou-se uma discreta piora na qualidade do efluente, com relação a DQO<sub>filtrada</sub>, após a ozonização, reduzindo a eficiência do sistema, como pode-se verificar na TABELA 5 e FIGURA 21.

### **5.2.5 – Considerações Gerais**

Pode-se afirmar que a ação do ozônio, nas condições operacionais impostas, possibilitou a quebra de partículas maiores em menores, favorecendo a passagem dessas partículas, na forma de colóides, pelo papel de filtro utilizado para filtração da amostra.

Contudo, outra vertente a considerar, é a heterogeneidade da água em estudo, além da sensibilidade do método de análise, porém a quebra das partículas ficaram evidentes durante os ensaios, aumentando assim, de forma teórica, a biodegradabilidade da água em estudo.

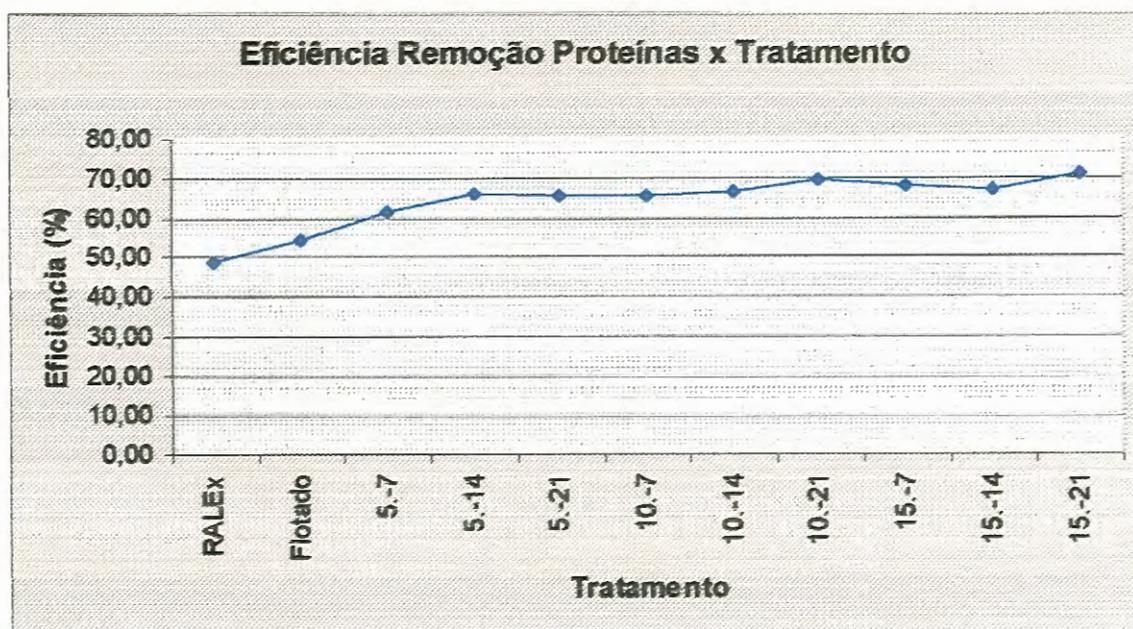
Apesar das diferentes condições operacionais impostas ao sistema, não verificou-se uma posição de destaque entre as mesma, generalizando os resultados.

## **5.3 – Proteínas**

Serão abordados e discutidos os resultados, obtidos durante a fase experimental, referente as proteínas, onde pode-se obter a eficiência na TABELA 6, e acompanhar o desempenho ao longo do tratamento na FIGURA 22.

**TABELA 6** - Resultados obtidos durante a fase experimental, referentes a eficiência total na remoção de Proteínas, relacionada à Caseína.

item	Data	Proteínas (Eficiência global, %)											
		Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	-	59,07	61,40	76,42	76,57	72,07	70,56	77,02	74,17	79,57	77,92	78,67
2	27/Jul	-	60,25	66,62	71,66	70,55	66,76	70,41	72,21	70,41	73,18	73,46	74,01
3	03/Ago	-	44,33	51,70	55,53	59,36	60,64	62,77	58,72	61,28	66,09	59,36	67,45
4	17/Ago	-	11,83	31,00	16,87	46,44	49,40	39,54	45,13	39,54	48,41	39,54	41,84
5	24/Ago	-	62,40	68,91	69,67	69,86	68,91	81,80	77,06	71,00	69,10	69,67	73,84
6	31/Ago	-	39,97	44,35	45,68	58,38	55,21	52,53	64,57	58,05	57,88	53,20	59,39
7	14/Set	-	55,44	58,35	75,47	68,06	62,24	58,53	58,71	67,88	66,82	67,18	68,06
8	21/Set	-	59,07	63,40	66,12	67,89	72,11	74,69	70,48	67,89	70,48	72,52	74,83
9	28/Set	-	44,14	46,42	64,96	63,12	66,99	62,31	60,48	70,87	60,27	56,20	72,29
10	05/Out	-	61,18	63,88	77,70	83,22	77,50	72,76	67,04	83,82	74,54	73,55	73,95
11	12/Out	-	48,77	52,10	58,03	67,08	72,48	68,65	67,85	70,57	0,00	65,69	64,12
12	19/Out	-	54,77	63,07	63,97	65,03	74,07	67,29	69,10	77,84	71,51	73,02	75,13
13	26/Out	-	16,54	19,70	40,64	48,83	48,65	50,47	57,57	59,58	56,12	56,66	63,22
<b>Ef. Média</b>			<b>47,52</b>	<b>53,30</b>	<b>60,21</b>	<b>64,95</b>	<b>65,31</b>	<b>64,02</b>	<b>65,08</b>	<b>67,14</b>	<b>66,33</b>	<b>64,46</b>	<b>68,21</b>
					5,98	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>								



**FIGURA 22** - Evolução gráfica, ao longo do sistema em estudo, na remoção de Proteínas, referenciadas à Caseína, em função do tratamento aplicado.

### **5.3.1 – Esgoto bruto**

A água em estudo, apresentou-se com uma concentração média de 227 mg/l de Proteínas referenciada à Caseína, na sua composição (Vide ANEXO 1), com algumas variações atribuídas a composição da água em estudo, a sensibilidade do método de determinação.

### **5.3.2 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido**

O Reator supra citado, apresentou uma eficiência média de 48 %, na remoção de Proteínas referenciadas à caseína, sendo um bom desempenho visto a diversidade de proteínas potencialmente presentes na água em estudo, além da complexidade de suas estruturas.

### **5.3.3 - Efluente Flotatest**

Verificou-se um acréscimo de 6 % na remoção de Proteínas, referenciadas à Caseína, nessa etapa, perfazendo um total de 53 % de remoção global.

Devido a ação da flotação ser mais atuante sobre a parcela particulada e, sabendo-se que o método de determinação de Proteínas, atua na parcela dissolvida, pode-se compreender o baixo rendimento nesta etapa na remoção de proteínas.

### **5.3.4 - Efluente Ozonizado**

Analisando os dados da TABELA 6 e da FIGURA 22, pode-se concluir que o efeito da ozonização sobre as proteínas, melhora à medida que aumenta-se o tempo de contato e a dosagem aplicada, como pode ser observado para os tempos de 10 minutos e 15 minutos, ambos com dosagem aplicada de 21 mg O<sub>3</sub> / l, apresentando os melhores resultados, com uma eficiência total média de 67 % e 68 % respectivamente.

É importante observar que o tempo de contato é de fundamental importância na remoção de proteínas, pois para mesma dosagem aplicada e diferente tempo de contato, e conseqüente dosagem consumida menor, a

medida que aumenta-se o tempo de contato, o resultado foi mais satisfatório, que aqueles com menor tempo de contato e maior dosagem consumida.

### **5.3.5 – Considerações gerais**

Concluí-se que o sistema em estudo, apresentou bons resultados na remoção de Proteínas, referenciadas à Caseína, atingindo uma eficiência total média de 68 %; para a etapa de ozonização, com tempo de contato de 15 minutos, dosagem aplicada de 21 mg O<sub>3</sub> / l e dosagem consumida de 16 mg O<sub>3</sub>/l, observando sempre, a complexidade e diversidade dessas proteínas presentes na água em estudo.

## **5.4 – Carboidratos**

Serão abordados e discutidos os resultados referentes a carboidratos, obtidos durante a fase experimental, onde pode-se obter a eficiência na TABELA 7, e acompanhar o desempenho ao longo do tratamento na FIGURA 23.

### **5.4.1 – Esgoto bruto**

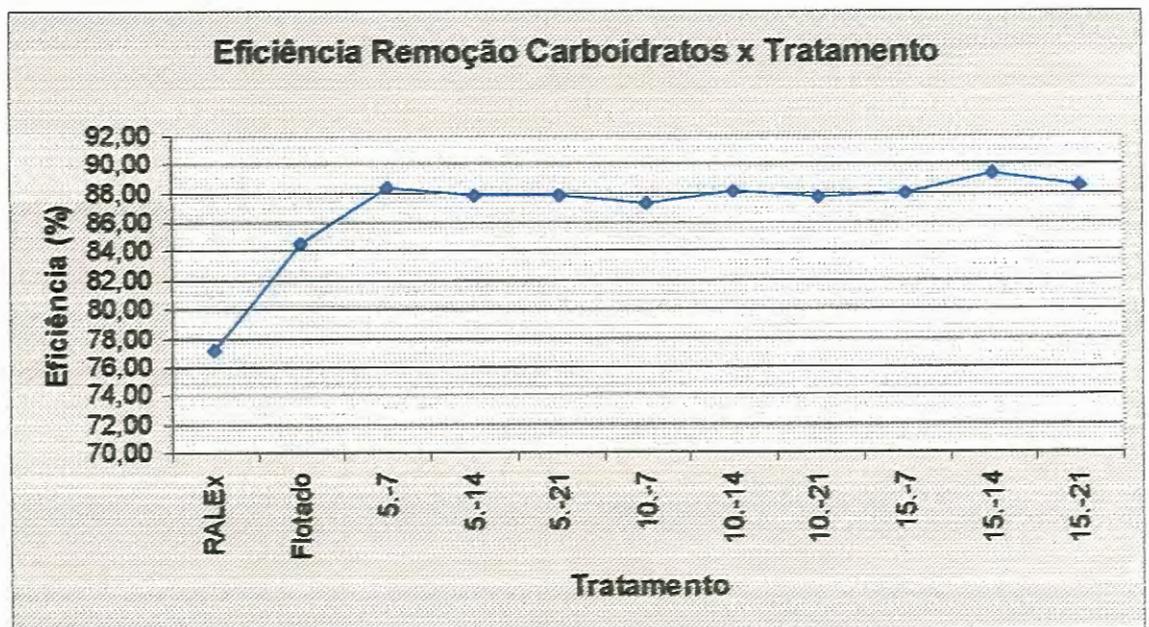
Na composição da água em estudo, obteve-se uma concentração média de 87 mg / l de Carboidrato, referenciado à Lactose, com algumas oscilações ao longo dos dias, nos quais ocorreram os experimentos, devido a heterogeneidade da água em questão (vide ANEXO 1).

### **5.4.2 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido**

Quanto ao desempenho do reator, pode-se afirmar que o mesmo apresenta uma ótima capacidade de remoção de Carboidratos, obtendo em média uma remoção total de 78 %, vide TABELA 7 e FIGURA 23.

**TABELA 7 – Eficiência na remoção de Carboidratos, referenciados à Lactose, obtidas durante a fase experimental, ao longo dos tratamentos impostos ao sistema.**

item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Carboidratos (Eficiência global, %)								
					Tempo de cotato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	-	85,34	96,18	97,76	97,76	96,18	97,69	97,04	96,75	96,47	97,48	97,76
2	27/Jul	-	81,45	85,62	89,79	90,75	88,36	89,18	90,82	84,04	91,03	90,00	89,45
3	03/Ago	-	75,83	84,88	88,17	86,57	86,30	85,32	86,30	86,03	87,37	87,99	87,90
4	17/Ago	-	72,27	84,09	87,12	84,81	86,98	86,04	87,56	87,92	86,26	93,13	89,29
5	24/Ago	-	83,50	90,91	92,28	92,28	93,36	92,88	93,06	93,84	93,12	93,78	92,64
6	31/Ago	-	64,35	79,95	87,01	86,45	86,73	83,67	84,32	85,89	82,74	87,84	86,91
7	14/Set	-	66,46	79,42	83,35	81,34	87,74	86,92	86,83	88,02	86,92	86,92	88,57
8	21/Set	-	78,47	90,18	93,22	92,90	92,69	92,63	93,91	92,90	92,85	92,89	93,75
9	28/Set	-	75,95	84,25	90,85	91,06	89,23	89,74	92,28	91,67	90,55	93,29	84,86
10	05/Out	-	78,17	79,12	86,48	82,54	82,54	82,71	79,97	83,74	83,22	88,36	82,03
11	12/Out	-	83,94	84,96	90,33	88,94	89,76	89,84	90,00	89,11	0,00	90,00	90,73
12	19/Out	-	85,29	86,03	87,44	89,05	89,80	89,61	90,18	87,63	87,63	88,10	91,41
13	26/Out	-	84,25	84,54	87,43	86,53	86,07	86,62	85,98	86,53	86,35	86,62	89,33
<b>Ef. Média</b>			<b>78,10</b>	<b>85,39</b>	<b>89,31</b>	<b>88,54</b>	<b>88,90</b>	<b>88,68</b>	<b>89,10</b>	<b>88,77</b>	<b>88,71</b>	<b>90,48</b>	<b>89,59</b>
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>								



**FIGURA 23 - Evolução da eficiência do sistema, na remoção de Carboidratos, referenciados à Lactose, em função do tratamento aplicado.**

#### **5.4.3 - Efluente Flotatest**

A etapa em estudo, conferiu um acréscimo, em média, de 7 %, na remoção global de Carboidratos, perfazendo um total de 85 % de remoção ao sistema.

#### **5.4.4 - Efluente Ozonizado**

Os melhores resultados, na remoção de Carboidratos referenciados à Lactose, foram obtidos para os maiores tempos de contatos e maiores dosagem aplicadas, correspondente ao tempo de contato de 15 minutos e dosagem de 14 mg O<sub>3</sub> / l, apresentando uma eficiência total média de 90,5%, e dosagem de 21 mg O<sub>3</sub> / l, e com o mesmo tempo de contato, com eficiência total média de 90 %, vide TABELA 7 e FIGURA 23.

#### **5.4.5 – Considerações Gerais**

Verifica-se que o Reator Anaeróbio de Leito Expandido, foi um dos grandes responsáveis pela remoção de Carboidratos no sistema, com uma eficiência média superior dos 78 %, delegando a flotação e a ozonização, um tratamento de polimento, como foi verificado.

Apesar dos melhores resultados, obtidos durante a ozonização, corresponderem ao tempo de contato de 15 minutos e dosagem de 14 mg O<sub>3</sub> / l e 21 mg O<sub>3</sub> / l, pode-se afirmar que as diferenças entre a eficiência obtida nas diversas condições operacionais exercidas, foram pouco significativas. Logo, para o tempo de contato de 5 minutos e respectivas dosagens, conclui-se que apresentam melhores resultados, quando se analisa a relação custo / benefício, pois convergiram para eficiência próxima dos 89 %, com um terço do tempo de contato, minimizando custos energéticos, volume da câmara de contato, entre outros.

## 5.5 – Lipídios

Serão abordados e discutidos os resultados, obtidos durante a fase experimental, referente aos Lipídios, onde pode-se obter a eficiência na TABELA 8, e acompanhar o desempenho ao longo do tratamento na FIGURA 24.

**TABELA 8** – Eficiência do sistema em estudo, na remoção de Lipídios, referenciados ao Óleo Savoy, durante a fase experimental, ao longo dos tratamentos em estudo.

Lipídios (Eficiência global, %)													
item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de cotato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	-	76,50	93,55	93,99	92,31	94,25	92,79	95,39	95,13	98,06	97,40	97,58
2	27/Jul	-	80,64	93,83	94,14	93,60	95,87	95,14	94,96	96,46	96,91	97,98	97,32
3	03/Ago	-	64,51	90,47	92,94	92,94	91,35	94,00	95,73	94,18	95,76	95,94	96,82
4	17/Ago	-	79,17	88,16	95,68	94,67	96,48	96,96	96,13	96,80	98,56	97,28	98,24
5	24/Ago	-	85,86	92,56	94,72	92,69	96,48	95,40	95,67	97,56	98,11	97,56	97,43
6	31/Ago	-	73,11	84,33	91,99	88,34	90,60	91,64	92,51	93,38	96,17	93,56	94,26
7	14/Set	-	73,11	88,99	92,93	92,11	92,93	91,57	92,79	93,20	94,97	94,29	94,56
8	21/Set	-	75,71	88,57	93,71	92,71	94,57	94,14	94,43	95,43	97,00	94,71	95,43
9	28/Set	-	81,79	90,69	94,72	91,67	96,53	96,25	96,53	96,11	96,53	97,64	97,50
10	05/Out	-	81,45	88,52	95,83	92,43	96,35	95,30	95,83	96,61	97,39	96,09	96,09
11	12/Out	-	78,10	83,43	89,36	86,74	90,58	88,49	85,87	91,28	0,00	89,36	92,33
12	19/Out	-	65,80	78,59	86,45	86,45	88,46	90,80	90,30	91,30	91,80	91,47	92,97
13	26/Out	-	65,08	76,91	81,83	82,26	88,67	85,68	86,10	88,67	87,81	85,89	86,96
<b>Ef. Média</b>			<b>75,45</b>	<b>87,59</b>	<b>92,18</b>	<b>90,69</b>	<b>93,32</b>	<b>92,94</b>	<b>93,25</b>	<b>94,32</b>	<b>95,76</b>	<b>94,55</b>	<b>95,19</b>
					<b>6,99</b>	<b>12,64</b>	<b>18,21</b>	<b>4,08</b>	<b>10,77</b>	<b>17,37</b>	<b>2,41</b>	<b>9,6</b>	<b>16,23</b>
<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>													

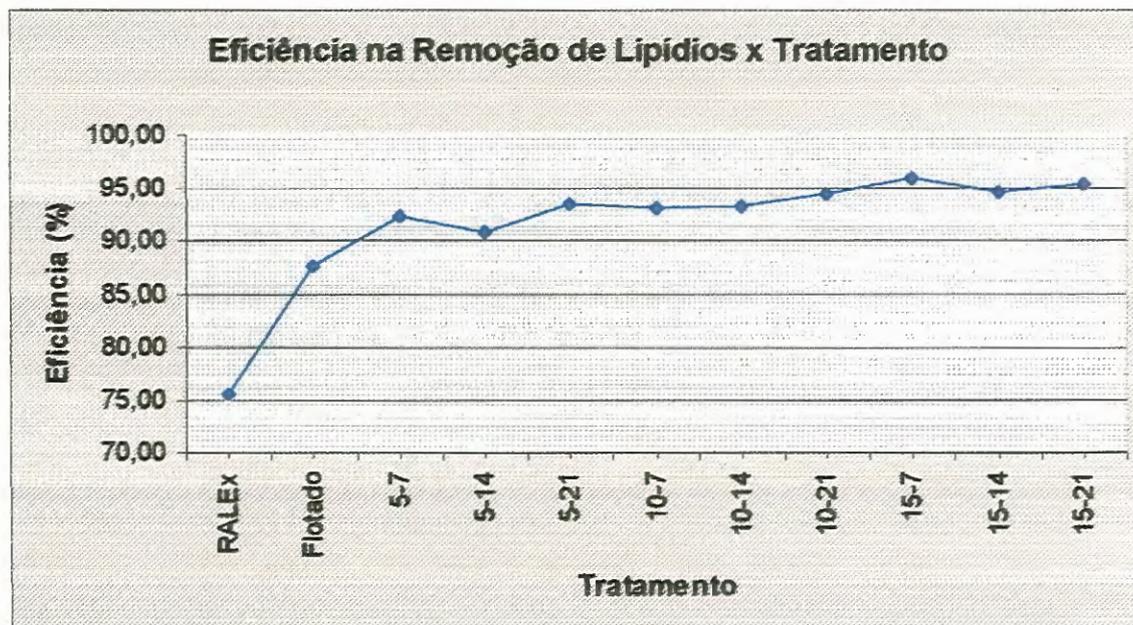
### 5.5.1 – Esgoto bruto

A água em estudo, apresentou-se com uma concentração média de 35 mg / l de Lipídios, referenciados ao Óleo Savoy (vide ANEXO 1).

### 5.5.2 – Reator Anaeróbico de Leito Expandido

O reator em estudo, apresentou um ótimo resultado na remoção de lipídios, como pode ser constatado na TABELA 8 e na FIGURA 24, chegando a índices de remoção médio de 75 %, ao sistema, porém, pode-se afirmar que não ocorreu uma remoção, no sentido de estabilização, e sim uma retenção, por parte do sedimentador, visto sua condição de escoamento, propiciando a retenção dos lipídios mais facilmente flotáveis,

formando uma camada de espuma. Lembrando-se que o sedimentador em questão é parte integrante do reator em estudo.



**FIGURA 24** - Evolução da eficiência do sistema, na remoção de Lipídios, referenciados ao Óleo Savoy, em função do tratamento aplicado.

### 5.5.3 – Efluente Flotatest

Constatou-se uma remoção complementar de lipídios de 12 %, durante os ensaios de flotação estática, perfazendo um total de 88 % de remoção de Lipídios referenciados ao Óleo Savoy.

### 5.5.4 – Efluente Ozonizado

Constatou-se uma significativa influência do tempo de contato, na remoção de lipídios, pois os melhores resultados correspondem ao tempo de contato de 15 minutos, mesmo apresentando dosagem consumida menor que os demais, porém, para as três dosagens aplicadas, de 7 mg O<sub>3</sub> / l, 14 mg O<sub>3</sub> / l e 21 mg O<sub>3</sub> / l, não apresentaram destaques entre elas, apresentando eficiência semelhante e próxima dos 95 %, fortalecendo a influência do tempo de contato para a otimização da reação do gás ozônio com os lipídios.

### **5.5.5 – Considerações Gerais**

Visto os itens 5.5.2, 5.5.3, verifica-se uma tendência na separação dos lipídios do efluente, e não uma estabilização do mesmo, porém, no caso da ozonização, constatou-se uma transformação nos lipídios, através da reação do gás ozônio, visto a remoção apresentada nesta fase, e a não constatação de separação por processos físicos, durante esse processo.

Vale ressaltar a influência do tempo de contato durante a ozonização, pois à medida que aumentou-se o tempo de contato, mesmo obtendo dosagem consumida menor, chegou-se a melhores resultados, enfatizando a necessidade de um tempo maior de reação do ozônio com os lipídios, para a obtenção de resultados mais eficientes.

### **5.6 – pH e alcalinidade**

Nas TABELA 9 e TABELA 10 podem ser observados os resultados obtidos de pH e alcalinidade, durante a fase experimental. E na FIGURA 25 e FIGURA 26, verifica-se a evolução das respectivas análises no mesmo período.

#### **5.6.1 – pH**

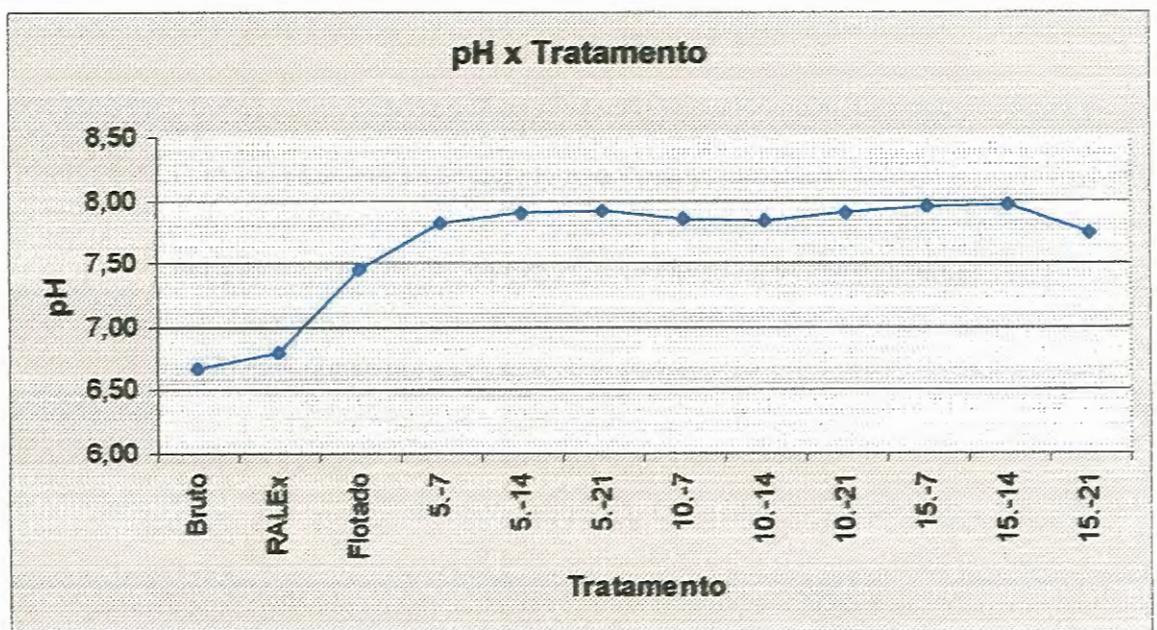
Verificou-se que a água em estudo, em seu estado "in natura", apresentou um pH ligeiramente ácido, próximo de 6,67, em média. Já o efluente do Reator Anaeróbio de Leito Expandido, aumentou o pH, porém de forma pouco significativa, tendendo a um pH neutro e média de 6,79.

Durante a etapa de flotação, observou-se um aumento do pH, para valores em média de 7,45.

Com a ozonização, o efluente apresentou uma tendência ao aumento do pH, para uma faixa mais básica, apresentando em média um pH de 7,86. Essa tendência, foi observada para as diversas condições impostas ao sistema.

**TABELA 9** – Resultados de pH, obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.

item	Data	pH											
		Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de cotato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	7,26	7,43	7,59	7,83	7,76	7,44	7,35	7,62	7,70	7,81	7,53	7,21
2	27/Jul	7,29	7,30	7,11	7,51	7,74	7,87	7,89	7,99	8,08	8,08	8,15	8,20
3	03/Ago	6,75	6,82	7,50	7,80	7,90	7,85	7,60	7,70	7,70	7,80	7,80	7,65
4	17/Ago	6,38	6,83	6,90	7,47	7,51	7,81	7,90	7,86	7,79	7,74	7,83	7,73
5	24/Ago	5,93	6,47	7,64	8,00	8,01	7,83	7,81	7,92	8,02	7,80	8,06	7,59
6	31/Ago	7,46	7,19	7,55	7,95	7,95	8,05	8,00	8,15	8,10	8,30	8,25	8,30
7	14/Set	6,58	6,60	7,34	7,78	7,89	7,84	7,85	7,68	7,83	7,89	7,83	7,66
8	21/Set	5,90	6,70	7,53	7,79	7,77	7,99	7,77	7,64	7,87	7,57	7,93	7,82
9	28/Set	6,55	6,75	7,63	8,00	8,24	8,05	8,13	7,72	7,70	8,25	8,17	7,89
10	05/Out	6,69	6,82	7,72	8,01	8,01	8,05	8,06	7,89	8,05	7,90	7,84	7,13
11	12/Out	6,62	6,51	7,56	7,65	7,83	7,96	7,86	7,87	7,99		8,02	7,29
12	19/Out	6,59	6,45	7,35	7,79	7,96	8,11	7,98	7,88	8,08	8,22	8,11	8,11
13	26/Out	6,66	6,43	7,56	8,03	8,04	8,02	7,77	7,86	7,87	8,01	7,91	7,95
<b>Média</b>		<b>6,67</b>	<b>6,79</b>	<b>7,46</b>	<b>7,82</b>	<b>7,89</b>	<b>7,91</b>	<b>7,84</b>	<b>7,83</b>	<b>7,91</b>	<b>7,95</b>	<b>7,96</b>	<b>7,73</b>
				5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23	
<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>													



**FIGURA 25** – Evolução do pH, ao longo do tratamento, (referenciados a média dos valores obtidos).

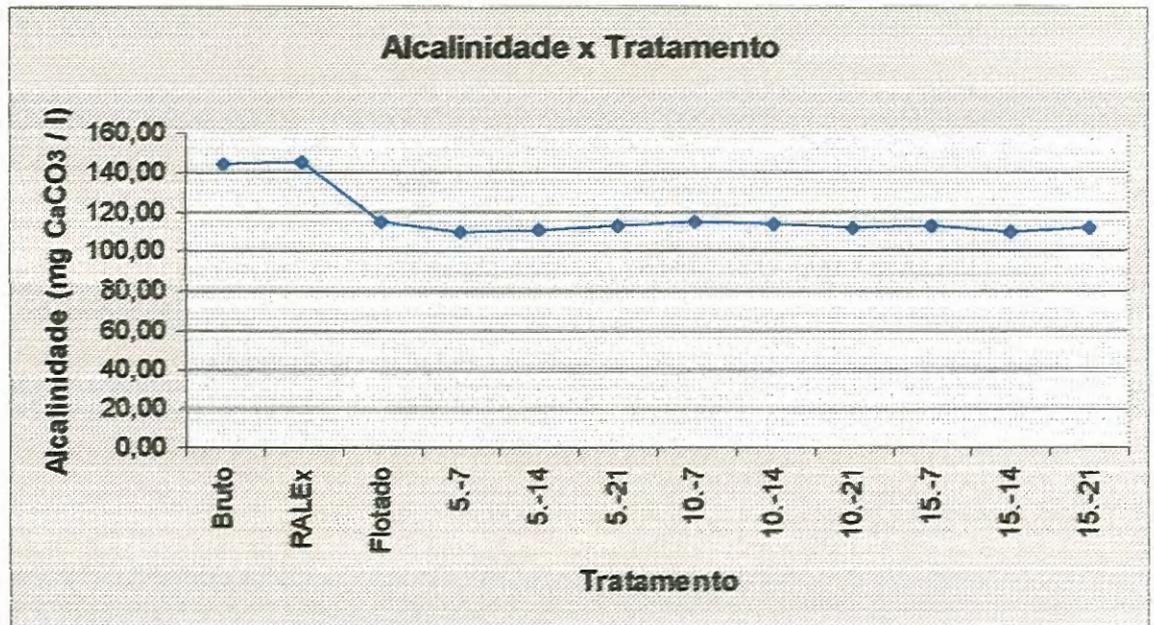
## 5.6.2 – Alcalinidade

**TABELA 10 - Resultados de alcalinidade, obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.**

Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> / l)													
item	Data	Bruto	RALEX	Flotado	Tempo de cotato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	141,75	136,50	99,75	94,50	94,50	99,75	94,50	99,75	89,25	99,75	99,75	89,25
2	27/Jul	173,25	165,90	120,75	110,25	105,00	118,65	115,50	115,50	115,50	115,50	110,25	131,25
3	03/Ago	120,75	141,75	94,50	89,25	105,00	97,65	99,75	99,75	97,65	99,75	99,75	94,50
4	17/Ago	131,25	136,50	105,00	99,75	99,75	99,75	99,75	105,00	105,00	99,75	94,50	94,50
5	24/Ago	98,10	141,70	103,55	98,10	103,55	98,10	103,55	98,10	103,55	103,55	103,55	98,10
6	31/Ago	147,15	185,30	119,90	119,90	125,35	119,90	130,80	125,35	125,35	119,90	114,45	130,80
7	14/Set	155,00	150,00	125,00	120,00	115,00	120,00	120,00	120,00	115,00	115,00	110,00	115,00
8	21/Set	95,00	150,00	120,00	120,00	110,00	120,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	105,00
9	28/Set	150,00	150,00	140,00	110,00	120,00	115,00	145,00	120,00	120,00	125,00	105,00	120,00
10	05/Out	150,00	170,00	100,00	95,00	100,00	105,00	100,00	100,00	100,00	105,00	105,00	100,00
11	12/Out	180,00	90,00	115,00	110,00	105,00	115,00	115,00	120,00	115,00		115,00	115,00
12	19/Out	158,10	117,30	122,40	127,50	122,40	127,50	125,46	127,50	127,50	127,50	122,40	127,50
13	26/Out	163,20	153,00	122,40	127,50	132,60	122,40	117,30	122,40	122,40	127,50	122,40	122,40
<b>Conc. Média</b>		<b>143,35</b>	<b>145,23</b>	<b>114,48</b>	<b>109,37</b>	<b>110,63</b>	<b>112,21</b>	<b>113,97</b>	<b>112,95</b>	<b>111,63</b>	<b>112,77</b>	<b>109,00</b>	<b>111,02</b>
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>													

A água em estudo, no início do tratamento, apresentou uma alcalinidade elevada, com concentrações de carbonato de cálcio na ordem de 143,35 mg CaCO<sub>3</sub> / l (vide ANEXO 1). Sendo elevada, de forma pouco significativa, pelo Reator Anaeróbio de Leito Expandido, como pode ser verificado na TABELA 10 e FIGURA 26. Porém, após a flotação, constatou-se um decréscimo na alcalinidade, para valores próximos de 114,5 mg CaCO<sub>3</sub> / l.

Durante a ozonização, a alcalinidade apresentou uma pequena diminuição, para valores próximo dos 111,50 mg CaCO<sub>3</sub> / l, com pequenas variações para as diversas condições impostas, nessa etapa, atribuídas à sensibilidade do método de determinação.



**FIGURA 26** - Evolução da alcalinidade, ao longo do tratamento, (referenciados a média dos valores obtidos).

## 5.7 – Sólidos

Serão abordados os resultados obtidos na análise da série de sólidos, ao longo do sistema em estudo.

### 5.7.1 – Sólidos totais

Na TABELA 11 e na FIGURA 27, pode-se observar os resultados obtidos, e a evolução das concentrações dos sólidos totais, ao longo do sistema.

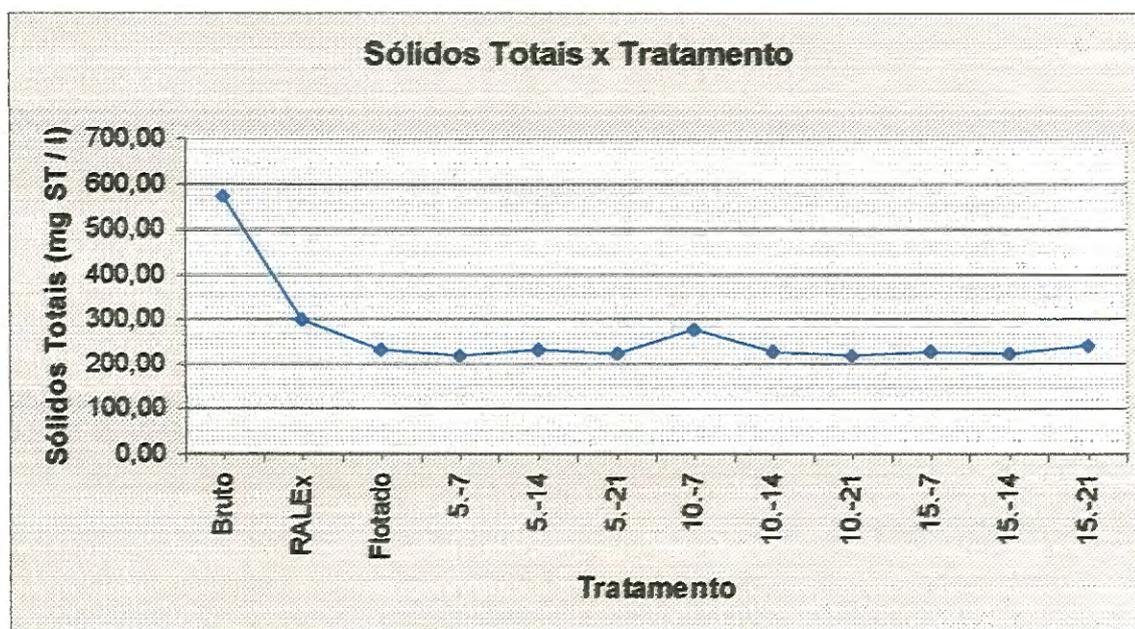
#### 5.7.1.1 – Esgoto bruto

A água em estudo, apresentou-se com uma concentração de sólidos totais, em média, de 573 mg ST / l (vide ANEXO 1).



**TABELA 11 – Concentrações de sólidos totais obtidos durante a fase experimental.**

item	Data	Sólidos Totais (mg ST / l)											
		Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	620,40	271,60	215,28	180,96	213,36	195,84	189,12	204,24	190,20	203,52	186,24	171,36
2	27/Jul	649,80	258,90	228,60	244,32	218,28	233,16	217,20	203,64	234,96	234,96	238,32	223,44
3	03/Ago	531,10	239,70	201,24	221,40	189,12	194,16	189,36	232,56	172,44	215,64	205,08	256,32
4	17/Ago	561,80	283,00	195,00	181,68	196,08	198,24	281,88	209,40	194,04	195,48	228,60	263,16
5	24/Ago	587,40	266,50	194,16	183,72	182,64	194,40	252,84	187,80	183,84	176,88	206,16	228,12
6	31/Ago	533,10	319,10	245,88	236,00	220,80	237,60	312,00	235,20	239,40	238,56	220,56	285,60
7	14/Set	572,20	293,60	234,36	204,72	241,68	244,68	329,04	244,68	215,40	241,32	232,08	248,88
8	21/Set	641,80	347,10	240,24	220,20	228,84	241,92	261,24	247,56	236,76	230,64	233,76	213,60
9	28/Set	589,20	288,30	214,44	215,76	261,72	232,32	292,56	226,20	232,08	222,96	200,52	297,00
10	05/Out	519,20	269,80	201,12	200,76	245,64	200,16	265,68	210,00	201,36	198,96	213,60	226,68
11	12/Out	527,50	377,20	235,56	218,52	251,04	232,44	351,60	238,80	226,80		224,04	217,32
12	19/Out	567,00	301,20	245,64	238,79	256,08	241,92	277,92	240,60	233,76	275,16	239,52	212,52
13	26/Out	547,90	338,60	340,08	258,00	271,20	249,60	361,92	263,28	280,08	275,52	271,44	252,00
<b>Conc. Média</b>		<b>572,95</b>	<b>296,51</b>	<b>230,12</b>	<b>215,76</b>	<b>228,96</b>	<b>222,80</b>	<b>275,57</b>	<b>226,46</b>	<b>218,55</b>	<b>225,80</b>	<b>223,07</b>	<b>238,15</b>
					5,98	12,64	19,21	4,98	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>								



**FIGURA 27 – Evolução da concentração de sólidos totais, ao longo do sistema em estudo.**

#### 5.7.1.2 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido

O reator apresentou uma boa remoção de sólidos totais, com uma eficiência média de 48 %.

### **5.7.1.3 – Efluente flotatest**

O ensaio de flotação estática, como esperado, apresentou um bom desempenho na retenção de sólidos totais, contribuindo para que a eficiência total, aproximasse dos 60 %. Porém, pode-se verificar um decréscimo nessa eficiência, nos últimos ensaios, devido a sensíveis melhoras no efluente do Reator Anaeróbio de Leito Expandido.

### **5.7.1.4 – Efluente ozonizado**

Constatou-se melhoras pouco significativas, na remoção de sólidos totais, com pequenas variações, atribuídas ao método de determinação (vide FIGURA 27).

## **5.7.2 – Sólidos Fixos Totais**

Na TABELA 12 e na FIGURA 28, pode-se observar os resultados obtidos, e acompanhar a evolução na remoção de sólidos fixos totais, ao longo do sistema.

### **5.7.2.1 – Esgoto Bruto**

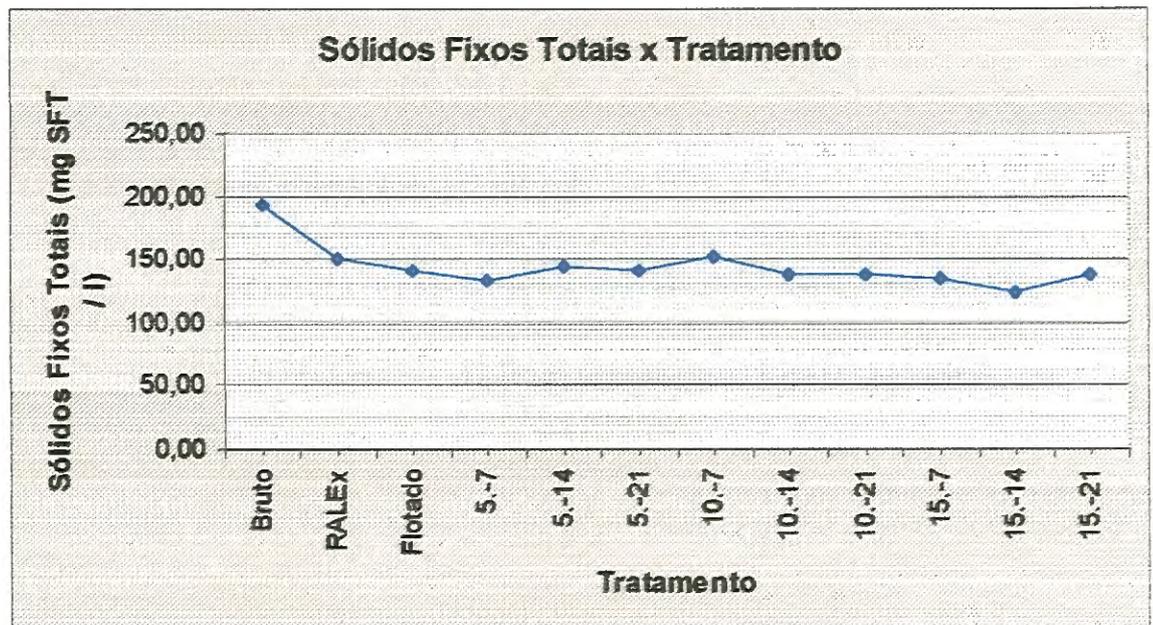
A água em estudo, apresentou-se com uma concentração de sólidos fixos totais, em média, de 193 mg SFT / l. (vide ANEXO 1)

### **5.7.2.2 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido**

O Reator Anaeróbio de Leito Expandido, apresentou uma baixa eficiência na remoção de sólidos fixos totais, como esperado, com uma remoção média de 22 %, sendo esta atribuída à incorporação de parte dos sólidos fixos totais, pela biomassa presente no reator, e posteriormente separada do efluente no decantador secundário que compõe essa unidade.

**TABELA 12 –** Concentrações de sólidos fixos totais obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.

Sólidos Fixos Totais (mg SFT / l)													
item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	211,60	113,80	76,92	62,88	91,44	96,96	95,52	114,48	113,76	102,96	6,36	101,04
2	27/Jul	110,70	121,10	127,92	40,08	135,96	152,52	137,40	93,48	71,64	138,24	77,76	25,20
3	03/Ago	131,70	103,50	116,64	95,16	93,24	98,16	106,92	92,52	150,24	16,08	77,88	86,28
4	17/Ago	210,00	148,80	130,44	130,08	131,52	145,20	156,00	132,72	120,36	126,12	141,84	169,32
5	24/Ago	194,10	133,00	134,16	118,56	130,20	135,12	133,92	118,56	125,88	122,64	109,08	151,32
6	31/Ago	207,20	169,90	150,12	163,52	150,72	155,04	160,32	155,64	155,16	157,92	149,52	165,84
7	14/Set	201,20	166,50	162,48	171,60	163,80	167,04	99,60	137,64	131,16	176,52	151,92	125,40
8	21/Set	237,40	133,00	180,68	151,08	145,20	160,08	145,92	152,76	146,76	143,28	138,60	118,08
9	28/Set	229,80	180,80	177,36	153,24	186,84	175,80	214,32	182,04	178,56	162,00	150,24	213,24
10	05/Out	190,80	144,60	146,28	158,64	162,12	124,56	174,84	135,96	134,04	139,68	145,08	145,32
11	12/Out	189,90	211,20	150,72	147,72	147,36	138,96	197,28	146,88	151,68		139,20	168,84
12	19/Out	204,90	157,60	155,04	155,03	165,12	116,40	159,36	151,32	143,40	161,64	159,96	154,68
13	26/Out	190,40	180,30	148,80	176,16	167,88	155,76	192,96	180,12	174,72	174,24	165,84	163,56
<b>Conc. Média</b>		<b>193,05</b>	<b>151,08</b>	<b>141,35</b>	<b>132,60</b>	<b>143,95</b>	<b>140,12</b>	<b>151,87</b>	<b>138,01</b>	<b>138,26</b>	<b>135,11</b>	<b>124,10</b>	<b>137,55</b>
					5,99	12,84	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>													



**FIGURA 28 –** Evolução da concentração de Sólidos Fixos Totais, ao longo do sistema em estudo.

### **5.7.2.3 – Efluente flotatest**

A etapa de flotação, contribuiu com 5 %, na remoção global de sólidos fixos totais, sendo uma baixa eficiência para essa unidade. Porém, ao analisar os sólidos suspensos fixos e os sólidos dissolvidos fixos, verificou-se que os sólidos fixos são predominantemente dissolvidos, justificando a dificuldade na sua remoção por flotação, além da adição de cloreto férrico, utilizado como coagulante, que contribuiu para o acréscimo dos sólidos fixos totais.

### **5.7.2.4 – Efluente ozonizado**

Os melhores resultados foram obtidos para os maiores tempos de contato, porém de forma pouco significativa, podendo-se atribuir essas variações à heterogeneidade da água em estudo, além da sensibilidade do método de determinação.

## **5.7.3 – Sólidos Voláteis Totais**

Na TABELA 13, pode-se observar os resultados e as médias das concentrações dos sólidos voláteis totais, e na FIGURA 29, acompanhar sua evolução ao longo do sistema.

### **5.7.3.1 – Esgoto Bruto**

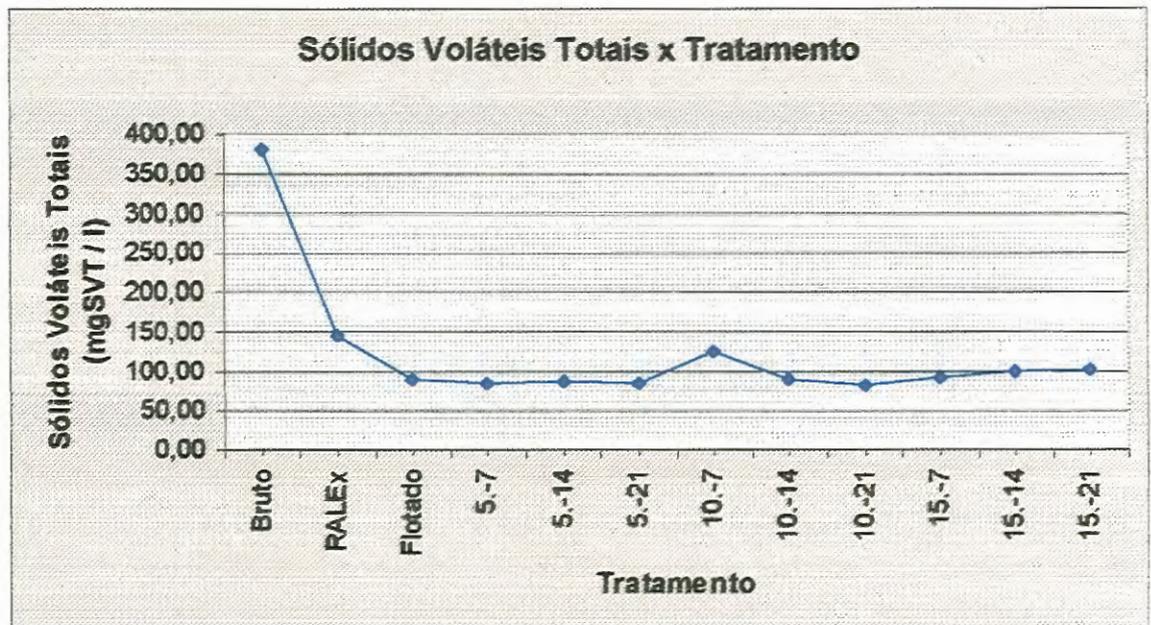
A água em estudo, na sua fase inicial, apresentou, em média, uma concentração de 380 mg SVT / l, com uma relação SFT/SVT de 0,5, a qual justificava o tratamento biológico inicial.

### **5.7.3.2 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido**

No reator supra citado, a remoção de Sólidos Voláteis Totais, foi de 62 %, caracterizando um bom desempenho, como esperado, melhorando sensivelmente seu efluente. Porém, com a baixa redução dos Sólidos Fixos Totais, a relação SFT/SVT passou para 1,04 para a água em estudo.

**TABELA 13 –** Concentrações de sólidos voláteis totais, obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.

item	Data	Sólidos Voláteis Totais (mg SVT / l)											
		Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	408,80	157,80	138,36	118,08	121,92	98,88	93,80	89,76	76,44	100,56	179,88	70,32
2	27/Jul	539,10	137,80	100,68	204,24	82,32	80,64	79,80	110,16	163,32	96,72	160,56	198,24
3	03/Ago	399,40	136,20	84,60	126,24	95,88	96,00	82,44	140,04	22,20	199,56	127,20	170,04
4	17/Ago	351,80	134,20	64,56	51,60	64,56	53,04	125,88	76,68	73,68	69,36	86,76	93,84
5	24/Ago	393,30	133,50	60,00	85,16	52,44	59,28	118,92	69,24	57,96	54,24	97,08	76,80
6	31/Ago	325,90	149,20	95,76	72,48	70,08	82,56	151,68	79,56	84,24	80,64	71,04	119,76
7	14/Set	371,00	127,10	71,88	33,12	77,88	77,64	229,44	107,04	84,24	64,80	80,16	123,48
8	21/Set	404,40	214,10	79,56	69,12	83,84	81,84	115,32	94,80	90,00	87,36	95,16	95,52
9	28/Set	359,40	107,50	37,08	62,52	74,88	56,52	78,24	44,16	53,52	60,96	50,28	83,76
10	05/Out	328,40	125,20	54,84	42,12	83,52	75,60	90,84	74,04	67,32	59,28	68,52	81,36
11	12/Out	337,60	166,00	84,84	70,80	103,68	93,48	154,32	91,92	75,12		84,84	48,48
12	19/Out	362,10	143,60	90,60	83,76	90,96	125,52	118,56	89,28	90,36	113,52	79,56	57,84
13	26/Out	357,50	158,30	191,28	81,84	103,32	93,84	168,96	83,16	105,36	101,28	105,60	88,44
<b>Conc. Média</b>		<b>379,90</b>	<b>145,42</b>	<b>88,77</b>	<b>83,16</b>	<b>85,01</b>	<b>82,68</b>	<b>123,69</b>	<b>88,45</b>	<b>80,29</b>	<b>90,69</b>	<b>98,97</b>	<b>100,61</b>
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>								



**FIGURA 29 –** Evolução da concentração de sólidos Voláteis totais, ao longo do sistema em estudo.

### 5.7.3.3 – Efluente flotatest

Com a etapa de flotação, a eficiência total passou para 77 %, melhorando a qualidade do efluente, com relação a presença dos Sólidos Voláteis Totais. A relação SFT/SVT passou para 1,59 induzindo a um tratamento físico - químico do seu efluente.

### 5.7.3.4 – Efluente ozonizado

Não foram constatadas melhoras com relação aos Sólidos Voláteis Totais após a ozonização, porém pode-se observar algumas variações nos resultados, atribuídas a heterogeneidade da água em estudo, além da sensibilidade do método de determinação.

### 5.7.4 – Sólidos Suspensos Totais:

Na TABELA 14, pode-se verificar os resultados e as médias das concentrações dos sólidos suspensos totais, e na FIGURA 30, acompanhar sua evolução ao longo do sistema.

**TABELA 14 – Concentrações de sólidos suspensos totais, obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.**

item	Data	Sólidos Suspensos Totais (mg SST / l)											
		Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	294,17	58,80	24,84	16,20	18,36	19,80	17,52	15,60	14,40	14,40	13,32	9,48
2	27/Jul	274,44	129,60	41,16	33,84	35,52	33,12	35,76	33,96	30,84	34,44	32,04	30,96
3	03/Ago	201,00	45,83	37,20	30,72	33,72	34,80	33,84	27,36	29,40	29,40	29,28	23,64
4	17/Ago	219,67	82,00	38,74	27,84	27,60	25,92	25,44	22,44	18,96	21,12	17,28	18,24
5	24/Ago	234,33	66,20	39,96	30,60	31,68	33,12	29,52	28,44	27,84	27,36	25,92	28,08
6	31/Ago	226,33	106,13	57,24	50,64	51,72	48,60	48,96	44,64	44,76	47,04	43,44	39,36
7	14/Set	232,00	100,00	57,77	49,92	50,88	48,00	52,32	48,36	47,76	48,24	45,36	45,60
8	21/Set	351,33	116,17	48,72	36,96	42,84	43,80	42,36	41,40	37,44	43,20	37,44	33,48
9	28/Set	224,50	43,20	26,28	26,64	22,92	24,96	26,64	24,60	23,16	24,84	17,40	19,56
10	05/Out	199,33	21,50	22,80	21,72	19,08	18,24	20,88	19,92	20,88	18,12	16,68	18,00
11	12/Out	253,33	38,20	40,44	41,04	35,52	33,36	35,04	31,68	33,36		33,84	30,36
12	19/Out	240,67	49,10	42,96	41,04	27,48	35,04	33,12	33,60	35,76	27,84	31,68	18,00
13	26/Out	241,33	18,00	47,49	44,64	42,00	42,60	46,56	39,36	35,64	45,48	36,48	33,36
<b>Conc. Média</b>		<b>245,57</b>	<b>67,29</b>	<b>40,43</b>	<b>34,75</b>	<b>33,79</b>	<b>33,95</b>	<b>34,46</b>	<b>31,64</b>	<b>30,78</b>	<b>31,79</b>	<b>29,24</b>	<b>26,78</b>
					<b>5,99</b>	<b>12,84</b>	<b>19,21</b>	<b>4,08</b>	<b>10,77</b>	<b>17,37</b>	<b>2,41</b>	<b>9,6</b>	<b>16,23</b>
					<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>								



**FIGURA 30** – Evolução da concentração de sólidos suspensos totais, ao longo do sistema em estudo.

#### 5.7.4.1 – Esgoto bruto

Na água em estudo, em sua fase inicial, a presença de Sólidos Suspensos Totais foi considerável, com concentração média de 246 mg SST / l, em sua composição. (vide ANEXO 1)

#### 5.7.4.2 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido

O reator em estudo, apresentou um bom desempenho na remoção de sólidos Suspensos Totais, com uma eficiência média de 73 %, melhorando sensivelmente a qualidade do seu efluente.

#### 5.7.4.3 – Efluente flotatest

Como esperado, a etapa de flotação demonstrou um bom desempenho na retenção de Sólidos Suspensos Totais, contribuindo para que a remoção total alcançasse os 84 % em média.

#### 5.7.4.4 – Efluente ozonizado

Como verificado anteriormente, a medida que se aumentou o tempo de contato e a dosagem aplicada, ocorreram quebra das partículas maiores em menores, possibilitando sua passagem pelo papel de filtro, na forma de colóides, durante as análises, implicando a um decréscimo nos sólidos suspensos totais, principalmente para o tempo de contato de 15 minutos e dosagem de 21 mg O<sub>3</sub> / l, correspondendo a uma “remoção” global média do sistema de 89 %.

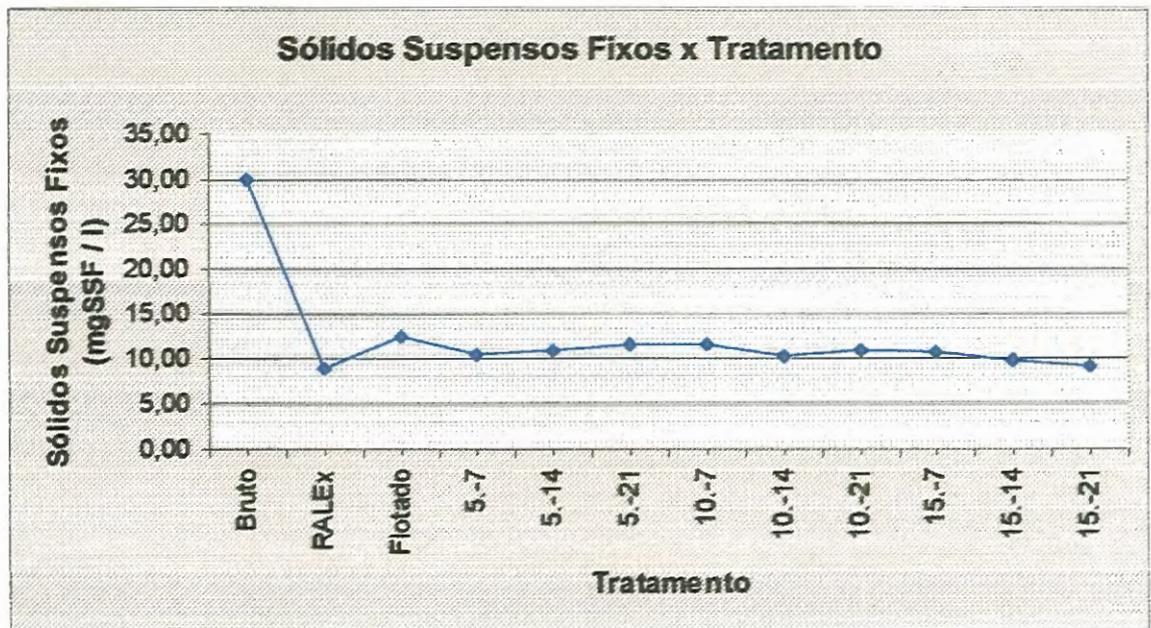
Ressalta-se a influência do tempo de contato, como de fundamental importância na quebra das partículas, pois para mesmas dosagens aplicadas e dosagens consumidas menores para os maiores tempo de contato, estes apresentaram melhores resultados.

#### 5.7.5 – Sólidos Suspensos Fixos

Na TABELA 15, pode-se verificar os resultados e as médias das concentrações dos sólidos suspensos fixos, e na FIGURA 31, acompanhar sua evolução ao longo do sistema.

**TABELA 15** – Concentrações de sólidos suspensos fixos, obtidos durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.

Sólidos Suspensos Fixos (mg SSF / l)													
item	Data	Bruto	RALEX	Flotado	Tempo de cotato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	35,00	6,60	6,00	0,60	4,08	5,16	3,84	3,00	3,84	1,44	4,44	0,84
2	27/Jul	33,61	7,80	11,28	6,12	7,44	7,08	7,80	6,96	7,08	9,96	6,00	5,88
3	03/Ago	22,00	2,43	7,80	6,48	8,16	9,36	9,24	5,88	8,64	9,48	8,88	4,68
4	17/Ago	30,33	6,20	10,11	5,52	7,44	6,48	7,44	5,64	5,16	6,24	2,64	3,12
5	24/Ago	29,67	3,80	9,72	5,76	7,44	8,52	6,60	6,72	8,40	6,60	8,40	9,00
6	31/Ago	45,00	22,67	20,88	17,04	17,64	18,36	17,52	15,24	16,80	16,56	14,64	15,12
7	14/Set	14,00	16,14	18,34	17,76	18,60	17,16	18,48	16,44	18,48	16,32	18,48	19,20
8	21/Set	36,67	17,50	15,72	12,84	15,00	15,84	13,92	14,64	14,40	15,84	14,04	12,96
9	28/Set	25,50	5,00	9,36	9,84	8,16	9,60	10,32	9,96	8,76	9,96	5,88	7,68
10	05/Out	26,67	0,00	10,32	10,32	7,80	7,20	11,52	9,72	9,12	9,96	7,32	6,24
11	12/Out	23,33	3,60	15,72	17,16	12,24	14,28	14,40	11,76	11,88		14,28	12,72
12	19/Out	29,00	11,70	12,48	10,08	8,88	12,72	10,56	11,76	12,24	7,20	9,36	7,68
13	26/Out	38,00	10,90	13,37	15,72	18,00	18,96	16,80	15,36	16,68	17,88	12,84	14,16
<b>Conc. Média</b>		<b>29,91</b>	<b>8,80</b>	<b>12,39</b>	<b>10,40</b>	<b>10,84</b>	<b>11,59</b>	<b>11,42</b>	<b>10,24</b>	<b>10,88</b>	<b>10,62</b>	<b>9,78</b>	<b>9,18</b>
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>													



**FIGURA 31** – Evolução da concentração de sólidos suspensos fixos, ao longo do sistema em estudo.

#### 5.7.5.1 – Esgoto bruto

Na água em estudo, em sua composição inicial, encontrou-se uma concentração média de 30 mg SSF / l, correspondendo a 12 % dos sólidos suspensos totais.

#### 5.7.5.2 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido

O reator em estudo, demonstrou um bom desempenho na remoção de sólidos suspensos fixos, atingindo uma média de 71 % de remoção.

#### 5.7.5.3 – Efluente flotatest

Apesar da flotação apresentar bons resultados na remoção de sólidos suspensos, verificou-se uma queda na eficiência para os SSF, atribuída a geração de lodo pelo coagulante, cloreto férrico, levando a eficiência total para 59 %.

#### 5.7.5.4 – Efluente ozonizado

Observou-se que a ação do ozônio foi pouco significativa nos SSF, porém os melhores resultados foram obtidos para os maiores tempos de contato, mesmo apresentando menor dosagem consumida para mesma dosagem aplicada.

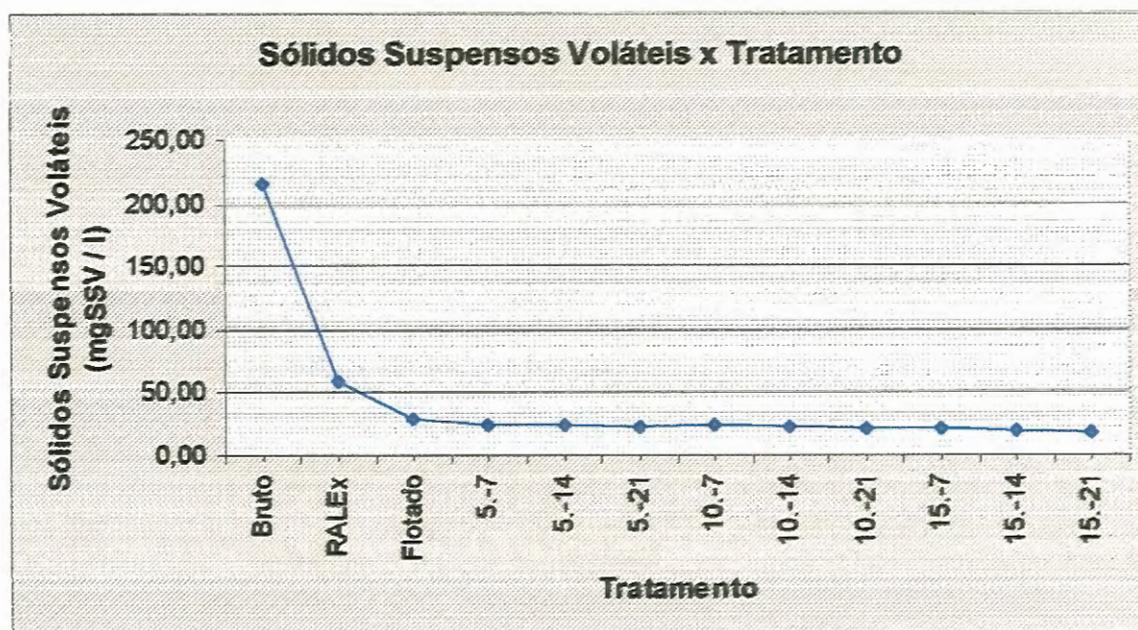
Para o tempo de 15 minutos e dosagem aplicada de 21 mg O<sub>3</sub> / l, com dosagem consumida de 16,23 mg O<sub>3</sub> / l, obteve-se, em média, uma eficiência total de 69 % de “remoção” de SSF. Em verdade, ocorreram quebra das partículas, em menores, a forma de colóides, passando pelo papel de filtro.

#### 5.7.6 – Sólidos Suspensos Voláteis

Na TABELA 16, pode-se verificar os resultados e as médias das concentrações dos sólidos suspensos voláteis, e na FIGURA 32, acompanhar sua evolução ao longo do sistema.

**TABELA 16 –** Concentrações de sólidos suspensos voláteis, obtidas durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.

Sólidos Suspensos Voláteis (mg SSV / l)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de cotato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	259,17	52,20	18,84	15,60	14,28	14,64	13,68	12,60	10,56	12,96	8,88	8,64
2	27/Jul	240,83	121,80	29,88	27,72	28,08	26,04	27,96	27,00	23,76	24,48	26,04	25,08
3	03/Ago	179,00	43,40	29,40	24,24	25,56	25,44	24,60	21,48	20,76	19,92	20,40	18,96
4	17/Ago	189,33	75,80	28,63	22,32	20,16	19,44	18,00	16,80	13,80	14,88	14,64	15,12
5	24/Ago	204,67	62,40	30,24	24,84	24,24	24,60	22,92	21,72	19,44	20,76	17,52	19,08
6	31/Ago	181,33	83,47	36,36	33,60	34,08	30,24	31,44	29,40	27,96	30,48	28,80	24,24
7	14/Set	218,00	83,86	39,43	32,16	32,28	30,84	33,84	31,92	29,28	31,92	26,88	26,40
8	21/Set	314,67	98,67	33,00	24,12	27,84	27,96	28,44	26,76	23,04	27,36	23,40	20,52
9	28/Set	199,00	38,20	16,92	16,80	14,76	15,36	16,32	14,64	14,40	14,88	11,52	11,88
10	05/Out	172,67	21,50	12,48	11,40	11,28	11,04	9,36	10,20	11,76	8,16	9,36	11,76
11	12/Out	230,00	34,60	24,72	23,88	23,28	19,08	20,64	19,92	21,48		19,56	17,64
12	19/Out	211,67	37,40	30,48	30,96	18,60	22,32	22,56	21,84	23,52	20,64	22,32	10,32
13	26/Out	203,33	7,10	34,11	28,92	24,00	23,64	29,76	24,00	18,96	27,60	23,64	19,20
<b>Conc. Média</b>		<b>215,67</b>	<b>58,49</b>	<b>28,04</b>	<b>24,35</b>	<b>22,96</b>	<b>22,36</b>	<b>23,04</b>	<b>21,41</b>	<b>19,90</b>	<b>21,17</b>	<b>19,46</b>	<b>17,60</b>
					5,99	12,64	19,21	4,06	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>								



**FIGURA 32** – Evolução da concentração de sólidos suspensos voláteis, ao longo do sistema em estudo.

#### 5.7.6.1 – Esgoto bruto

A água em estudo, apresentou uma concentração média de 216 mg SSV / l, na sua composição inicial, propiciando uma relação SSF/SSV de 0,14, caracterizando uma água com particulado predominantemente volátil.

#### 5.7.6.2 – Reator Anaeróbio de leito expandido

O reator em estudo, como esperado, atingiu uma eficiência média de 72,88% na remoção de SSV.

#### 5.7.6.3 – Efluente flotatest

Verificou-se uma boa eficiência na remoção de SSV, durante a etapa de flotação, levando a eficiência global para 87 %, em média.

#### 5.7.6.4 – Efluente ozonização

Como verificado anteriormente, a ação do ozônio nos sólidos suspensos, provocaram quebra das partículas presentes na água em estudo, promovendo o aumento de partículas coloidais, que não são retidas durante a filtração da amostra, logo ocorreu uma melhora do efluente dessa etapa, principalmente para os maiores tempos de contato, reforçando sua importância no processo.

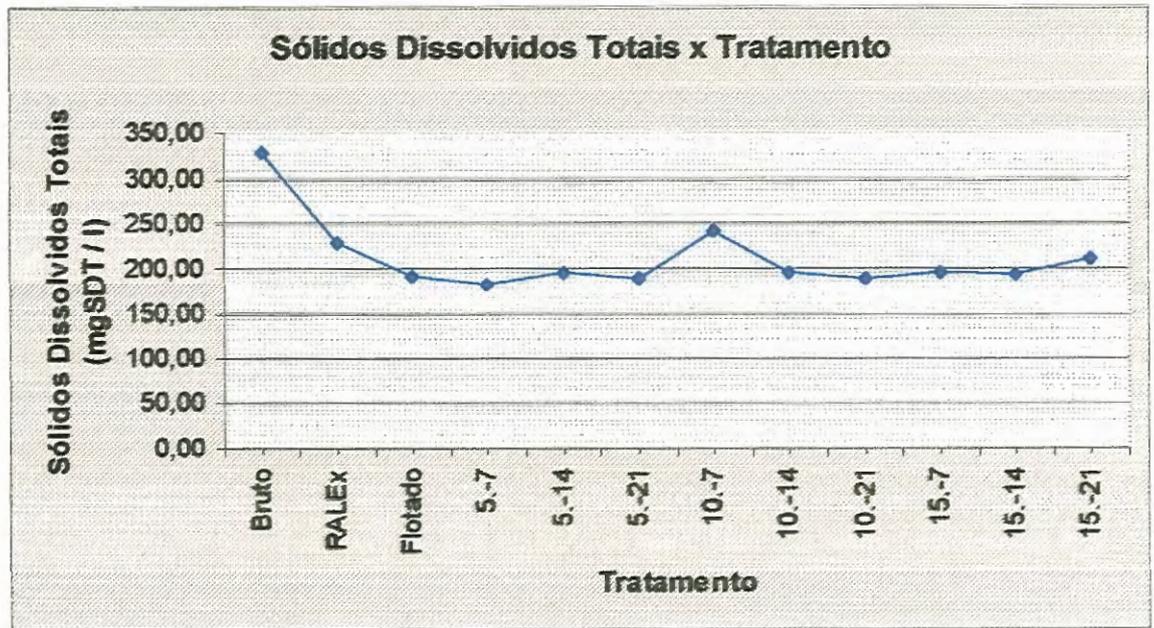
Os melhores resultados foram obtidos para o tempo de contato de 15 minutos, dosagem aplicada de 21 mg O<sub>3</sub> / l e dosagem consumida de 16 mg O<sub>3</sub> / l, com uma eficiência total de 92 % na remoção de SSV.

#### 5.7.7 – Sólidos Dissolvidos Totais

Na TABELA 17, pode-se verificar os resultados e médias das concentrações dos sólidos dissolvidos totais. E na FIGURA 33, acompanhar sua evolução ao longo do sistema.

**TABELA 17** – Concentrações de sólidos dissolvidos totais, obtidas durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.

item	Data	Sólidos Dissolvidos Totais (mg SDT / l)			Tempo de contato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
		Bruto	RALEx	Flotado	5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	326,23	212,80	190,44	164,76	195,00	176,04	171,60	188,64	175,80	189,12	172,92	161,88
2	27/Jul	375,36	129,30	187,44	210,48	182,76	200,04	181,44	169,68	204,12	200,52	206,28	192,48
3	03/Ago	330,10	193,87	164,04	190,68	155,40	159,36	155,52	205,20	143,04	186,24	175,80	232,68
4	17/Ago	342,13	201,00	156,26	153,84	168,48	172,32	256,44	186,96	175,08	174,36	211,32	244,92
5	24/Ago	353,07	200,30	154,20	153,12	150,96	161,28	223,32	159,36	156,00	149,52	180,24	200,04
6	31/Ago	306,77	212,97	188,64	185,36	169,08	189,00	263,04	190,56	194,64	191,52	177,12	246,24
7	14/Set	340,20	193,60	176,59	154,80	190,80	196,68	276,72	196,32	167,64	193,08	186,72	203,28
8	21/Set	290,47	230,93	191,52	183,24	186,00	198,12	218,88	206,16	199,32	187,44	196,32	180,12
9	28/Set	364,70	245,10	188,16	189,12	238,80	207,36	265,92	201,60	208,92	198,12	183,12	277,44
10	05/Out	319,87	248,30	178,32	179,04	226,56	181,92	244,80	190,08	180,48	180,84	196,92	208,68
11	12/Out	274,17	339,00	195,12	177,48	215,52	199,08	316,56	207,12	193,44		190,20	186,96
12	19/Out	326,33	252,10	202,68	197,75	228,60	206,88	244,80	207,00	198,00	247,32	207,84	194,52
13	26/Out	306,57	320,60	292,59	213,36	229,20	207,00	315,36	223,92	244,44	230,04	234,96	218,64
<b>Conc. Média</b>		<b>327,38</b>	<b>229,22</b>	<b>189,69</b>	<b>181,00</b>	<b>195,17</b>	<b>188,85</b>	<b>241,11</b>	<b>194,82</b>	<b>187,76</b>	<b>194,01</b>	<b>193,83</b>	<b>211,38</b>
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	24,1	9,6	16,23
					<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>								



**FIGURA 33** – Evolução da concentração de sólidos dissolvidos totais, ao longo do sistema em estudo.

#### 5.7.7.1 – Esgoto bruto

A água em estudo apresentou uma concentração média de 327 mg SDT / l, onde se verificou uma forte presença dos sólidos dissolvidos, quando verificado a relação ST/SDT de 0,57.

#### 5.7.7.2 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido

O reator supra mencionado, apresentou uma eficiência média de 30 % na remoção de sólidos dissolvidos totais.

#### 5.7.7.3 – Efluente flotatest

Com a flotação, houve um acréscimo na remoção de sólidos dissolvidos totais, perfazendo uma eficiência média total de 42 %. O processo de flotação por ar dissolvido, tem uma maior atuação sobre os sólidos na forma particulada, portanto esse acréscimo na remoção de SDT, pode ser atribuída a remoção de partículas coloidais.

#### 5.7.7.4 – Efluente ozonizado

Visto os resultados anteriores, e de acordo com a TABELA 17 e a FIGURA 33, pode-se verificar uma tendência no aumento dos sólidos dissolvidos totais durante a ozonização, promovido pela quebra das partículas maiores em menores, na forma de colóides.

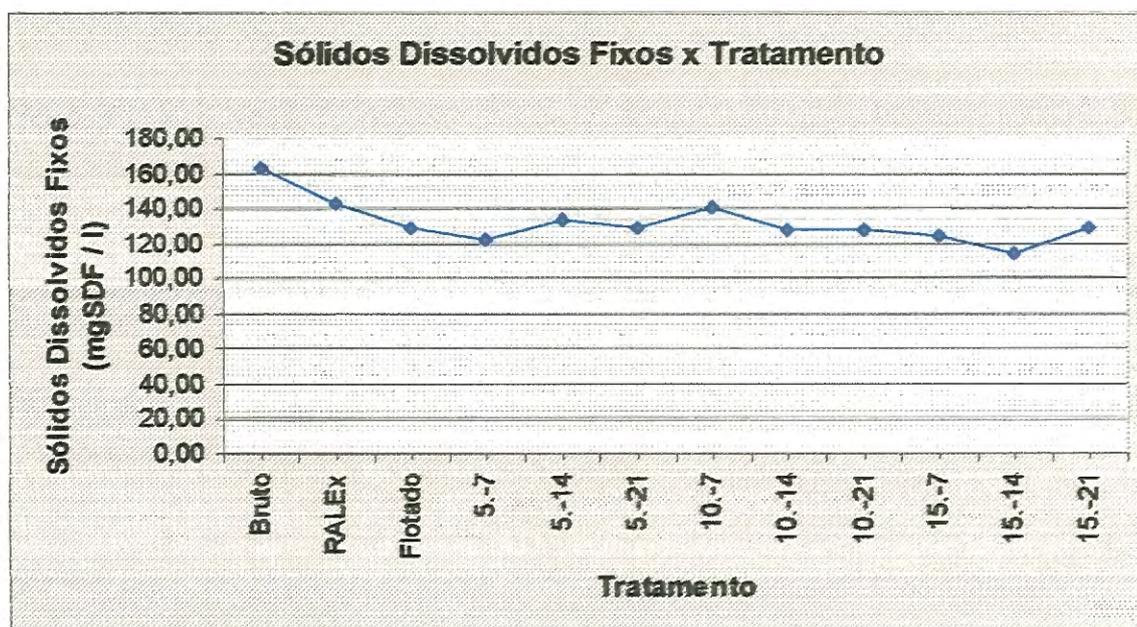
O aumento obtido no SDT para o tempo de contato de 10 minutos e dosagem aplicada de 7 mg O<sub>3</sub> / l, são atribuídos a erros sistemáticos ocorridos durante sua determinação, já que essa tendência não se confirmou nas outras determinações.

#### 5.7.8 – Sólidos Dissolvidos Fixos

Na TABELA 18, pode-se verificar os resultados e médias das concentrações dos sólidos dissolvidos totais. E na FIGURA 34, acompanhar sua evolução ao longo do sistema.

**TABELA 18** – Concentrações de sólidos dissolvidos fixos, obtidas durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.

Sólidos Dissolvidos Fixos (mg SDF / l)													
item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de cotato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	176,60	107,20	70,92	62,28	67,36	91,80	91,68	111,48	109,92	101,52	1,92	100,20
2	27/Jul	77,09	113,30	116,64	33,96	128,52	145,44	129,60	86,52	64,56	128,28	71,76	19,32
3	03/Ago	109,70	101,07	108,84	88,68	85,08	88,80	97,68	86,64	141,60	6,60	69,00	81,60
4	17/Ago	179,67	142,60	120,33	124,56	124,08	138,72	148,56	127,08	115,20	119,88	139,20	166,20
5	24/Ago	164,43	129,20	124,44	112,80	122,76	126,60	127,32	111,84	117,48	116,04	100,68	142,32
6	31/Ago	162,20	147,23	129,24	146,48	133,08	136,68	142,80	140,40	138,36	141,36	134,88	150,72
7	14/Set	187,20	150,36	144,14	153,84	145,20	149,88	81,12	121,20	112,68	160,20	133,44	106,20
8	21/Set	200,73	115,50	144,96	138,24	130,20	144,24	132,00	138,12	132,36	127,44	124,56	105,12
9	28/Set	204,30	175,80	168,00	143,40	178,68	166,20	204,00	172,08	169,80	152,04	144,36	205,56
10	05/Out	164,13	144,60	135,96	148,32	154,32	117,36	163,32	126,24	124,92	129,72	137,76	139,08
11	12/Out	166,57	207,60	135,00	130,56	135,12	124,88	182,88	135,12	139,80		124,92	156,12
12	19/Out	175,90	145,90	142,56	144,95	156,24	103,68	148,80	139,56	131,16	154,44	150,60	147,00
13	26/Out	152,40	169,40	135,43	160,44	149,88	136,80	176,16	164,76	158,04	156,36	153,00	149,40
<b>Conc. Média</b>		<b>163,15</b>	<b>142,29</b>	<b>128,96</b>	<b>122,19</b>	<b>133,12</b>	<b>128,53</b>	<b>140,46</b>	<b>127,77</b>	<b>127,38</b>	<b>124,49</b>	<b>114,31</b>	<b>128,37</b>
					5,99	12,64	19,21	4,06	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>													



**FIGURA 34** – Evolução da concentração de sólidos dissolvidos fixos, ao longo do sistema em estudo.

#### 5.7.8.1 – Esgoto bruto

A água em estudo apresentou uma concentração média de 163 mg SDF / l, na sua composição inicial.

#### 5.7.8.2 – Reator Anaeróbio de Leito Expandido

O reator em estudo, apresentou uma baixa eficiência na remoção de sólidos dissolvidos fixos, perfazendo um total de 13 %.

#### 5.7.8.3 – Efluente flotatest

Na etapa de flotação, houve um incremento, na eficiência, de 8 %, atingindo, em média, 21 % de remoção de sólidos dissolvidos fixos.

#### **5.7.8.4 – Efluente ozonizado**

A ação do ozônio nos sólidos dissolvidos fixos, foi pouco significativa, não alterando a eficiência do sistema, com algumas variações, atribuídas a sensibilidade do método e a heterogeneidade da água em estudo.

#### **5.7.9 – Sólidos Dissolvidos Voláteis**

Na TABELA 19, pode-se obter os resultados e médias das concentrações dos sólidos dissolvidos voláteis. E na FIGURA 35, acompanhar sua evolução ao longo do sistema.

##### **5.7.9.1 – Esgoto bruto**

A água em estudo, em seu estado inicial, apresentou uma concentração média de 164 mg SDV / l, com uma relação SDF/SDV de aproximadamente 1.

##### **5.7.9.2 – Reator Anaeróbio de Leito expandido**

O reator supra citado, apresentou uma remoção de sólidos dissolvidos voláteis, em média de 47 %, implicando em uma relação SDF/SDV de 1,64, para o efluente dessa etapa.

##### **5.7.9.3 – Efluente flotatest**

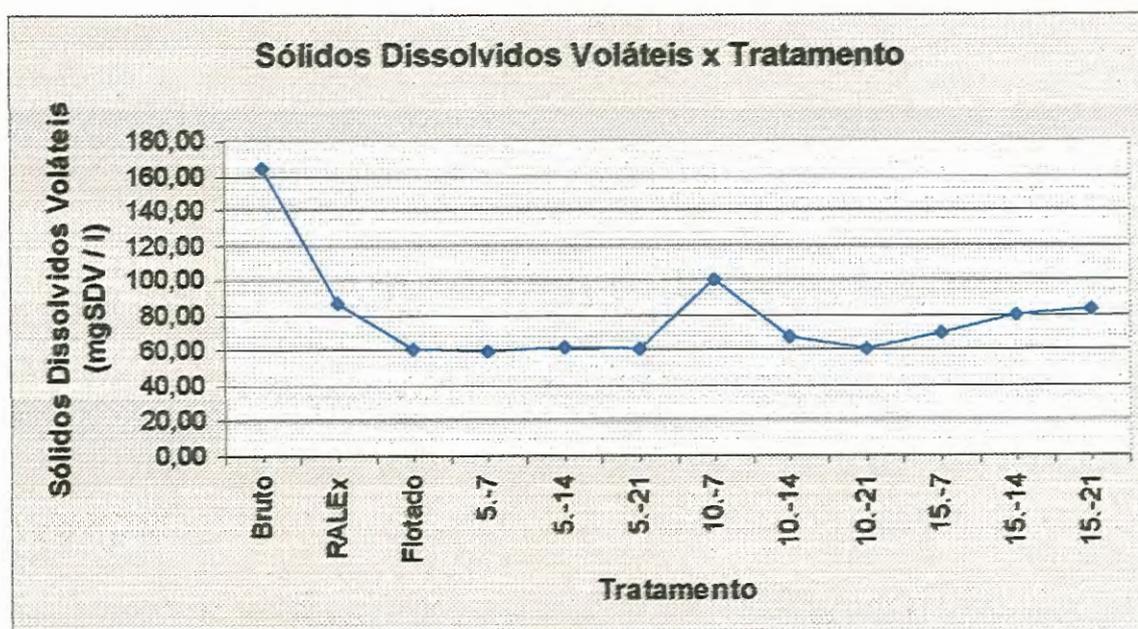
Com a flotação, a eficiência do sistema passou para 63 %, sendo atribuída a remoção de partículas coloidais.

##### **5.7.9.4 – Efluente ozonizado**

Com a ozonização, houve um acréscimo na concentração dos sólidos dissolvidos voláteis, prejudicando a eficiência total do sistema, porém melhorando, de forma teórica, a biodegradabilidade do efluente, através da quebra do material particulado, como observado, principalmente para as condições operacionais de maiores tempos de contato.

**TABELA 19** – Concentrações de sólidos dissolvidos voláteis, obtidas durante a fase experimental, ao longo do sistema em estudo.

item	Data	Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg SDV / l)											
		Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	149,63	105,60	119,52	102,48	107,64	84,24	79,92	77,16	65,88	87,60	171,00	61,68
2	27/Jul	298,27	16,00	70,80	176,52	54,24	54,80	51,84	83,16	139,56	72,24	134,52	173,16
3	03/Ago	220,40	92,80	55,20	102,00	70,32	70,56	57,84	118,56	1,44	179,64	106,80	151,08
4	17/Ago	162,47	58,40	35,93	29,28	44,40	33,60	107,88	59,88	59,88	54,48	72,12	78,72
5	24/Ago	188,63	71,10	29,76	40,32	28,20	34,68	96,00	47,52	38,52	33,48	79,56	57,72
6	31/Ago	144,57	65,73	59,40	38,88	36,00	52,32	120,24	50,16	56,28	50,16	42,24	95,52
7	14/Set	153,00	43,24	32,45	0,96	45,60	46,80	195,60	75,12	54,96	32,88	53,28	97,08
8	21/Set	89,73	115,43	46,56	45,00	55,80	53,88	86,88	68,04	66,96	60,00	71,76	75,00
9	28/Set	160,40	69,30	20,16	45,72	60,12	41,16	61,92	29,52	39,12	46,08	38,76	71,88
10	05/Out	155,73	103,70	42,36	30,72	72,24	64,56	81,48	63,84	55,56	51,12	59,16	69,60
11	12/Out	107,60	131,40	60,12	46,92	80,40	74,40	133,68	72,00	53,64		65,28	30,84
12	19/Out	150,43	106,20	60,12	52,80	72,36	103,20	96,00	67,44	66,84	92,88	57,24	47,52
13	26/Out	154,17	151,20	157,17	52,92	79,32	70,20	139,20	59,16	86,40	73,68	81,96	69,24
<b>Conc. Média</b>		<b>164,23</b>	<b>86,93</b>	<b>60,73</b>	<b>58,81</b>	<b>62,05</b>	<b>60,32</b>	<b>100,65</b>	<b>67,04</b>	<b>60,39</b>	<b>69,52</b>	<b>79,51</b>	<b>83,00</b>
					<b>5,99</b>	<b>12,64</b>	<b>19,21</b>	<b>4,08</b>	<b>10,77</b>	<b>17,37</b>	<b>2,41</b>	<b>9,6</b>	<b>16,23</b>
<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>													



**FIGURA 35** – Evolução da concentração de sólidos dissolvidos voláteis, ao longo do sistema em estudo.

### **5.7.10 – Análise geral, série de sólidos**

Após a ozonização, constatou-se uma quebra das partículas maiores, indicadas pelos sólidos suspensos, em menores, representadas pelos sólidos dissolvidos, pois os sólidos totais permaneceram constantes, com variações pouco significativas. Houve um decréscimo dos sólidos suspensos e conseqüentemente, um acréscimo nos sólidos dissolvidos, onde partículas maiores passaram a forma de colóides, não sendo mais retidas durante a filtração das amostras. Essa tendência foi constatada, de forma mais expressiva, na parte volátil dos sólidos.

A ação do ozônio com os sólidos é função principal do tempo de contato, como verificado nos itens anteriores, entendendo-se da necessidade de um tempo mínimo de reação do gás ozônio com as partículas presentes na água em estudo, para otimização da reação ozônio / partículas, pois os tempos de contato maiores, conferiram melhores resultados que os menores, para mesma dosagem aplicada, todavia com dosagem consumida menor.

Não foram constatados importantes variações com relação aos sólidos fixos, em geral, nas diversas etapas do sistema utilizado, sendo importante ressaltar a potencial incorporação dos mesmos, por parte da biomassa presente no Reator Anaeróbio de Leito Expandido, além desses sólidos apresentarem-se, predominantemente, na forma dissolvida.

A etapa de flotação, não apresentou melhores resultados, devido a presença significativa dos sólidos dissolvidos, além da não otimização do pH no processo.

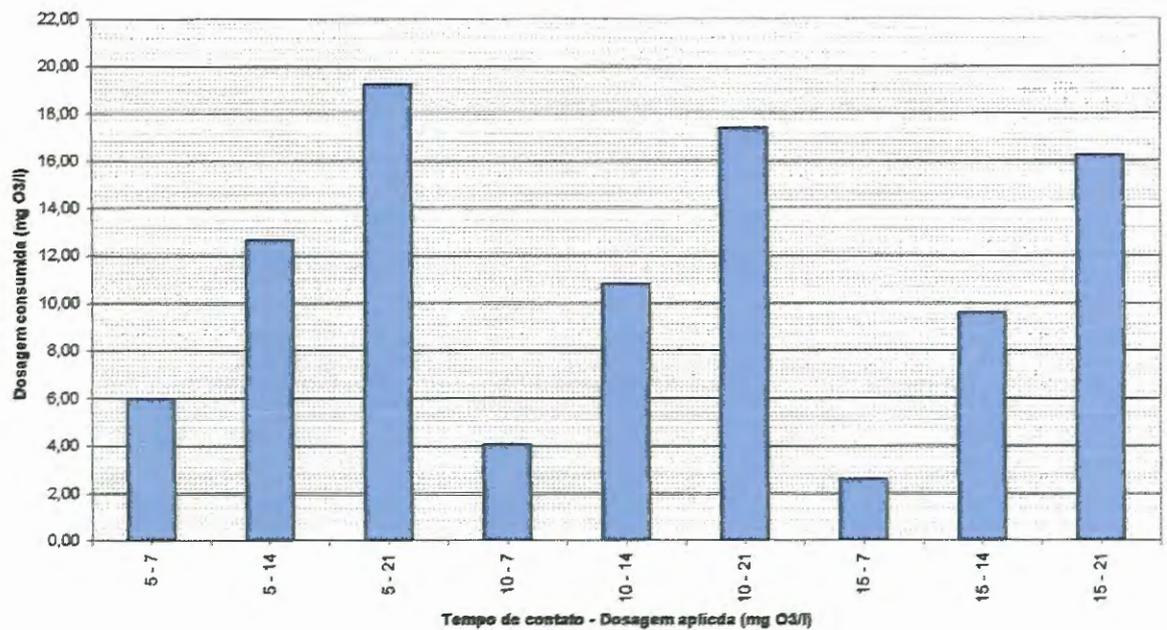
### **5.8 – Transferência de Massa**

Na TABELA 20, encontram-se as dosagens consumidas para as respectivas dosagens aplicadas e tempos de contato impostos durante a ozonização. Na FIGURA 36, verifica-se o desempenho da transferência de massa, através da dosagem aplicada versus dosagem consumida.

**TABELA 20** – Resultados obtidos durante a fase experimental, referentes a concentração de ozônio consumida pela amostra, a partir da dosagem aplicada e do tempo de contato imposto ao sistema.

Data	Dosagem Aplicada								
	7 mg O <sub>3</sub> /l	14 mg O <sub>3</sub> /l	21 mg O <sub>3</sub> /l	7 mg O <sub>3</sub> /l	14 mg O <sub>3</sub> /l	21 mg O <sub>3</sub> /l	7 mg O <sub>3</sub> /l	14 mg O <sub>3</sub> /l	21 mg O <sub>3</sub> /l
	Tempo de contato = 5 min			Tempo de contato = 10 min			Tempo de contato = 15 min		
06/Jul	5,83	12,80	18,39	3,85	10,55	17,55	2,20	9,20	14,85
13/Jul	5,95	11,30	18,90	4,00	9,80	16,65	1,60	9,05	16,05
20/Jul	5,65	12,65	18,45	3,70	9,65	16,95	2,50	9,35	16,65
27/Jul	6,25	12,80	18,45	2,35	10,55	17,55	2,50	10,10	16,80
03/Ago	5,65	12,13	19,27	2,68	10,98	17,26	1,96	9,97	16,39
17/Ago	5,70	12,70	18,70	3,69	9,68	17,26	1,10	9,68	15,24
24/Ago	6,14	12,85	19,56	4,12	11,41	17,69	2,54	9,82	16,10
31/Ago	6,21	12,75	19,44	4,34	11,18	18,18	3,73	10,73	17,25
14/Set	6,07	12,91	19,75	4,51	12,28	18,49	3,57	9,95	16,78
21/Set	6,07	13,07	19,91	4,67	11,51	18,98	3,58	10,27	16,80
28/Set	5,91	12,76	19,76	4,82	11,36	17,89	3,89	10,27	16,34
05/Out	6,48	13,45	20,40	6,28	10,55	17,39	1,15	8,45	15,43
12/Out	5,95	12,80	19,35	4,15	11,60	17,70		9,35	16,35
19/Out	5,80	12,35	19,05	4,30	10,55	15,00	2,95	8,75	16,50
26/Out	5,95	12,35	18,75	3,70	9,95	16,05	2,95	9,05	15,90
	5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,59	9,60	16,23
	Média Dosagem Consumida (mg O <sub>3</sub> /l)								
	85,53	90,31	91,47	58,25	78,95	82,73	36,95	68,57	77,28
	Transferência de massa (%)								

Dosagem aplicada x Dosagem consumida



**FIGURA 36** – Representação gráfico da dosagem aplicada, versus dosagem consumida.

Como pode ser observado na TABELA 20 e na FIGURA 36, quanto menor o tempo de contato, maior a transferência do ozônio da fase gasosa para a fase líquida, onde os melhores resultados foram obtidos para os tempo de contato de 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos respectivamente.

Para um mesmo tempo de contato, os melhores resultados foram obtidos para as maiores dosagens aplicadas, vide TABELA 20.

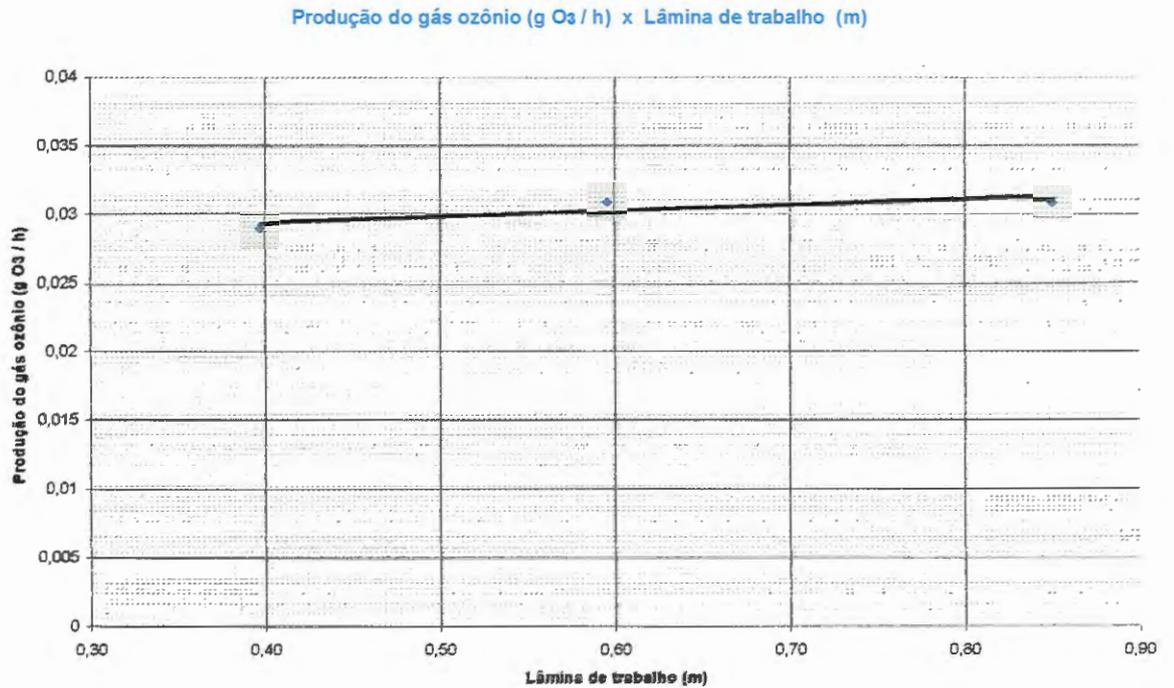
### 5.9 – Calibração do ozonizador

Encontra-se na TABELA 21 os resultados obtidos durante a calibração do ozonizador, descrito no capítulo 4, materiais e métodos, no tópico 4.3.3.

No FIGURA 37, encontra-se a curva de calibração do ozonizador, expressa em função do volume da amostra versus produção ozônio.

**TABELA 21** – Produções do gás ozônio, do gerador de ozônio Qualid'or, para uma vazão de 65 l/h, e diferentes lâminas de trabalho.

Volume amostra (ml)	Altura na coluna (m)	Produção ozonizador (g O <sub>3</sub> / l)	Vazão do gás ozônio (l/h)
500	0,40	0,029	65
750	0,60	0,031	65
1070	0,85	0,031	65



**FIGURA 37** – Curva de calibração da produção do gás ozônio versus lâmina de trabalho, para o ozonizador Qualid'or.

Como pode ser verificado na FIGURA 37, a produção do ozonizador Qualid'or, para as lâmina de trabalho impostas ao sistema, é praticamente constante e igual a 0,03 g O<sub>3</sub> / h, a qual foi considerada no desenvolvimento do trabalho.

### 5.10 – Temperatura:

Na TABELA 22, encontram-se as temperaturas do efluente ao longo do tratamento, durante a fase experimental.

Não se constatou variações significativas, da temperatura do efluente, ao longo dos dias, apresentando uma temperatura média de 25 °C com variações de ± 3 °C.

**TABELA 22** – Temperatura do efluente, ao longo do tratamento, durante a fase experimental.

Temperatura (C)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato do ozônio (min) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / L)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1	20/Jul	28,00	24,00	27,00	29,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
2	27/Jul	23,50	23,50	27,00	27,00	26,00	26,00	27,00	27,00	27,00	28,00	27,50	27,50
3	03/Ago	27,00	27,00	25,00	24,50	25,00	25,00	26,00	25,00	25,50	26,00	25,00	25,00
4	17/Ago	25,00	20,00	21,00	21,00	20,50	20,50	21,00	21,00	21,00	21,00	20,50	21,00
5	24/Ago	28,00	24,00	23,00	24,00	24,00	24,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
6	31/Ago	28,00	22,00	23,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
7	14/Set	25,00	23,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	27,00	28,00	27,00	27,00
8	21/Set	26,00	24,00	28,00	27,00	27,00	26,50	27,00	27,00	27,00	28,00	27,50	27,00
9	28/Set	24,00	24,00	26,00	27,00	26,50	27,00	27,00	27,00	26,50	26,00	27,00	27,00
10	05/Out	22,00	21,00	25,00	24,00	24,00	24,00	24,50	24,00	24,00	24,00	24,00	23,50
11	12/Out	24,00	23,00	27,00	26,50	26,00	26,00	26,50	25,50	26,00		26,50	26,00
12	19/Out	24,00	24,00	26,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,50	27,00	27,00
13	29/Out	25,00	24,00	26,00	26,50	26,50	27,00	26,50	26,50	27,00	27,00	27,00	27,00
<b>Ef. Média</b>		<b>25,35</b>	<b>23,35</b>	<b>25,54</b>	<b>25,81</b>	<b>25,58</b>	<b>25,62</b>	<b>25,81</b>	<b>25,62</b>	<b>25,62</b>	<b>26,04</b>	<b>25,69</b>	<b>25,62</b>
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,87	2,41	8,6	16,22
					<b>Dosagem consumida (mg O<sub>3</sub> / L)</b>								

## 6. CONCLUSÕES

- O sistema proposto para o tratamento de esgoto sanitário, composto de gradeamento e caixa de areia, como tratamento primário; reator anaeróbio de leito expandido, como tratamento secundário, e flotação seguido de ozonização, como tratamento de polimento, constitui uma boa concepção, para a remoção de matéria orgânica específica (proteínas, carboidratos e lipídios), além do efluente ozonizado, aumentar, potencialmente, a sua biodregadabilidade.
- Na remoção de DQO<sub>total</sub>, o sistema proposto atingiu eficiência próxima dos 90,5 %, porém não houveram diferenças significativas entre as condições impostas durante a etapa de ozonização.
- Quanto à DQO<sub>filtrada</sub>, a flotação, utilizando flotatest, obteve-se acréscimo na eficiência global de 10 %, perfazendo remoção média, de 86 % de DQO<sub>filtrada</sub>. Com a ozonização, como polimento final do tratamento, ocorreu a quebra das partículas maiores, em menores, diminuindo a eficiência total do sistema, para essa determinação, porém, aumentou, potencialmente, a biodegradabilidade do seu efluente.
- Para remoção de proteínas, o reator anaeróbio de leito expandido, apresentou um bom desempenho, com eficiência média de 47 %. A flotação por ar dissolvido, não apresentou remoção significativa. Melhores resultados foram obtidos durante a ozonização, onde o efeito desse gás, foi mais eficiente para o tempo de contato de 15 minutos, com dosagem aplicada de 21 mg O<sub>3</sub> / l, dosagem

consumida de 16 mg O<sub>3</sub> / l, com eficiência média de remoção de 68 %, ressaltando-se a importância do tempo de contato, a complexidade e diversidade das proteínas, na composição da água em estudo.

- Com relação aos carboidratos, conclui-se que o reator anaeróbio de leite expendido, é um dos grandes responsáveis pela sua remoção, com eficiência próxima dos 78 %, em média, delegando a flotação e a ozonização, um tratamento de polimento. Apesar dos melhores resultados obtidos durante a ozonização, corresponderem ao tempo de contato de 15 minutos e dosagem de 14 mg O<sub>3</sub> / l e 21 mg O<sub>3</sub> / l, pode-se afirmar que as diferenças entre a eficiência obtida, nas diversas condições operacionais exercidas, foram pouco significativas. Portanto, para o tempo de contato de 5 minutos e respectiva dosagem, os resultados são mais satisfatórios, quando analisa-se a relação custo/benefício, conduzindo a eficiência próxima dos 89 %, com um terço do tempo de contato, minimizando custos energéticos, volume da câmara de contato, entre outros.
- Durante a remoção de lipídios, verificou-se uma tendência na sua separação do efluente, e não de uma estabilização do mesmo, porém, com a ozonização, ocorreram algumas transformações, induzidas pela reação do gás ozônio com os lipídios, conduzindo a uma potencial estabilização, e não a separação por processos físicos. Durante a ozonização os melhores resultados foram obtidos para os maiores tempos de contato, como constatado para o tempo de 15 minutos, mesmo apresentando uma dosagem consumida menor, para mesma dosagem aplicada, enfatizando a necessidade de um tempo maior de reação do gás ozônio, para obtenção de melhores resultados.
- Com a ozonização, o efluente apresentou uma tendência ao aumento do pH, para uma faixa mais básica, apresentando em média um pH de 7,86. Essa tendência, foi observada para as

diversas condições impostas ao sistema. Contudo, a alcalinidade, na mesma etapa, apresentou-se com pequenas oscilações, podendo ter inibido a ação indireta do ozônio, consumindo radicais hidroxilas, delegando a ação direta do ozônio, a oxidação dos compostos orgânicos presentes na água em estudo, reações essas mais lentas e mais seletivas.

- A ação do ozônio sobre os sólidos é função principal do tempo de contato, onde os melhores resultados foram obtidos para o tempo de 15 minutos.
- Com relação à transferência de massa, os melhores resultados foram obtidos para os menores tempos de contato, conduzindo a uma maior dosagem consumida pela amostra.
- Apesar da deficiência de transferência de massa aumentar para um tempo de contato maior, em geral, o aumento do tempo de contato, conduziu a melhores resultados, quanto a qualidade do efluente, implicando na necessidade de um tempo maior de reação do ozônio com os compostos presentes na água em estudo, para sua remoção.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Segue algumas recomendações para o desenvolvimento de pesquisas futuras, envolvendo o processo de flotação seguido de ozonização como pós tratamento de esgoto sanitário.

### 7.1 – Etapa de flotação

- Utilização de unidade contínua de flotação, possibilitando :
  - ◆ Um maior volume de efluente, para posterior utilização na etapa de ozonização;
  - ◆ Utilização de taxa de flotação otimizada;
  - ◆ Controle do pH, possibilitando a correção do mesmo, de forma a otimizar o processo;

### 7.2 – Etapa de ozonização

- Variação das concentrações do gás ozônio, possibilitando :
  - ◆ Estudo, e otimização da transferência de massa;
  - ◆ Utilização de um volume constante na câmara de contato, para um mesmo tempo e diferente dosagem aplicada;
- Estudo da biodegradabilidade do efluente ozonizado;
- Estudo da influência da alcalinidade durante a ozonização, em condições ácidas, neutras e básicas.

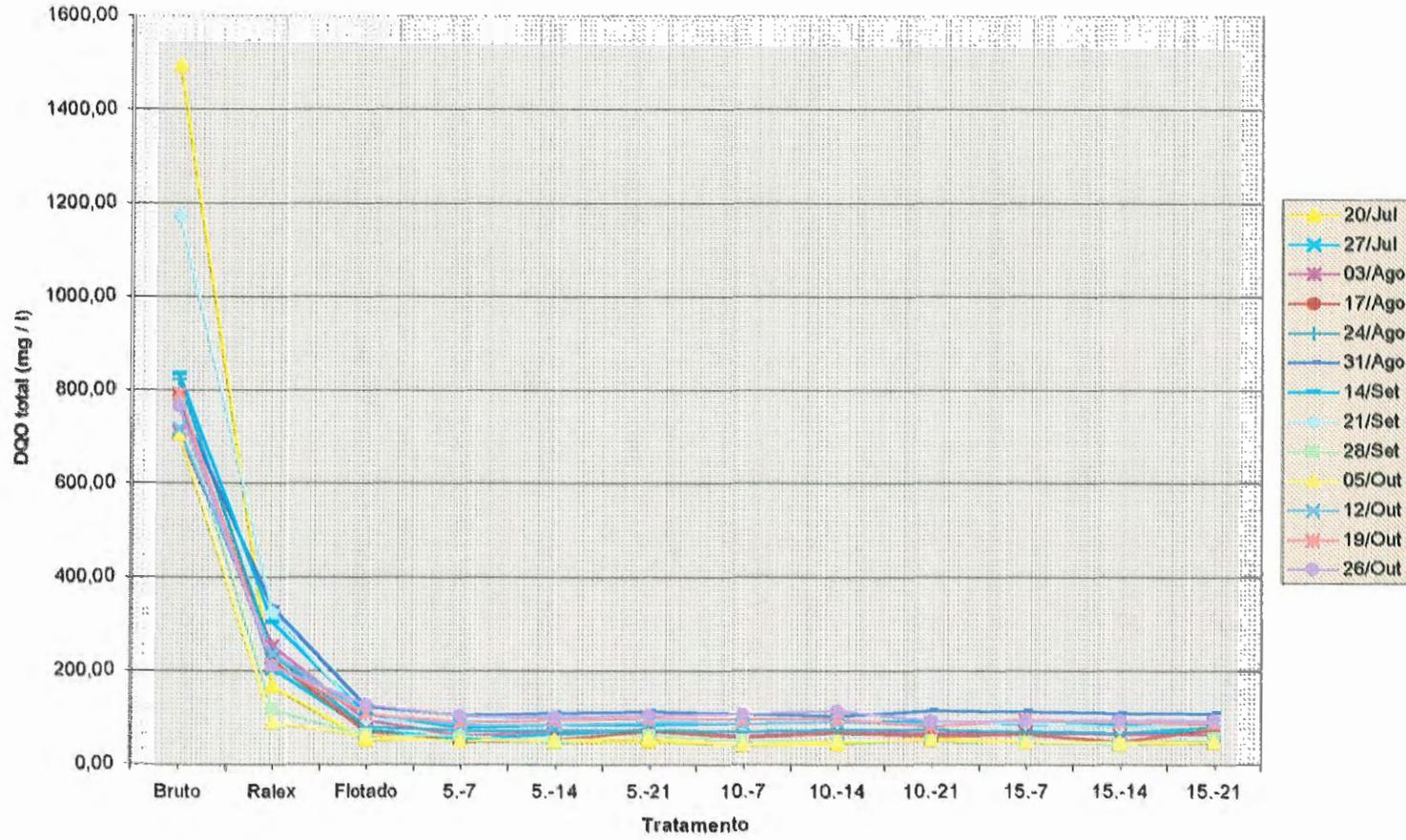
## **ANEXO 1**

**Concentrações obtidas, ao longo do procedimento experimental, para os parâmetros analisados, com suas respectivas evoluções gráficas.**

DQO total, concentrações (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RALEX	Fictado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>2</sub> / l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul	720,00	279,00	118,89	77,58	99,82	103,00	103,00	109,35	112,53	131,60	169,73	141,13
2*	13/Jul	789,00	309,00	66,45	68,04	82,34	95,05	66,45	75,99	80,75	69,63	71,22	66,45
3	20/Jul	1496,00	167,92	55,33	56,92	48,98	50,57	44,21	45,80	56,92	50,57	45,80	48,98
4	27/Jul	792,00	206,32	77,58	56,92	66,45	75,99	61,69	68,04	64,87	72,81	69,63	74,40
5	03/Ago	711,00	255,50	96,64	63,28	71,22	75,99	64,87	71,22	69,63	69,63	66,45	66,45
6	17/Ago	787,50	224,50	72,81	50,57	55,33	72,81	60,10	69,63	61,69	66,45	50,57	77,58
7	24/Ago	825,00	237,50	82,34	74,40	74,40	74,40	72,81	75,99	75,99	71,22	69,63	82,34
8	31/Ago	773,00	336,00	126,83	107,77	112,53	114,12	109,35	104,59	117,30	115,71	110,94	112,53
9	14/Set	835,00	304,50	109,35	80,75	85,52	85,52	90,29	91,88	95,05	88,70	88,70	96,64
10	21/Set	1174,00	326,00	98,23	96,64	106,18	98,23	90,29	91,88	90,29	90,29	82,34	91,88
11	28/Set	772,00	118,93	64,87	64,87	48,98	61,69	53,74	50,57	52,16	48,98	45,80	56,92
12	05/Out	706,00	91,13	63,28	52,16	55,33	58,51	45,80	52,16	53,74	48,98	50,57	50,57
13	12/Out	718,00	238,50	109,35	85,52	85,52	91,88	90,29	93,47	90,29		93,47	93,47
14	19/Out	795,00	213,50	109,35	93,47	96,64	101,41	99,82	99,82	83,93	99,82	91,88	90,29
15	26/Out	769,00	212,50	130,01	106,18	103,00	106,18	109,35	117,30	95,05	95,05	96,64	96,64
Concentrações Médias		857,96	225,60	92,00	76,11	77,70	82,10	76,35	79,41	77,45	76,52	74,03	79,90
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)													

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

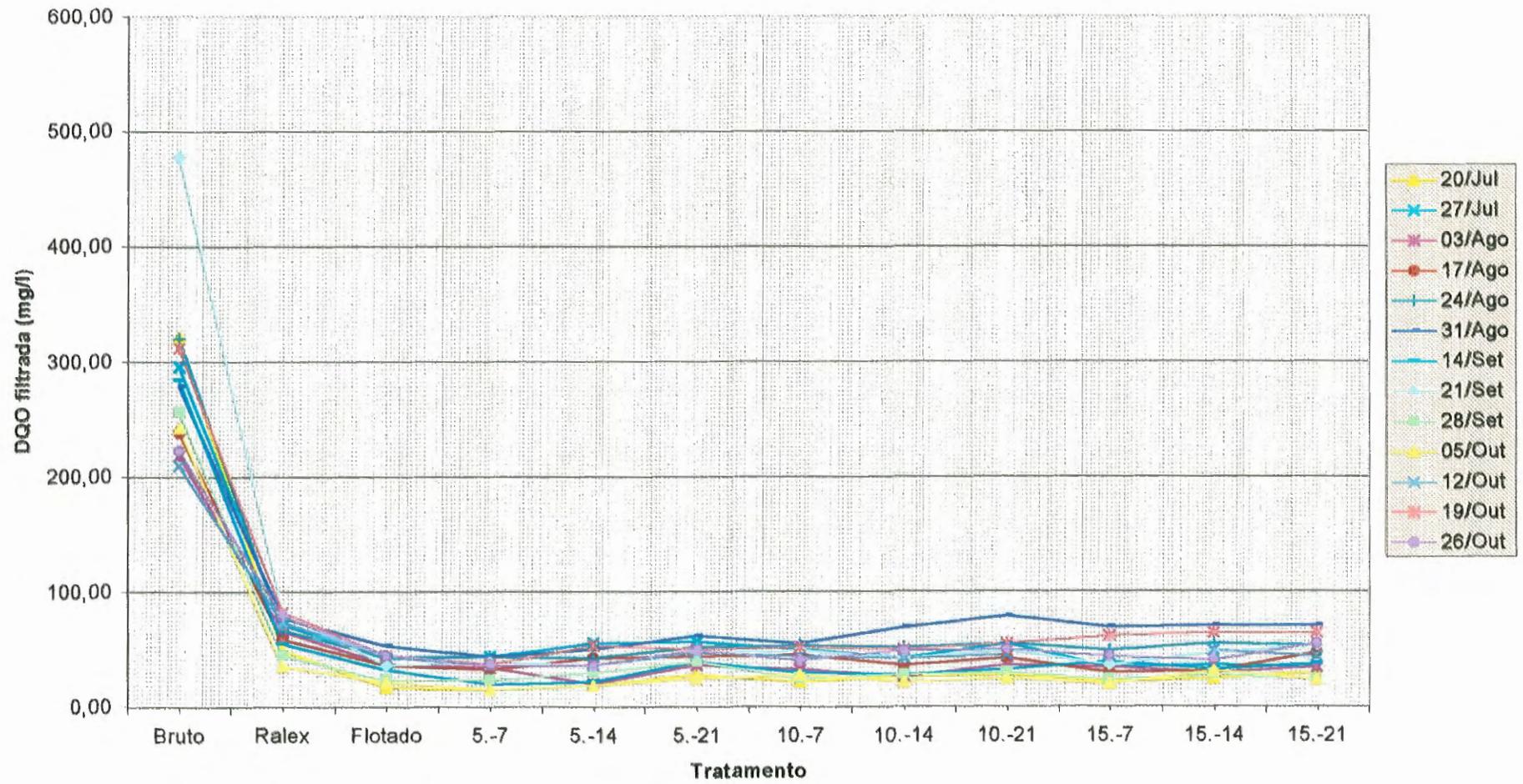
DQO total x Tratamento



DQO filtrada, concentrações (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RALEX	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> /l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul	209,00	93,78	36,27	7,67	26,73	90,29	42,62	61,69	74,40	45,80	64,87	58,51
2*	13/Jul	341,00	65,97	41,03	45,80	56,92	68,04	68,04	64,87	82,34	45,80	60,10	66,45
3	20/Jul	322,00	50,08	17,20	15,61	18,79	28,32	21,97	26,73	28,32	21,97	25,14	29,91
4	27/Jul	296,00	72,59	42,62	44,21	55,33	56,92	50,57	42,62	55,33	34,68	36,27	34,68
5	03/Ago	219,00	65,97	37,86	34,68	20,38	36,27	33,09	26,73	36,27	34,68	29,91	34,68
6	17/Ago	239,00	59,35	36,27	33,09	42,62	44,21	45,80	36,27	42,62	29,91	31,50	47,39
7	24/Ago	320,50	67,30	44,21	44,21	42,62	52,16	53,74	52,16	55,33	48,98	55,33	53,74
8	31/Ago	279,00	77,89	53,74	44,21	50,57	61,69	55,33	69,63	79,17	69,63	71,22	71,22
9	14/Set	284,50	55,38	33,09	20,38	21,97	39,44	29,91	28,32	33,09	39,44	33,09	37,86
10	21/Set	478,50	83,18	36,27	39,44	36,27	47,39	48,98	4,62	48,98	36,27	47,39	53,74
11	28/Set	256,50	44,79	23,56	23,56	29,91	39,44	25,14	28,32	29,91	23,56	28,32	23,56
12	05/Out	243,00	35,52	21,97	15,61	18,79	25,14	28,32	21,97	25,14	20,38	31,50	23,56
13	12/Out	210,00	73,92	44,21	36,27	36,27	47,39	44,21	42,62	45,80		48,98	44,21
14	19/Out	312,50	83,18	45,80	37,86	53,74	50,57	52,16	50,57	55,33	61,69	64,87	64,87
15	28/Out	223,00	79,21	45,80	36,27	36,27	48,98	41,03	48,98	50,57	44,21	41,03	55,33
Concentrações Médias		283,35	65,26	37,12	32,72	35,66	44,46	40,79	39,81	45,07	38,78	41,89	44,21
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,0	16,23
					Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> /l)								

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

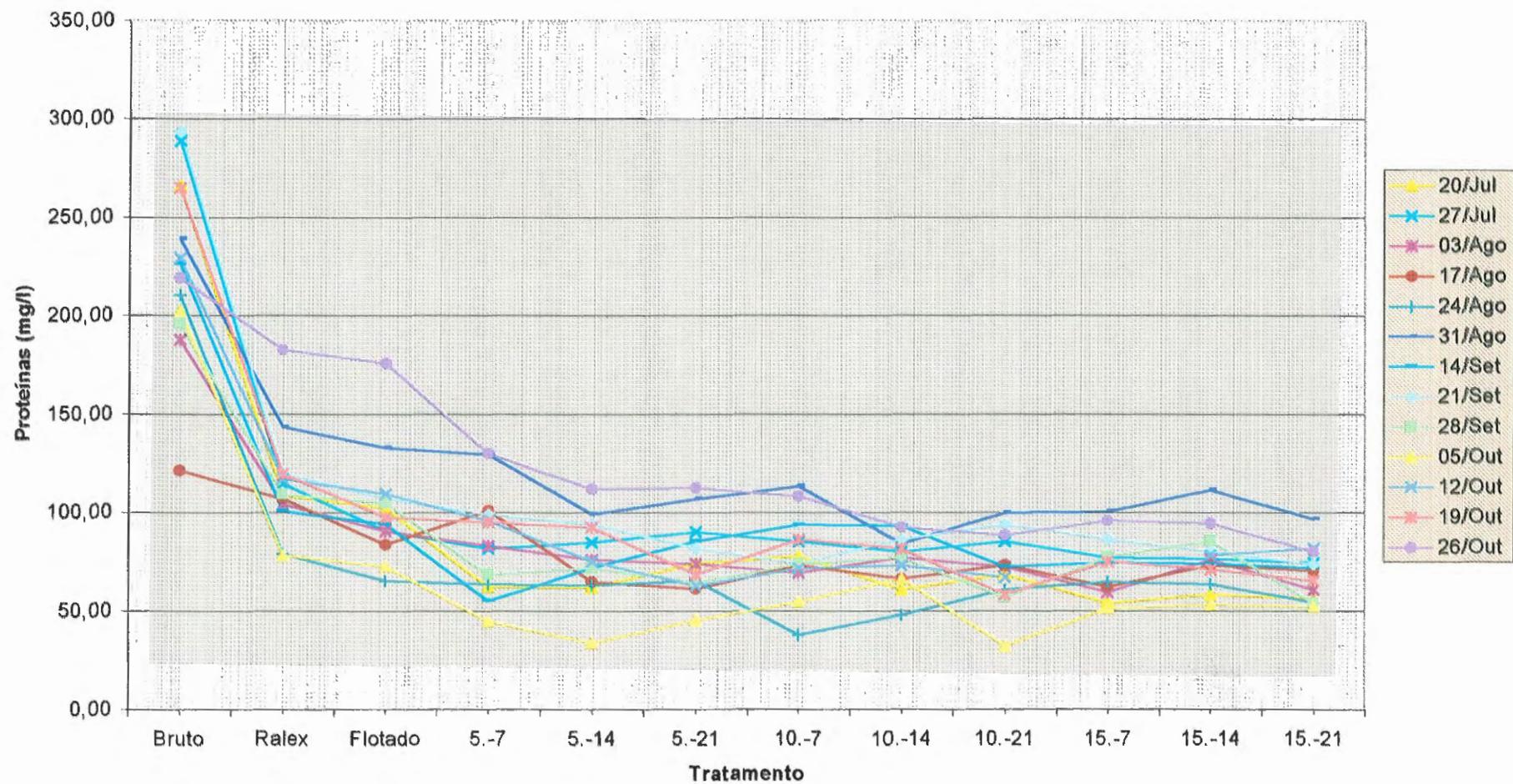
### DQO filtrada x Tratamiento



Proteínas, concentrações (mg / l)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Fictado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O3 / l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul	196,00	97,33	89,20	64,40	71,60	86,00	78,80	56,00	8,80	25,20	27,60	8,80
2*	13/Jul	189,67	74,00	69,20	54,00	46,00	46,00	30,00	42,40	56,40	59,20	44,00	39,20
3	20/Jul	266,33	109,00	102,80	62,80	62,40	74,40	78,40	61,20	68,80	54,40	58,80	56,80
4	27/Jul	289,33	115,00	90,80	82,00	85,20	90,40	85,60	80,40	85,60	77,60	76,80	75,20
5	03/Ago	188,00	104,67	90,80	83,60	76,40	74,00	70,00	77,60	72,80	60,00	76,40	61,20
6	17/Ago	121,73	107,33	84,00	101,20	65,20	61,60	73,60	66,80	73,60	62,80	73,60	70,80
7	24/Ago	211,00	79,33	65,60	64,00	63,60	65,60	38,40	48,40	61,20	65,20	64,00	55,20
8	31/Ago	239,33	143,67	133,20	130,00	99,60	107,20	113,60	84,80	100,40	100,80	112,00	97,20
9	14/Set	226,67	101,00	94,40	55,60	72,40	85,60	94,00	93,60	72,80	75,20	74,40	72,40
10	21/Set	294,00	120,33	107,60	99,60	94,40	82,00	74,40	86,80	94,40	86,80	80,80	74,00
11	28/Set	196,33	109,67	105,20	68,80	72,40	64,80	74,00	77,60	57,20	78,00	86,00	54,40
12	05/Out	202,67	78,67	73,20	45,20	34,00	45,60	55,20	66,80	32,80	51,60	53,60	52,80
13	12/Out	229,67	117,67	110,00	96,40	75,60	63,20	72,00	73,60	67,60		78,80	82,40
14	19/Out	265,33	120,00	96,00	95,60	92,80	68,80	86,80	82,00	58,80	75,60	71,60	66,00
15	26/Out	219,67	183,33	176,40	130,40	112,40	112,80	108,80	93,20	88,80	96,40	95,20	80,80
Concentrações Médias		226,93	114,59	102,46	85,78	77,42	76,62	78,83	76,37	71,91	73,70	77,08	69,17
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					Dosagem consumida (mg O3 / l)								

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

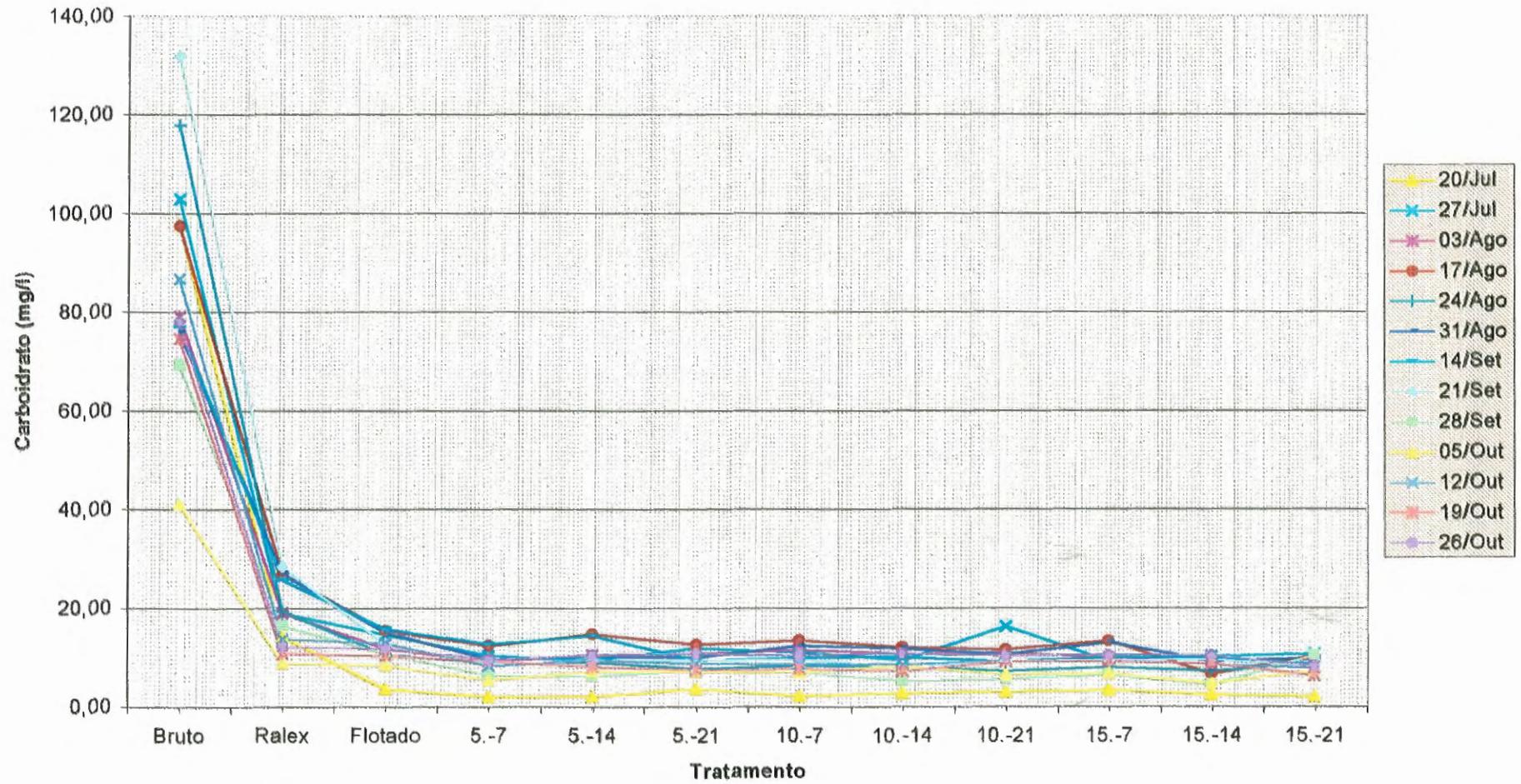
### Proteínas x Tratamento



Carboidratos, concentrações (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Ficado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg Cs / l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul	62,82	18,47	18,07	12,78	12,56	15,81	19,27	15,60	15,81	13,69	15,88	16,09
2*	13/Jul	69,18	19,88	10,38	10,66	8,89	8,47	9,46	8,26	9,39	7,69	7,48	8,12
3	20/Jul	97,88	14,35	3,74	2,19	2,19	3,74	2,26	2,89	3,18	3,46	2,47	2,19
4	27/Jul	103,06	19,12	14,82	10,52	9,53	12,00	11,15	9,46	16,45	9,25	10,31	10,87
5	03/Ago	79,35	19,18	12,00	9,39	10,66	10,87	11,65	10,87	11,08	10,02	9,53	9,60
6	17/Ago	97,59	27,06	15,53	12,56	14,82	12,71	13,62	12,14	11,79	13,41	6,71	10,45
7	24/Ago	118,00	19,47	10,73	9,11	9,11	7,84	8,40	8,19	7,27	8,12	7,34	8,68
8	31/Ago	76,06	27,12	15,25	9,88	10,31	10,09	12,42	11,93	10,73	13,13	9,25	9,95
9	14/Set	77,18	25,88	15,88	12,85	14,40	9,46	10,09	10,16	9,25	10,09	10,09	8,82
10	21/Set	132,24	28,47	12,99	8,96	9,39	9,67	9,74	8,05	9,39	9,46	9,67	8,28
11	28/Set	69,47	16,71	10,94	6,49	6,21	7,48	7,13	5,36	5,79	6,56	4,66	10,52
12	05/Out	41,24	9,00	8,61	5,58	7,20	7,20	7,13	8,26	6,71	6,92	4,80	7,41
13	12/Out	86,82	13,94	13,06	8,40	9,60	8,89	8,82	8,68	9,46		8,68	8,05
14	19/Out	74,76	11,00	10,45	9,39	8,19	7,62	7,76	7,34	9,25	9,25	8,89	6,42
15	26/Out	78,06	12,29	12,07	9,81	10,52	10,87	10,45	10,94	10,52	10,66	10,45	8,33
Concentrações Médias		87,05	18,74	12,01	8,86	9,39	9,11	9,28	8,79	9,30	9,19	7,91	8,43
					5,89	12,64	18,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,0	10,23
Dosagem consumida (mg Cs / l)													

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

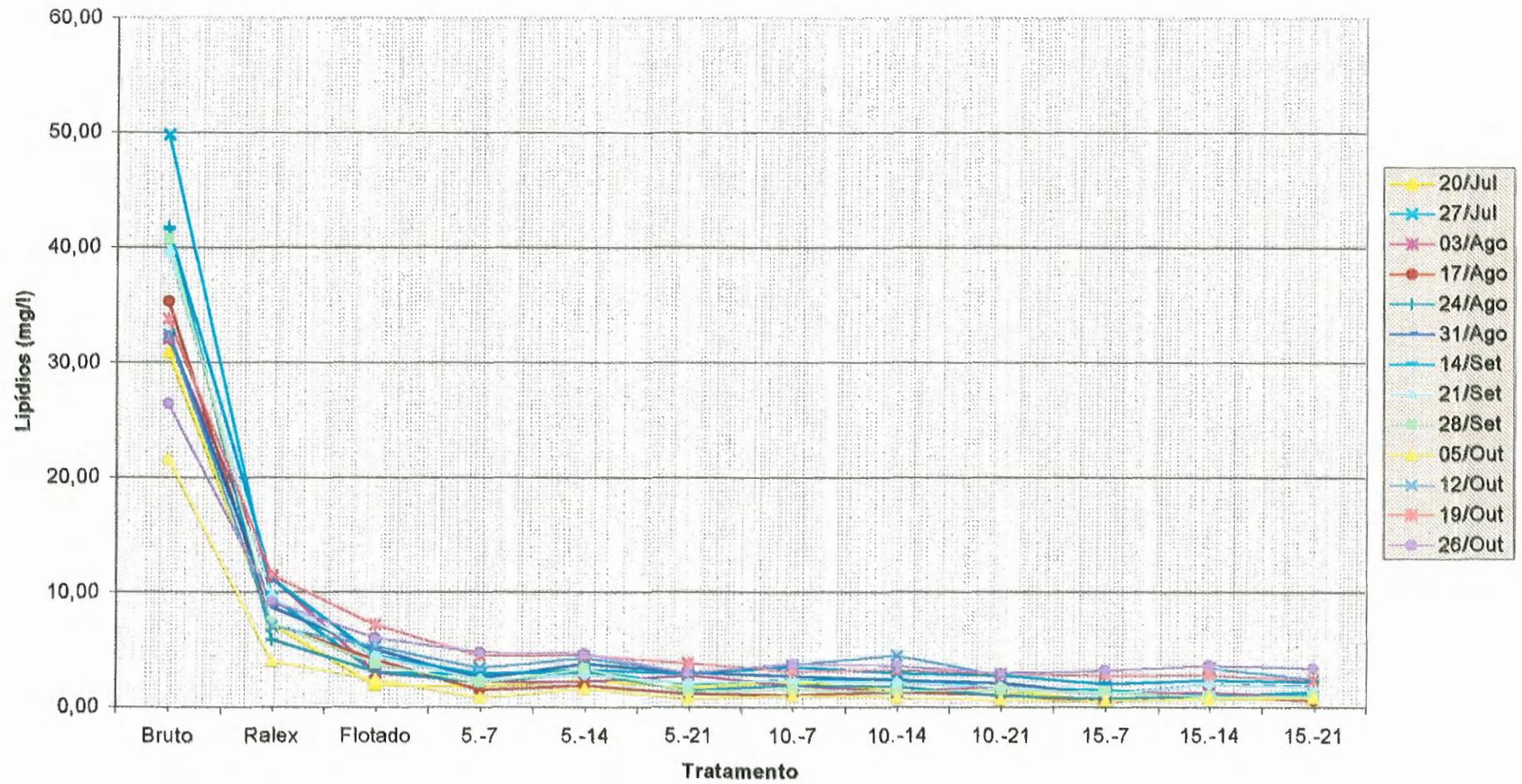
### Carboidrato x Tratamento



Lipídios, concentrações (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> /l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul	46,23	8,87	3,45	3,38	4,68	4,30	2,85	3,00	3,36	3,72	1,28	1,87
2*	13/Jul	46,57	10,28	3,40	1,81	1,81	1,91	2,42	2,49	3,36	2,34	1,06	0,42
3	20/Jul	30,91	7,26	1,99	1,86	2,38	1,78	2,23	1,43	1,51	0,60	0,80	0,75
4	27/Jul	49,87	9,65	3,08	2,92	3,19	2,06	2,42	2,51	1,77	1,54	1,01	1,34
5	03/Ago	32,08	11,38	3,06	2,26	2,26	2,77	1,92	1,37	1,87	1,36	1,30	1,02
6	17/Ago	35,38	7,37	4,19	1,53	1,89	1,25	1,08	1,37	1,13	0,51	0,96	0,62
7	24/Ago	41,82	5,91	3,11	2,21	3,06	1,47	1,92	1,81	1,02	0,79	1,02	1,08
8	31/Ago	32,52	8,74	5,09	2,60	3,79	3,06	2,72	2,43	2,15	1,25	2,09	1,87
9	14/Set	41,64	11,19	4,58	2,94	3,28	2,94	3,51	3,00	2,83	2,09	2,38	2,26
10	21/Set	39,62	9,62	4,53	2,49	2,89	2,15	2,32	2,21	1,81	1,19	2,09	1,81
11	28/Set	40,75	7,42	3,79	2,15	3,40	1,42	1,53	1,42	1,58	1,42	0,96	1,02
12	05/Out	21,70	4,03	2,49	0,91	1,64	0,79	1,02	0,91	0,74	0,57	0,85	0,85
13	12/Out	32,45	7,11	5,38	3,45	4,30	3,06	3,74	4,58	2,83		3,45	2,49
14	19/Out	33,84	11,57	7,25	4,58	4,58	3,91	3,11	3,28	2,94	2,77	2,89	2,38
15	26/Out	26,48	9,25	6,11	4,81	4,70	3,00	3,79	3,68	3,00	3,23	3,74	3,45
Concentrações Médias		35,31	8,50	4,20	2,67	3,18	2,28	2,41	2,31	1,94	1,44	1,81	1,61
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> /l)													

\* foram despresados nas análises dos resultados.

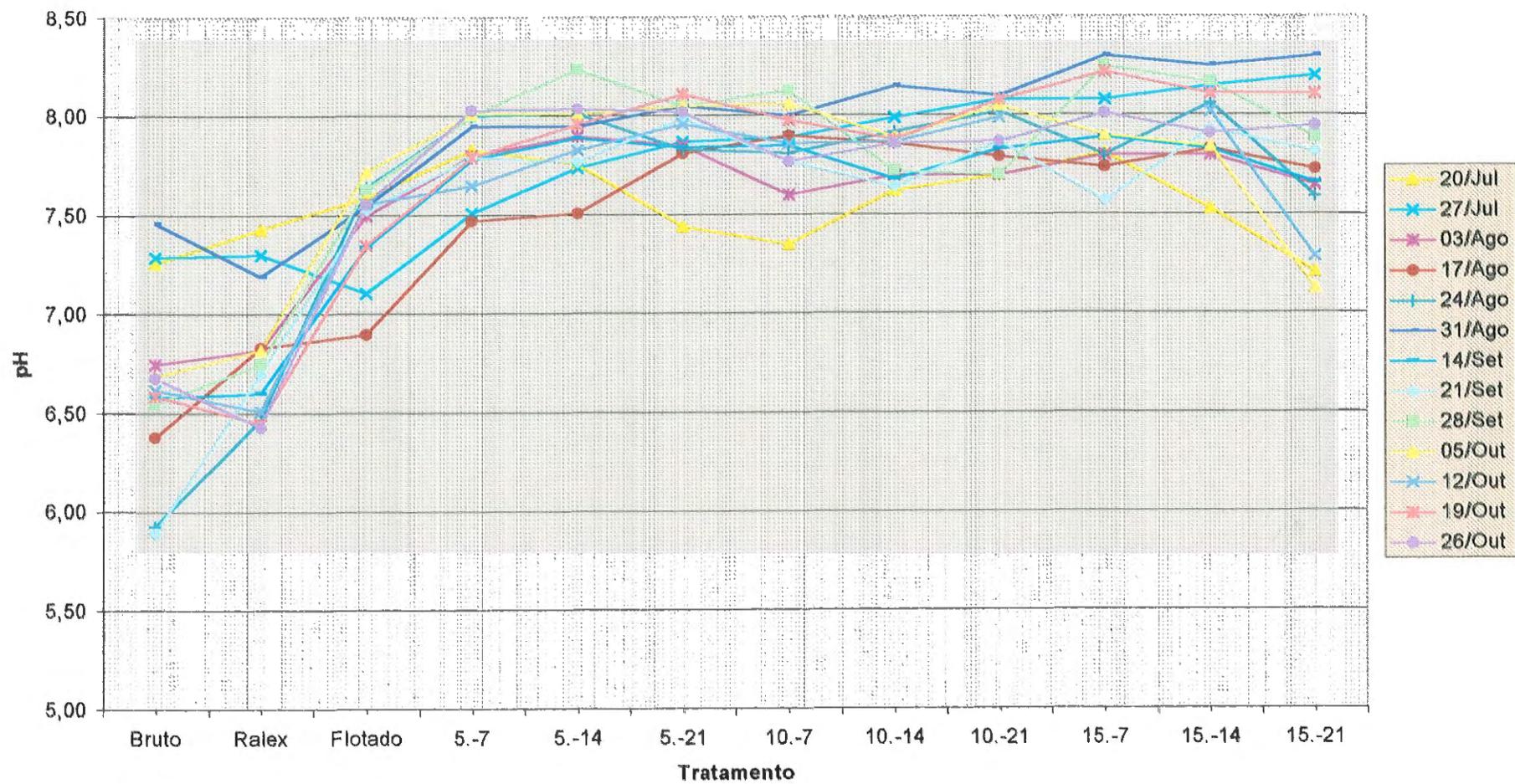
### Lipídios x Tratamiento



pH													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / l)								
					5 - 7	5 - 14	5 - 21	10 - 7	10 - 14	10 - 21	15 - 7	15 - 14	15 - 21
1*	06/Jul												
2*	13/Jul	6,90	6,90	7,35	7,50	7,70	7,80	7,80	7,90	7,90	7,85	7,85	7,75
3	20/Jul	7,26	7,43	7,59	7,83	7,76	7,44	7,35	7,62	7,70	7,81	7,53	7,21
4	27/Jul	7,29	7,30	7,11	7,51	7,74	7,87	7,89	7,99	8,08	8,08	8,15	8,20
5	03/Ago	6,75	6,82	7,50	7,80	7,90	7,85	7,60	7,70	7,70	7,80	7,80	7,65
6	17/Ago	6,38	6,83	6,90	7,47	7,51	7,81	7,90	7,86	7,79	7,74	7,83	7,73
7	24/Ago	5,93	6,47	7,64	8,00	8,01	7,83	7,81	7,92	8,02	7,80	8,06	7,59
8	31/Ago	7,46	7,19	7,55	7,95	7,95	8,05	8,00	8,15	8,10	8,30	8,25	8,30
9	14/Set	6,58	6,60	7,34	7,78	7,89	7,84	7,85	7,68	7,83	7,89	7,83	7,66
10	21/Set	5,90	6,70	7,53	7,79	7,77	7,99	7,77	7,64	7,87	7,57	7,93	7,82
11	28/Set	6,55	6,75	7,63	8,00	8,24	8,05	8,13	7,72	7,70	8,25	8,17	7,89
12	05/Out	6,69	6,82	7,72	8,01	8,01	8,05	8,06	7,89	8,05	7,90	7,84	7,13
13	12/Out	6,62	6,51	7,56	7,65	7,83	7,96	7,86	7,87	7,99		8,02	7,29
14	19/Out	6,59	6,45	7,35	7,79	7,96	8,11	7,98	7,88	8,08	8,22	8,11	8,11
15	26/Out	6,68	6,43	7,56	8,03	8,04	8,02	7,77	7,86	7,87	8,01	7,91	7,95
Média		6,67	6,79	7,46	7,82	7,89	7,91	7,84	7,83	7,91	7,95	7,96	7,73
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)													

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

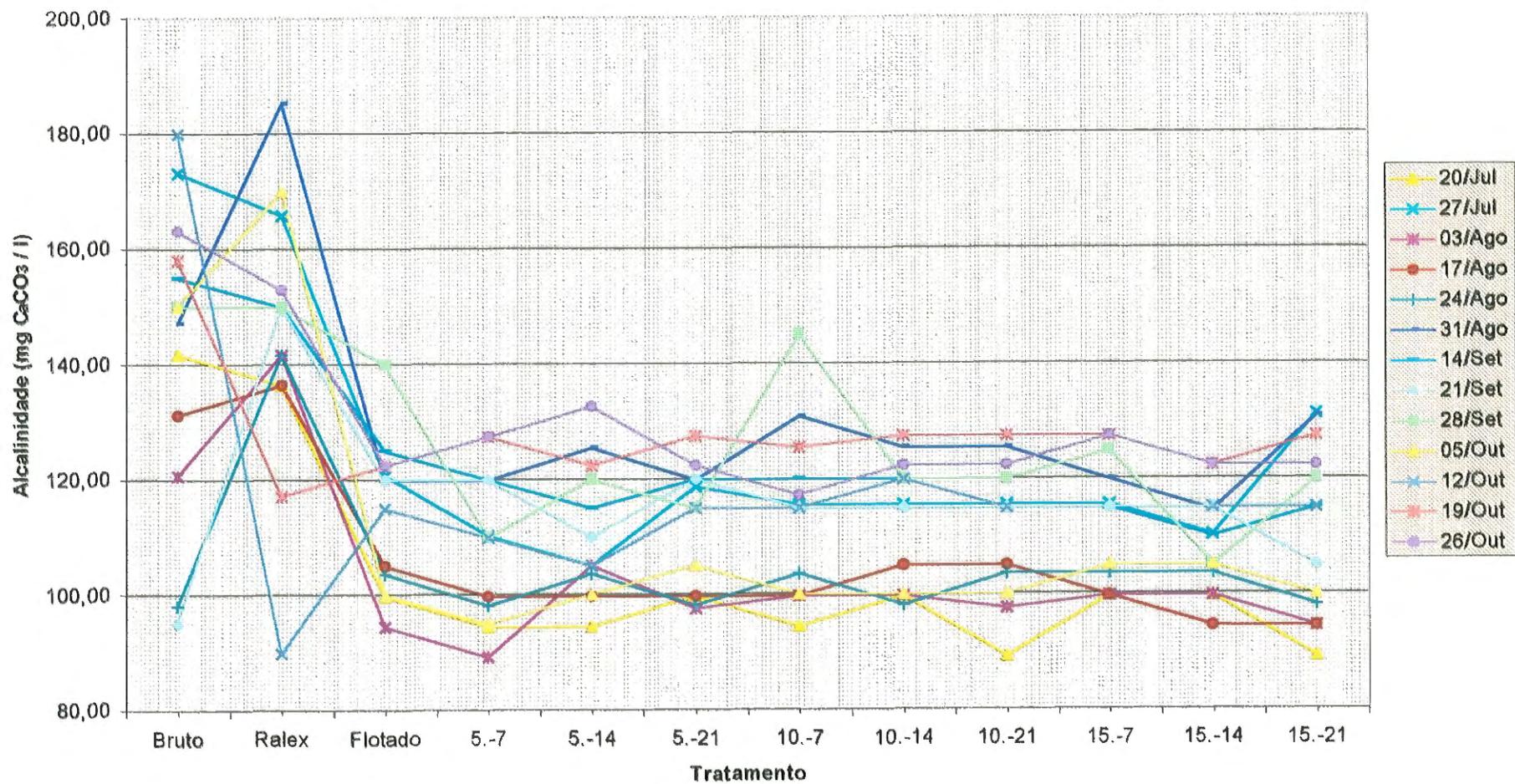
pH x Tratamiento



Alcalinidade, Concentração (mg CaCO <sub>3</sub> /l)													
Item	Data	Bruto	RAEx	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> /l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul												
2*	13/Jul	141,75	136,50	89,25	87,15	89,25	91,35	89,25	89,25	89,25	89,25	89,25	89,25
3	20/Jul	141,75	136,50	99,75	94,50	94,50	99,75	94,50	99,75	89,25	99,75	99,75	89,25
4	27/Jul	173,25	165,90	120,75	110,25	105,00	118,65	115,50	115,50	115,50	115,50	110,25	131,25
5	03/Ago	120,75	141,75	94,50	89,25	105,00	97,65	99,75	99,75	97,65	99,75	99,75	94,50
6	17/Ago	131,25	136,50	105,00	99,75	99,75	99,75	99,75	105,00	105,00	99,75	94,50	94,50
7	24/Ago	98,10	141,70	103,55	98,10	103,55	98,10	103,55	98,10	103,55	103,55	103,55	98,10
8	31/Ago	147,15	185,30	119,90	119,90	125,35	119,90	130,80	125,35	125,35	119,90	114,45	130,80
9	14/Set	155,00	150,00	125,00	120,00	115,00	120,00	120,00	120,00	115,00	115,00	110,00	115,00
10	21/Set	95,00	150,00	120,00	120,00	110,00	120,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	105,00
11	28/Set	150,00	150,00	140,00	110,00	120,00	115,00	145,00	120,00	120,00	125,00	105,00	120,00
12	05/Out	150,00	170,00	100,00	95,00	100,00	105,00	100,00	100,00	100,00	105,00	105,00	100,00
13	12/Out	180,00	90,00	115,00	110,00	105,00	115,00	115,00	120,00	115,00		115,00	115,00
14	19/Out	158,10	117,30	122,40	127,50	122,40	127,50	125,46	127,50	127,50	127,50	122,40	127,50
15	26/Out	163,20	153,00	122,40	127,50	132,60	122,40	117,30	122,40	122,40	127,50	122,40	122,40
Concentrações Médias		143,35	145,23	114,48	109,37	110,63	112,21	113,97	112,95	111,63	112,77	109,00	111,02
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> /l)													

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

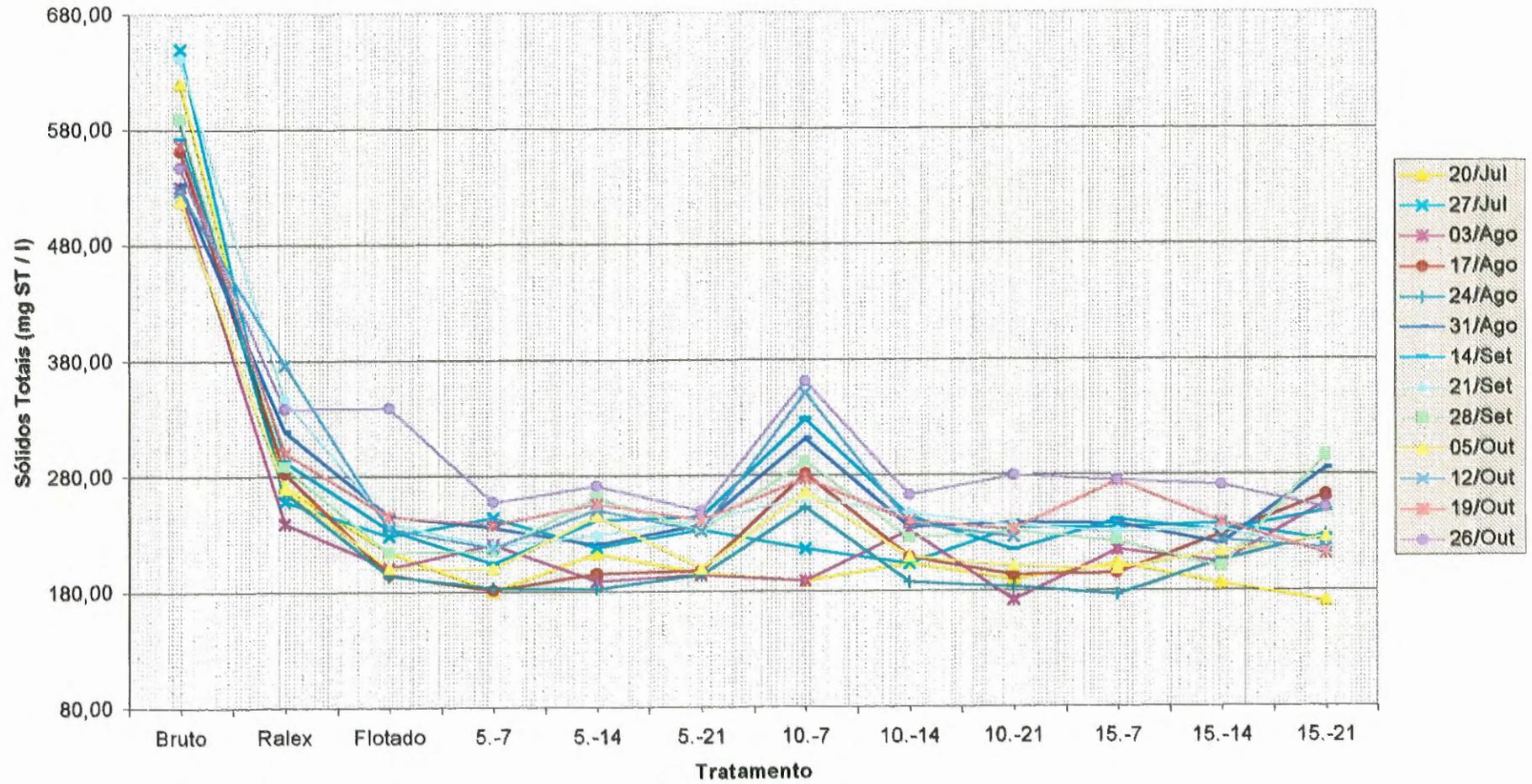
### Alcalinidade x Tratamento



Sólidos Totais, Concentração (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg Ca / l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul												
2*	13/Jul	587,80	384,00	353,28	233,52	200,88	208,56	543,36	207,60	429,12	159,12	206,40	193,92
3	20/Jul	620,40	271,60	215,28	180,96	213,36	195,84	189,12	204,24	190,20	203,52	186,24	171,36
4	27/Jul	649,80	258,90	228,60	244,32	218,28	233,16	217,20	203,64	234,96	234,96	238,32	223,44
5	03/Ago	531,10	239,70	201,24	221,40	189,12	194,16	189,36	232,56	172,44	215,64	205,08	256,32
6	17/Ago	561,80	283,00	195,00	181,68	196,08	198,24	281,88	209,40	194,04	195,48	228,60	263,16
7	24/Ago	587,40	266,50	194,16	183,72	182,64	194,40	252,84	187,80	183,84	176,88	206,16	228,12
8	31/Ago	533,10	319,10	245,88	236,00	220,80	237,60	312,00	235,20	239,40	238,56	220,56	285,60
9	14/Set	572,20	293,60	234,36	204,72	241,68	244,68	329,04	244,68	215,40	241,32	232,08	248,88
10	21/Set	641,80	347,10	240,24	220,20	228,84	241,92	261,24	247,56	236,76	230,64	233,76	213,60
11	28/Set	589,20	288,30	214,44	215,76	261,72	232,32	292,56	226,20	232,08	222,96	200,52	297,00
12	05/Out	519,20	269,80	201,12	200,76	245,64	200,16	265,68	210,00	201,36	198,96	213,60	226,68
13	12/Out	527,50	377,20	235,56	218,52	251,04	232,44	351,60	238,80	226,80		224,04	217,32
14	19/Out	567,00	301,20	245,64	238,79	256,08	241,92	277,92	240,60	233,76	275,16	239,52	212,52
15	26/Out	547,90	338,60	340,08	258,00	271,20	249,60	361,92	263,28	280,08	275,52	271,44	252,00
Concentrações Médias		572,95	296,51	230,12	215,76	228,96	222,80	275,57	226,46	218,55	225,80	223,07	238,15
					5,99	12,84	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O3 / l)													

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

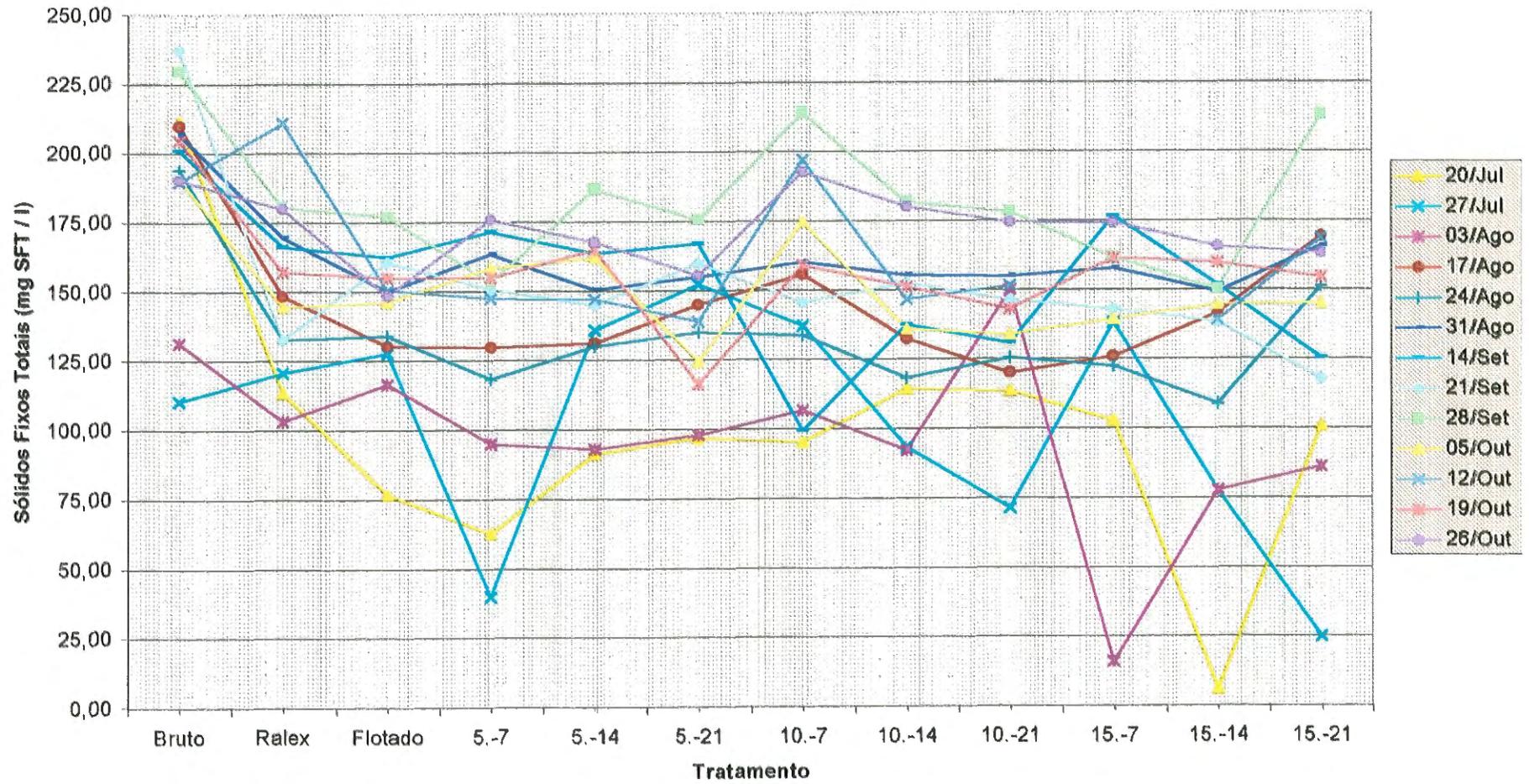
### Sólidos Totais x Tratamento



Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Sólidos Fixos Totais, Concentração (mg/l)									
					Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / l)									
					5 - 7	5 - 14	5 - 21	10 - 7	10 - 14	10 - 21	15 - 7	15 - 14	15 - 21	
1*	06/Jul													
2*	13/Jul	243,40	101,00	0,96	35,28	79,44	154,08	99,12	157,44	162,00	84,24	48,24	130,56	
3	20/Jul	211,60	113,80	76,92	62,88	91,44	96,96	95,52	114,48	113,76	102,96	6,36	101,04	
4	27/Jul	110,70	121,10	127,92	40,08	135,96	152,52	137,40	93,48	71,64	138,24	77,76	25,20	
5	03/Ago	131,70	103,50	116,64	95,16	93,24	98,16	106,92	92,52	150,24	16,08	77,88	86,28	
6	17/Ago	210,00	148,80	130,44	130,08	131,52	145,20	156,00	132,72	120,36	126,12	141,84	169,32	
7	24/Ago	194,10	133,00	134,16	118,56	130,20	135,12	133,92	118,56	125,88	122,64	109,08	151,32	
8	31/Ago	207,20	169,90	150,12	163,52	150,72	155,04	160,32	155,64	155,16	157,92	149,52	165,84	
9	14/Set	201,20	166,50	162,48	171,60	163,80	167,04	99,60	137,64	131,16	176,52	151,92	125,40	
10	21/Set	237,40	133,00	160,68	151,08	145,20	160,08	145,92	152,76	146,76	143,28	138,60	118,08	
11	28/Set	229,80	180,80	177,36	153,24	186,84	175,80	214,32	182,04	178,56	162,00	150,24	213,24	
12	05/Out	190,80	144,60	146,28	158,64	162,12	124,56	174,84	135,96	134,04	139,68	145,08	145,32	
13	12/Out	189,90	211,20	150,72	147,72	147,36	138,96	197,28	146,88	151,68		139,20	168,84	
14	19/Out	204,90	157,60	155,04	155,03	165,12	116,40	159,36	151,32	143,40	161,64	159,96	154,68	
15	28/Out	190,40	180,30	148,80	176,16	167,88	155,76	192,96	180,12	174,72	174,24	165,84	163,56	
Concentrações Médias		193,05	151,08	141,35	132,60	143,95	140,12	151,87	138,01	138,26	135,11	124,10	137,55	
					5,99	12,64	19,21	4,06	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23	
					Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)									

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

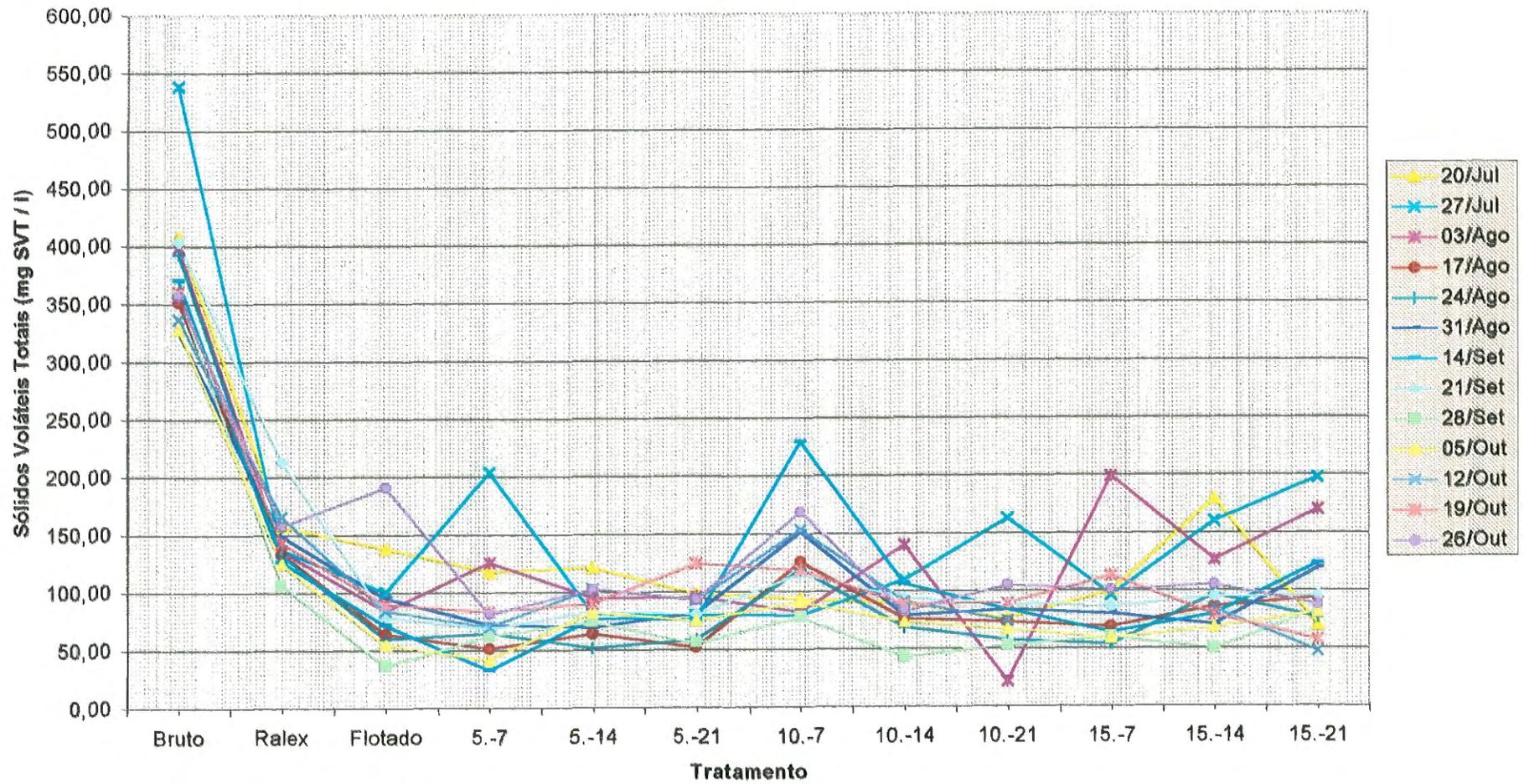
Sólidos Fixos Totais x Tratamento



Sólidos Voláteis Totais, Concentração (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flocado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul												
2*	13/Jul	344,40	283,00	352,32	198,24	121,44	54,48	444,24	50,16	267,12	74,88	158,16	63,36
3	20/Jul	408,80	157,80	138,36	118,08	121,92	98,88	93,60	89,76	76,44	100,56	179,88	70,32
4	27/Jul	539,10	137,80	100,68	204,24	82,32	80,64	79,80	110,16	163,32	96,72	160,56	198,24
5	03/Ago	359,40	136,20	84,60	126,24	95,88	96,00	82,44	140,04	22,20	199,56	127,20	170,04
6	17/Ago	351,80	134,20	64,56	51,60	64,56	53,04	125,88	76,68	73,68	69,36	86,76	93,84
7	24/Ago	393,30	133,50	60,00	65,16	52,44	59,28	118,92	69,24	57,96	54,24	97,08	76,80
8	31/Ago	325,90	149,20	95,76	72,48	70,08	82,56	151,68	79,56	84,24	80,64	71,04	119,76
9	14/Set	371,00	127,10	71,88	33,12	77,88	77,64	229,44	107,04	84,24	64,80	80,16	123,48
10	21/Set	404,40	214,10	79,56	69,12	83,64	81,84	115,32	94,80	90,00	87,36	95,16	95,52
11	28/Set	359,40	107,50	37,08	62,52	74,88	56,52	78,24	44,16	53,52	60,96	50,28	83,76
12	05/Out	328,40	125,20	54,84	42,12	83,52	75,60	90,84	74,04	67,32	59,28	68,52	81,36
13	12/Out	337,60	166,00	84,84	70,80	103,68	93,48	154,32	91,92	75,12		84,84	48,48
14	19/Out	362,10	143,60	90,60	83,76	90,96	125,52	118,56	89,28	90,36	113,52	79,56	57,84
15	26/Out	357,50	158,30	191,28	81,84	103,32	93,84	168,96	83,16	105,36	101,28	105,60	88,44
Concentrações Médias		379,90	145,42	88,77	83,16	85,01	82,68	123,69	88,45	80,29	90,69	98,97	100,61
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)													

\* foram desprezados nos análises dos resultados.

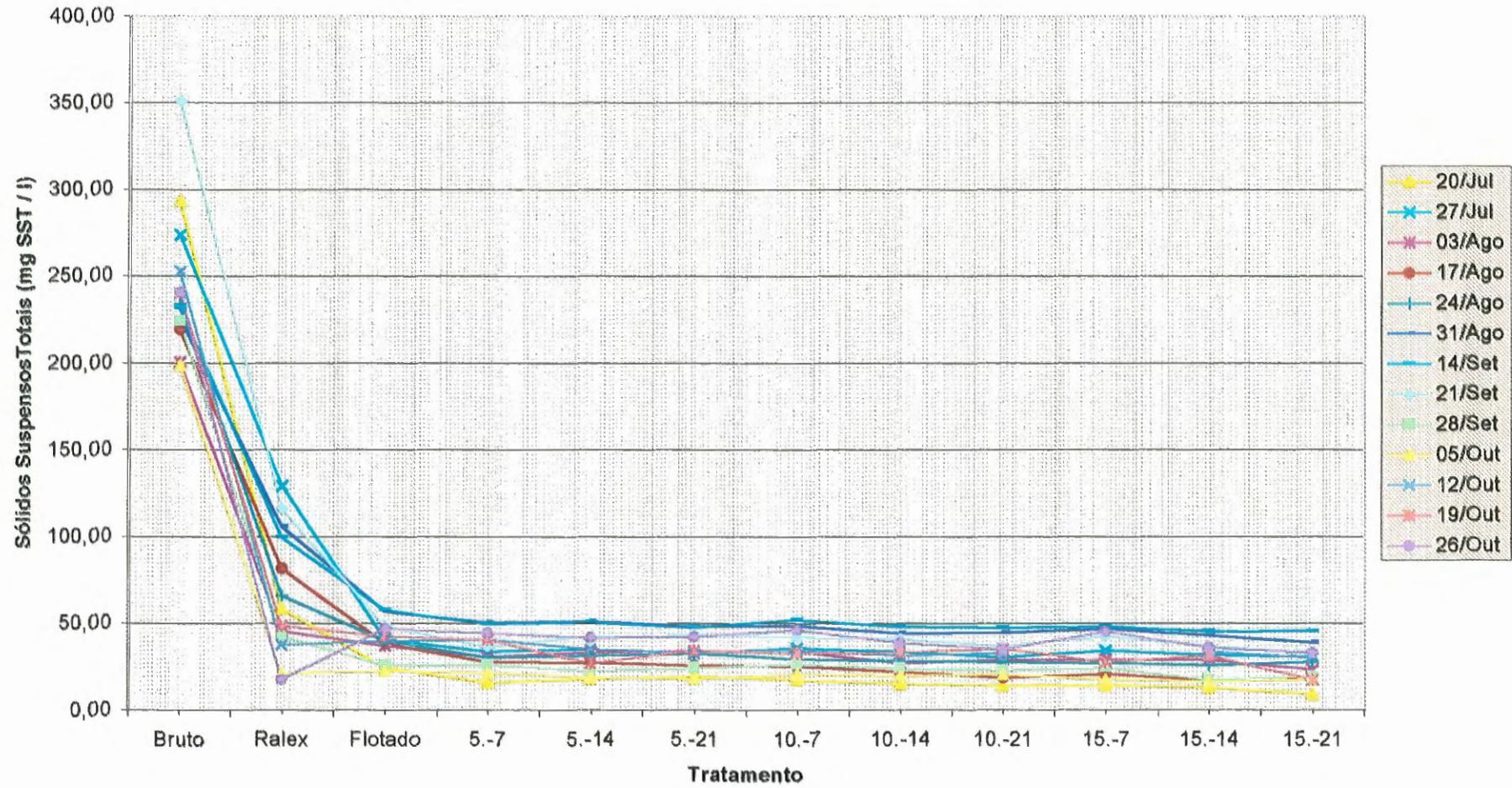
Sólidos Voláteis Totais x Tratamento



Sólidos Suspensos Totais, Concentração (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Fictado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg Cs/l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul												
2*	13/Jul	220,00	76,40	31,80	30,84	26,04	15,60	23,88	19,44	18,96	23,40	19,92	8,64
3	20/Jul	294,17	58,80	24,84	16,20	18,36	19,80	17,52	15,60	14,40	14,40	13,32	9,48
4	27/Jul	274,44	129,60	41,16	33,84	35,52	33,12	35,76	33,96	30,84	34,44	32,04	30,96
5	03/Ago	201,00	45,83	37,20	30,72	33,72	34,80	33,84	27,36	29,40	29,40	29,28	23,64
6	17/Ago	219,67	82,00	38,74	27,84	27,60	25,92	25,44	22,44	18,96	21,12	17,28	18,24
7	24/Ago	234,33	66,20	39,96	30,60	31,68	33,12	29,52	28,44	27,84	27,36	25,92	28,08
8	31/Ago	226,33	106,13	57,24	50,64	51,72	48,60	48,96	44,64	44,76	47,04	43,44	39,36
9	14/Set	232,00	100,00	57,77	49,92	50,88	48,00	52,32	48,36	47,76	48,24	45,36	45,60
10	21/Set	351,33	116,17	48,72	36,96	42,84	43,80	42,36	41,40	37,44	43,20	37,44	33,48
11	28/Set	224,50	43,20	26,28	26,64	22,92	24,96	26,64	24,60	23,16	24,84	17,40	19,56
12	05/Out	199,33	21,50	22,80	21,72	19,08	18,24	20,88	19,92	20,88	18,12	16,68	18,00
13	12/Out	253,33	38,20	40,44	41,04	35,52	33,36	35,04	31,68	33,36		33,84	30,36
14	19/Out	240,67	49,10	42,96	41,04	27,48	35,04	33,12	33,60	35,76	27,84	31,68	18,00
15	26/Out	241,33	18,00	47,49	44,64	42,00	42,60	46,56	39,36	35,64	45,48	36,48	33,36
Concentrações Médias		245,57	67,29	40,43	34,75	33,79	33,95	34,46	31,64	30,78	31,79	29,24	26,78
					5,99	12,84	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O3/l)													

\* foram despresados nas análises dos resultados.

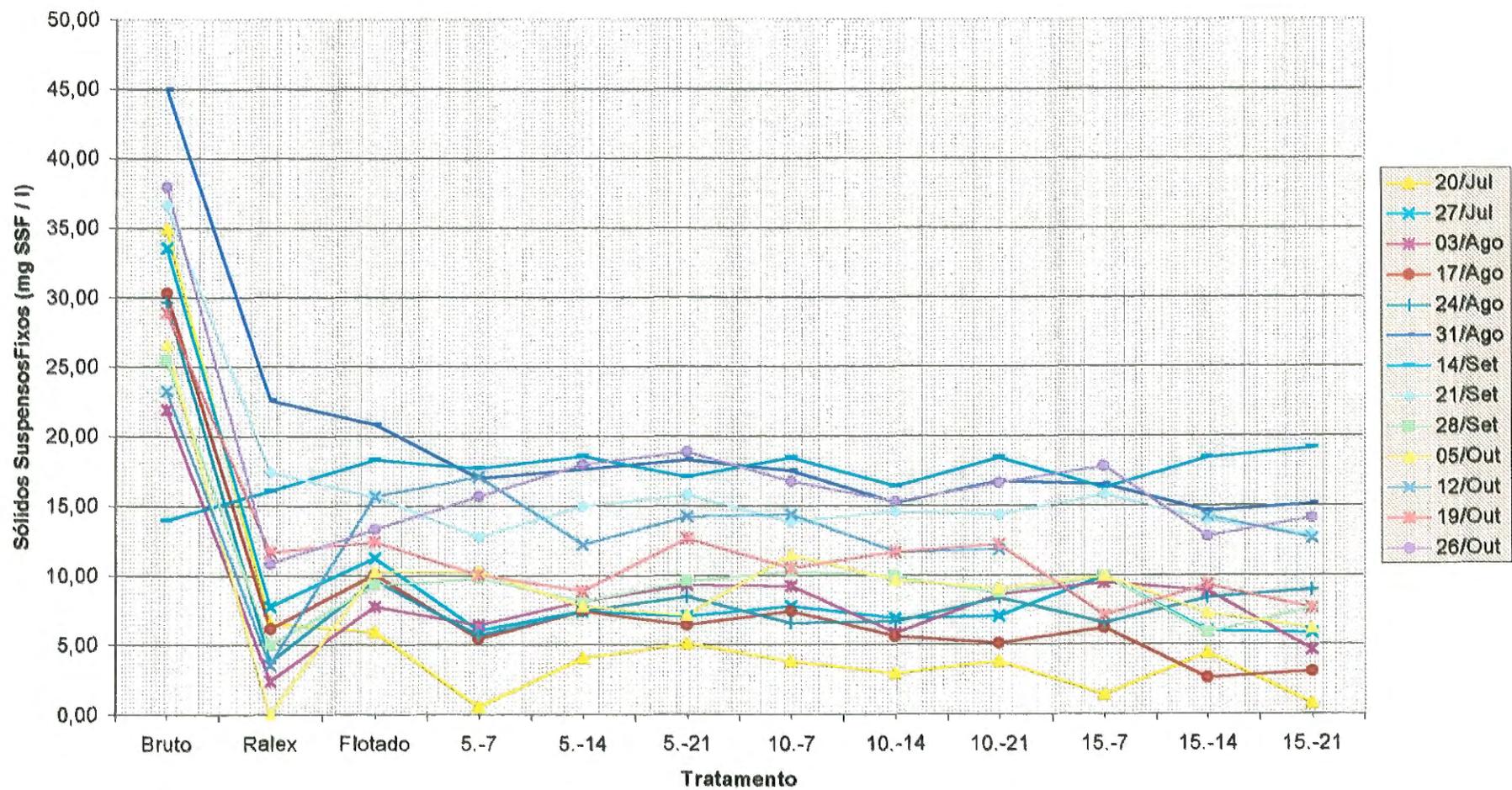
### Sólidos Suspensos Totais x Tratamento



Sólidos Suspensos Fixos, Concentração (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Fictado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg Cs/l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul												
2*	13/Jul	45,40	15,30	10,68	12,24	8,76	6,84	6,84	8,16	8,28	9,00	10,44	0,36
3	20/Jul	35,00	6,60	6,00	0,60	4,08	5,16	3,84	3,00	3,84	1,44	4,44	0,84
4	27/Jul	33,61	7,80	11,28	6,12	7,44	7,08	7,80	6,96	7,08	9,96	6,00	5,88
5	03/Ago	22,00	2,43	7,80	6,48	8,16	9,36	9,24	5,88	8,64	9,48	8,88	4,68
6	17/Ago	30,33	6,20	10,11	5,52	7,44	6,48	7,44	5,64	5,16	6,24	2,64	3,12
7	24/Ago	29,67	3,80	9,72	5,76	7,44	8,52	6,60	6,72	8,40	6,60	8,40	9,00
8	31/Ago	45,00	22,67	20,88	17,04	17,84	18,36	17,52	15,24	16,80	16,56	14,64	15,12
9	14/Set	14,00	16,14	18,34	17,76	18,60	17,16	18,48	16,44	18,48	16,32	18,48	19,20
10	21/Set	36,67	17,50	15,72	12,84	15,00	15,84	13,92	14,64	14,40	15,84	14,04	12,96
11	28/Set	25,50	5,00	9,36	9,84	8,16	9,60	10,32	9,96	8,76	9,96	5,88	7,68
12	05/Out	26,67	0,00	10,32	10,32	7,80	7,20	11,52	9,72	9,12	9,96	7,32	6,24
13	12/Out	23,33	3,60	15,72	17,16	12,24	14,28	14,40	11,76	11,88		14,28	12,72
14	19/Out	29,00	11,70	12,48	10,08	8,88	12,72	10,56	11,76	12,24	7,20	9,36	7,68
15	26/Out	38,00	10,90	13,37	15,72	18,00	18,96	16,80	15,36	16,68	17,88	12,84	14,16
Concentrações Médias		29,91	8,80	12,39	10,40	10,84	11,59	11,42	10,24	10,88	10,62	9,78	9,18
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O3/l)													

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

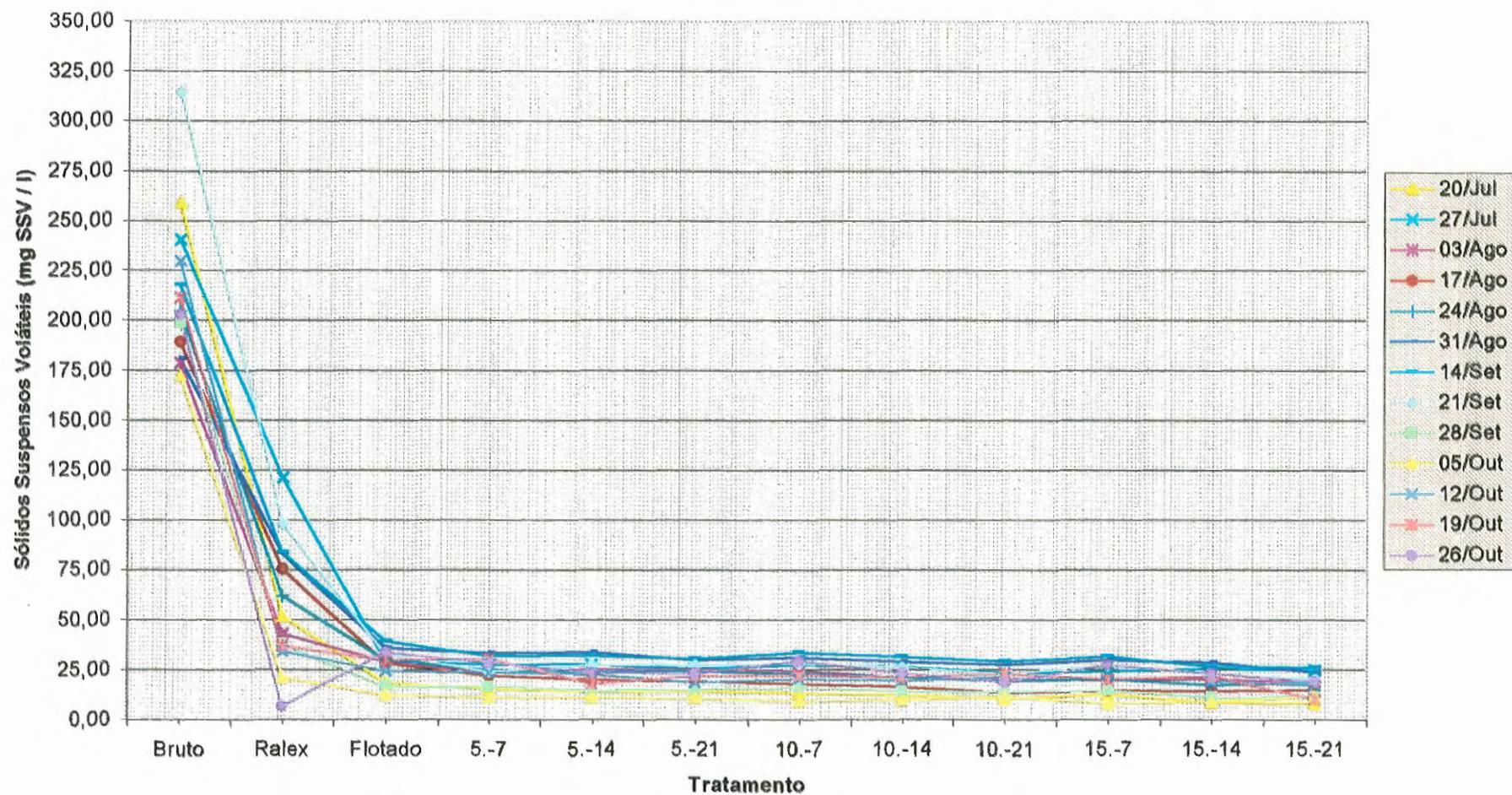
### Sólidos Suspensos Fixos x Tratamiento



Sólidos Suspensos Voláteis, Concentração (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> /l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul												
2*	13/Jul	174,60	61,10	21,12	18,60	17,28	8,76	17,04	11,28	10,68	14,40	9,48	8,28
3	20/Jul	259,17	52,20	18,84	15,60	14,28	14,64	13,68	12,60	10,56	12,96	8,88	8,64
4	27/Jul	240,83	121,80	29,88	27,72	28,08	26,04	27,96	27,00	23,76	24,48	26,04	25,08
5	03/Ago	179,00	43,40	29,40	24,24	25,56	25,44	24,60	21,48	20,76	19,92	20,40	18,96
6	17/Ago	189,33	75,80	28,63	22,32	20,16	19,44	18,00	16,80	13,80	14,88	14,64	15,12
7	24/Ago	204,67	62,40	30,24	24,84	24,24	24,60	22,92	21,72	19,44	20,76	17,52	19,08
8	31/Ago	181,33	83,47	36,36	33,60	34,08	30,24	31,44	29,40	27,96	30,48	28,80	24,24
9	14/Set	218,00	83,86	39,43	32,16	32,28	30,84	33,84	31,92	29,28	31,92	26,88	26,40
10	21/Set	314,67	98,67	33,00	24,12	27,84	27,96	28,44	26,76	23,04	27,36	23,40	20,52
11	28/Set	199,00	38,20	16,92	16,80	14,76	15,36	16,32	14,64	14,40	14,88	11,52	11,88
12	05/Out	172,67	21,50	12,48	11,40	11,28	11,04	9,36	10,20	11,76	8,16	9,36	11,76
13	12/Out	230,00	34,60	24,72	23,88	23,28	19,08	20,64	19,92	21,48		19,56	17,64
14	19/Out	211,67	37,40	30,48	30,96	18,60	22,32	22,56	21,84	23,52	20,64	22,32	10,32
15	26/Out	203,33	7,10	34,11	28,92	24,00	23,64	29,76	24,00	18,96	27,60	23,64	19,20
Concentrações Médias		215,67	58,49	28,04	24,35	22,96	22,36	23,04	21,41	19,90	21,17	19,46	17,60
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> /l)								

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

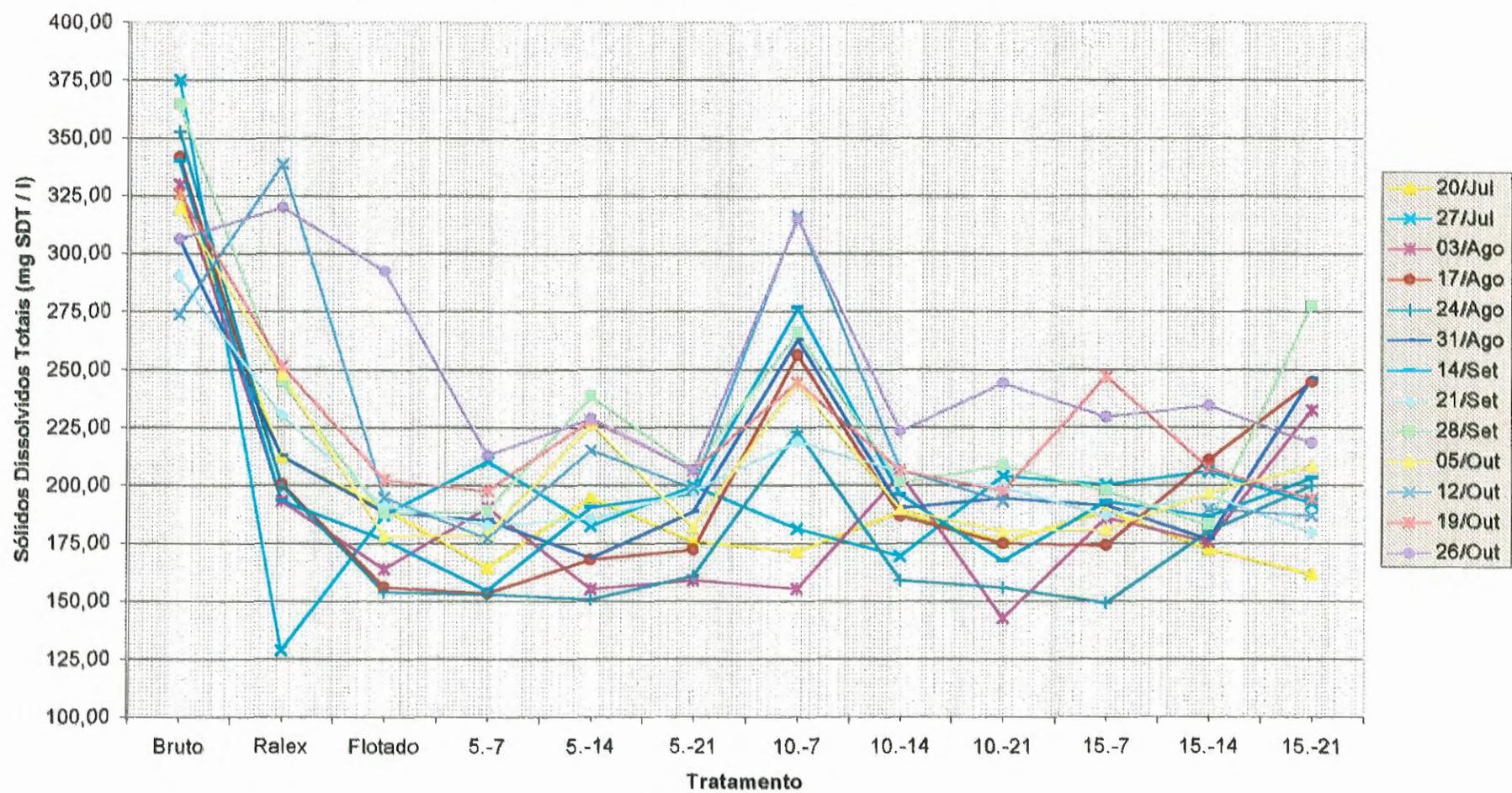
### Sólidos Suspensos Voláteis x Tratamento



Sólidos Dissolvidos Totais, Concentração (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RAEx	Fidado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> /l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul												
2*	13/Jul	367,80	307,60	321,48	202,68	174,84	192,96	519,48	188,16	410,16	135,72	186,48	185,28
3	20/Jul	326,23	212,80	190,44	164,76	195,00	176,04	171,60	188,64	175,80	189,12	172,92	161,88
4	27/Jul	375,36	129,30	187,44	210,48	182,76	200,04	181,44	169,68	204,12	200,52	206,28	192,48
5	03/Ago	330,10	193,87	164,04	190,68	155,40	159,36	155,52	205,20	143,04	166,24	175,80	232,68
6	17/Ago	342,13	201,00	156,26	153,84	168,48	172,32	256,44	186,96	175,08	174,36	211,32	244,92
7	24/Ago	353,07	200,30	154,20	153,12	150,96	161,28	223,32	159,36	156,00	149,52	180,24	200,04
8	31/Ago	306,77	212,97	188,64	185,36	169,08	189,00	263,04	190,56	194,64	191,52	177,12	246,24
9	14/Set	340,20	193,60	176,59	154,80	190,80	196,68	276,72	196,32	167,64	193,08	186,72	203,28
10	21/Set	290,47	230,93	191,52	183,24	186,00	198,12	218,88	206,16	199,32	187,44	196,32	180,12
11	28/Set	364,70	245,10	188,16	189,12	238,80	207,36	265,92	201,60	208,92	198,12	183,12	277,44
12	05/Out	319,87	248,30	178,32	179,04	226,56	181,92	244,80	190,08	180,48	180,84	196,92	208,68
13	12/Out	274,17	339,00	195,12	177,48	215,52	199,08	316,56	207,12	193,44		190,20	186,96
14	19/Out	326,33	262,10	202,68	197,75	228,60	206,88	244,80	207,00	198,00	247,32	207,84	194,52
15	26/Out	306,57	320,60	292,59	213,36	229,20	207,00	315,36	223,92	244,44	230,04	234,96	218,64
Concentrações Médias		327,38	229,22	189,69	181,00	195,17	188,85	241,11	194,82	187,76	194,01	193,83	211,38
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> /l)								

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

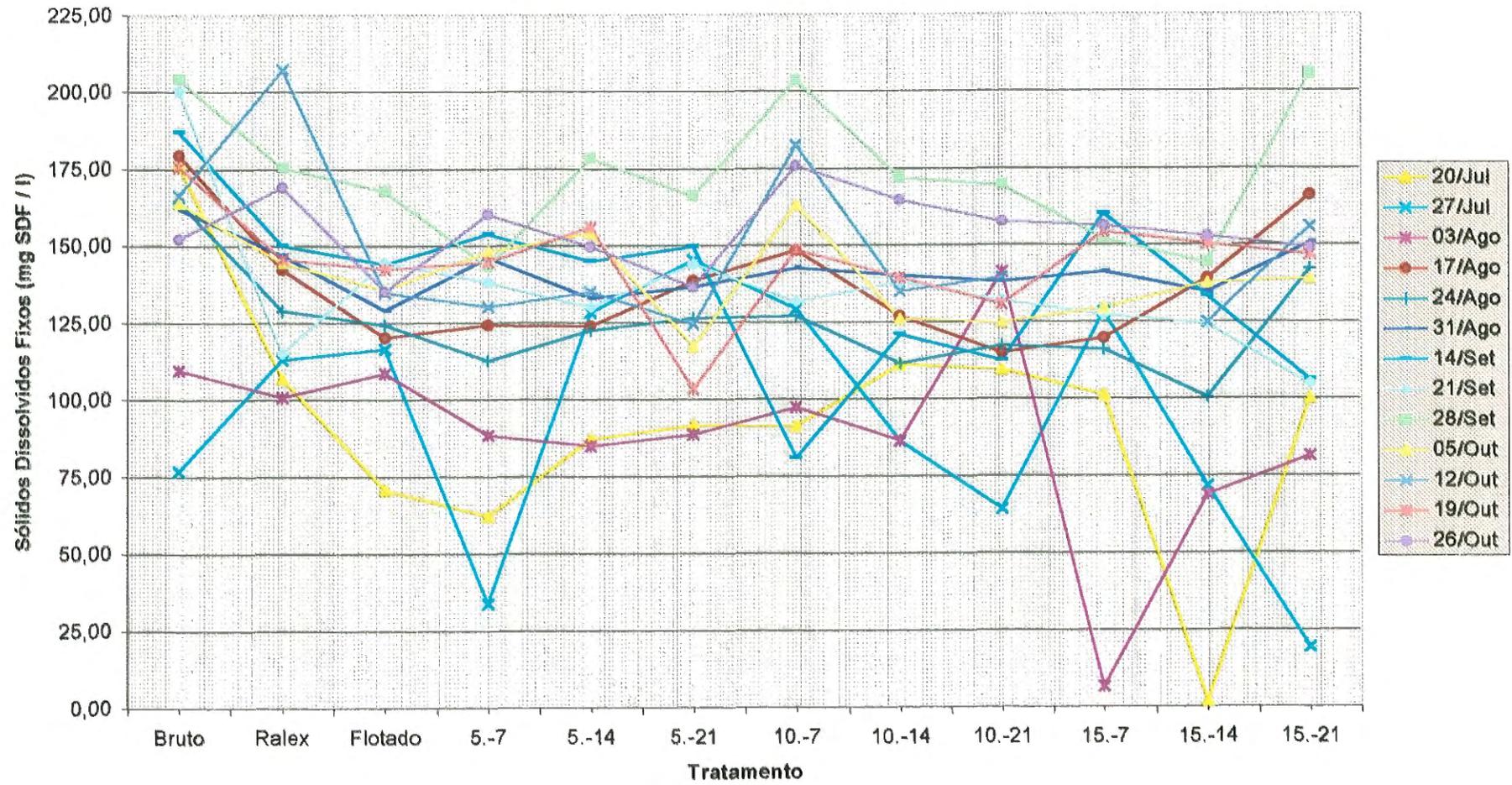
### Sólidos Dissolvidos Totais x Tratamento



Sólidos Dissolvidos Fixos, Concentração (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flocado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul												
2*	13/Jul	198,00	85,70	0,00	23,04	70,68	147,24	92,28	149,28	153,72	75,24	37,80	130,20
3	20/Jul	176,60	107,20	70,92	62,28	87,36	91,80	91,68	111,48	109,92	101,52	1,92	100,20
4	27/Jul	77,09	113,30	116,64	33,96	128,52	145,44	129,60	86,52	64,56	128,28	71,76	19,32
5	03/Ago	109,70	101,07	108,84	88,68	85,08	88,80	97,68	86,64	141,60	6,60	69,00	81,60
6	17/Ago	179,67	142,60	120,33	124,56	124,08	138,72	148,56	127,08	115,20	119,88	139,20	166,20
7	24/Ago	164,43	129,20	124,44	112,80	122,76	126,60	127,32	111,84	117,48	116,04	100,68	142,32
8	31/Ago	162,20	147,23	129,24	146,48	133,08	136,68	142,80	140,40	138,36	141,36	134,88	150,72
9	14/Set	187,20	150,36	144,14	153,84	145,20	149,88	81,12	121,20	112,68	160,20	133,44	106,20
10	21/Set	200,73	115,50	144,96	138,24	130,20	144,24	132,00	138,12	132,36	127,44	124,56	105,12
11	28/Set	204,30	175,80	168,00	143,40	178,68	166,20	204,00	172,08	169,80	152,04	144,36	205,56
12	05/Out	164,13	144,60	135,96	148,32	154,32	117,36	163,32	126,24	124,92	129,72	137,76	139,08
13	12/Out	166,57	207,60	135,00	130,56	135,12	124,68	182,88	135,12	139,80		124,92	156,12
14	19/Out	175,90	145,90	142,56	144,96	156,24	103,68	148,80	139,56	131,16	154,44	150,60	147,00
15	26/Out	152,40	169,40	135,43	160,44	149,88	136,80	176,16	164,76	158,04	156,36	153,00	149,40
Concentrações Médias		163,15	142,29	128,96	122,19	133,12	128,53	140,46	127,77	127,38	124,49	114,31	128,37
					5,89	12,64	10,21	4,08	10,77	17,37	2,41	3,0	10,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)													

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

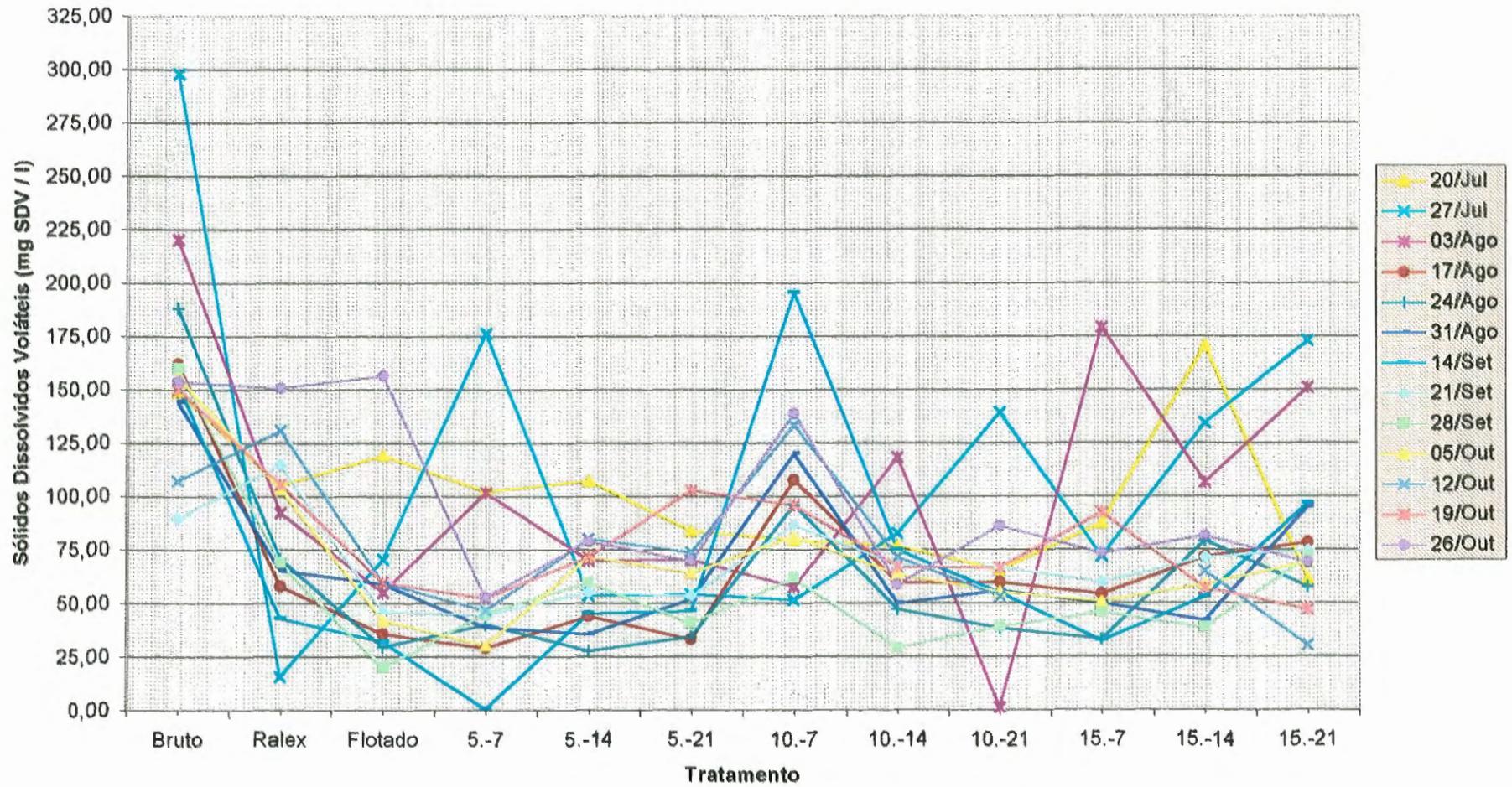
### Sólidos Dissolvidos Fixos x Tratamento



Sólidos Dissolvidos Voláteis, Concentração (mg/l)													
Item	Data	Bruto	RAEx	Fictado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul												
2*	13/Jul	169,80	221,90	331,20	179,64	104,16	45,72	427,20	38,88	256,44	60,48	148,68	55,08
3	20/Jul	149,63	105,60	119,52	102,48	107,64	84,24	79,92	77,16	65,88	87,60	171,00	61,68
4	27/Jul	298,27	16,00	70,80	176,52	54,24	54,60	51,84	83,16	139,56	72,24	134,52	173,16
5	03/Ago	220,40	92,80	55,20	102,00	70,32	70,56	57,84	118,56	1,44	179,64	106,80	151,08
6	17/Ago	162,47	58,40	35,93	29,28	44,40	33,60	107,88	59,88	59,88	54,48	72,12	78,72
7	24/Ago	188,63	71,10	29,76	40,32	28,20	34,68	96,00	47,52	38,52	33,48	79,56	57,72
8	31/Ago	144,57	65,73	59,40	38,88	36,00	52,32	120,24	50,16	56,28	50,16	42,24	95,52
9	14/Set	153,00	43,24	32,45	0,96	45,60	46,80	195,60	75,12	54,96	32,88	53,28	97,08
10	21/Set	89,73	115,43	46,56	45,00	55,80	53,88	86,88	68,04	66,96	60,00	71,76	75,00
11	28/Set	160,40	69,30	20,16	45,72	60,12	41,16	61,92	29,52	39,12	46,08	38,76	71,88
12	05/Out	155,73	103,70	42,36	30,72	72,24	64,56	81,48	63,84	55,56	51,12	59,16	69,60
13	12/Out	107,60	131,40	60,12	46,92	80,40	74,40	133,68	72,00	53,64		65,28	30,84
14	19/Out	150,43	106,20	60,12	52,80	72,36	103,20	96,00	67,44	66,84	92,88	57,24	47,52
15	28/Out	154,17	151,20	157,17	52,92	79,32	70,20	139,20	59,16	86,40	73,68	81,96	69,24
Concentrações Médias		164,23	86,93	60,73	58,81	62,05	60,32	100,65	67,04	60,39	69,52	79,51	83,00
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)													

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

### Sólidos Dissolvidos Voláteis x Tratamento



## **ANEXO 2**

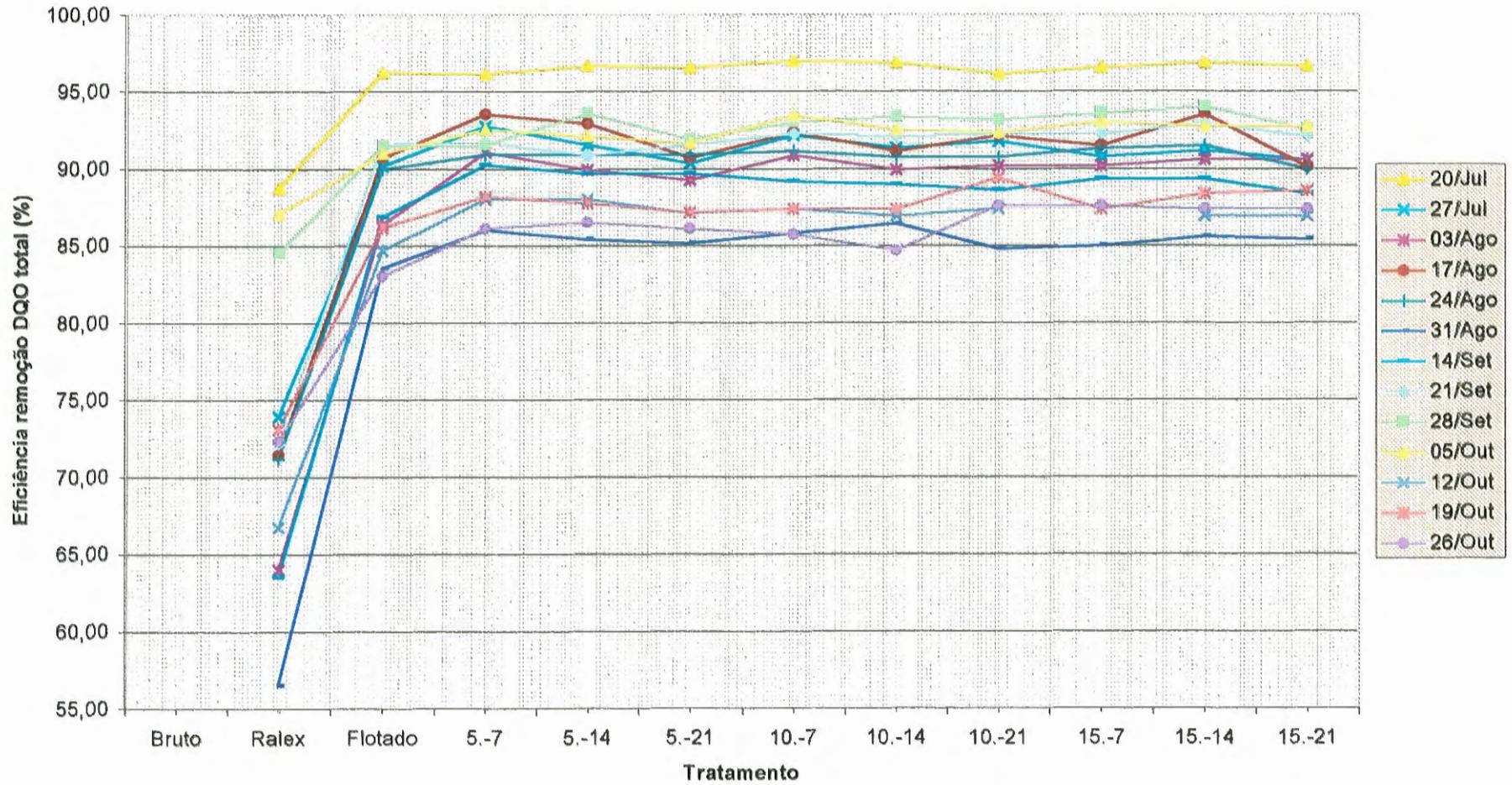
**Eficiência de remoções obtidas, ao longo do procedimento experimental, para os parâmetros analisados, com suas respectivas evoluções gráficas.**

DQO total, eficiência total de remoção (%)													
Item	Data	Bruto	RAEx	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul		61,25	83,49	89,23	86,14	85,69	85,69	84,81	84,37	81,72	76,43	80,40
2*	13/Jul		60,84	91,58	91,38	89,56	87,95	91,58	90,37	89,76	91,17	90,97	91,58
3	20/Jul		88,78	96,30	96,20	96,73	96,62	97,04	96,94	96,20	96,62	96,94	96,73
4	27/Jul		73,95	90,20	92,81	91,61	90,41	92,21	91,41	91,81	90,81	91,21	90,61
5	03/Ago		64,06	86,41	91,10	89,98	89,31	90,88	89,98	90,21	90,21	90,65	90,65
6	17/Ago		71,49	90,75	93,58	92,97	90,75	92,37	91,16	92,17	91,56	93,58	90,15
7	24/Ago		71,21	90,02	90,98	90,98	90,98	91,17	90,79	90,79	91,37	91,56	90,02
8	31/Ago		56,53	83,59	86,06	85,44	85,24	85,85	86,47	84,83	85,03	85,65	85,44
9	14/Set		63,53	86,90	90,33	89,76	89,76	89,19	89,00	88,62	89,38	89,38	88,43
10	21/Set		72,23	91,63	91,77	90,96	91,63	92,31	92,17	92,31	92,31	92,99	92,17
11	28/Set		84,59	91,60	91,60	93,66	92,01	93,04	93,45	93,24	93,66	94,07	92,63
12	05/Out		87,09	91,04	92,61	92,16	91,71	93,51	92,61	92,39	93,06	92,84	92,84
13	12/Out		66,78	84,77	88,09	88,09	87,20	87,43	86,98	87,43		86,98	86,98
14	19/Out		73,14	86,24	88,24	87,84	87,24	87,44	87,44	89,44	87,44	88,44	88,64
15	26/Out		72,37	83,09	86,19	86,61	86,19	85,78	84,75	87,64	87,64	87,43	87,43
Eficiência Média			72,75	88,66	90,74	90,52	89,93	90,63	90,24	90,54	90,76	90,90	90,21
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
					Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)								

\* foram despresados nas análises dos resultados.



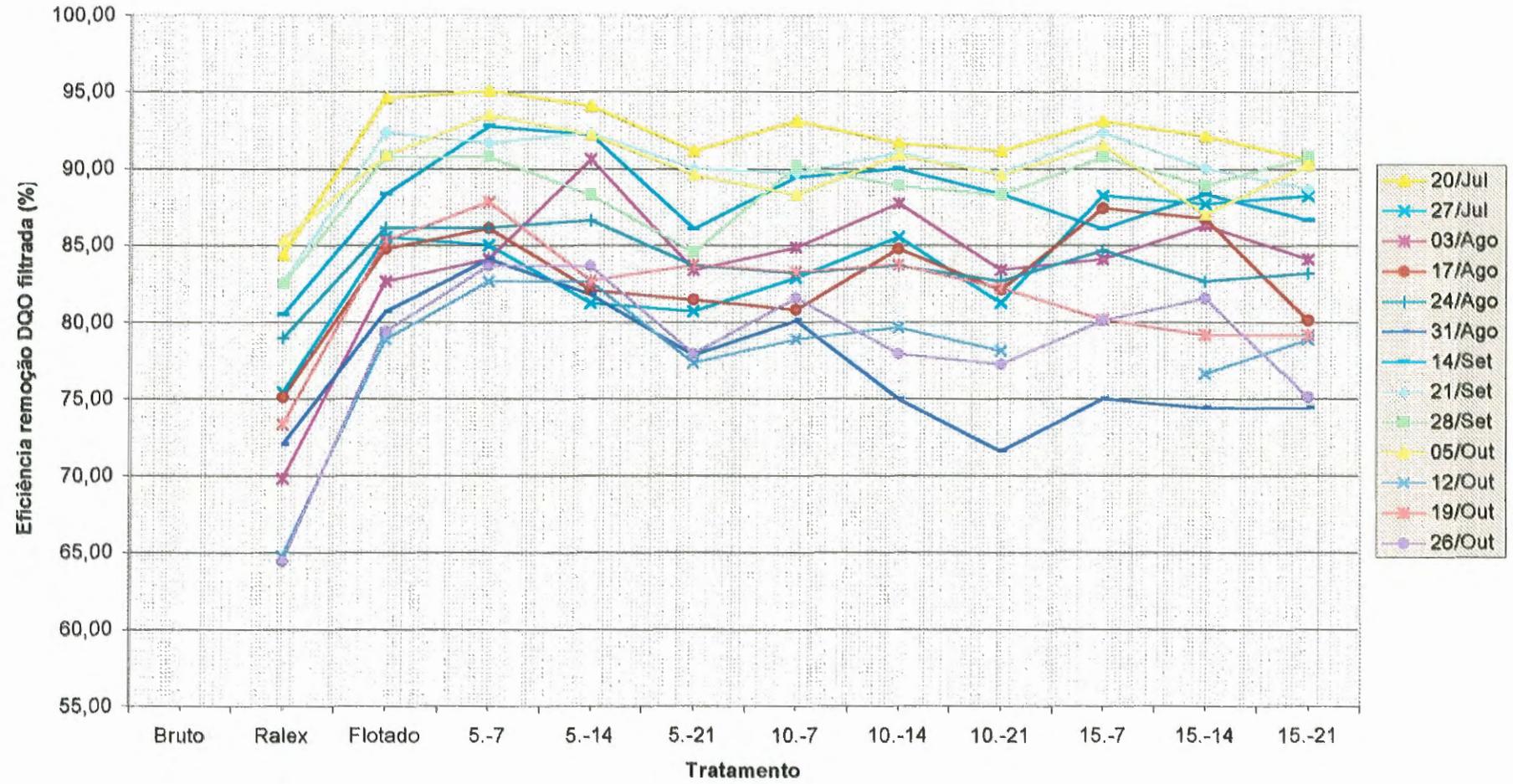
Eficiência remoção DQO total x Tratamento



DGO filtrada, eficiência total de remoção (%)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / l)								
					5 - 7	5 - 14	5 - 21	10 - 7	10 - 14	10 - 21	15 - 7	15 - 14	15 - 21
1*	06/Jul		55,13	82,65	96,33	87,21	56,80	79,61	70,48	64,40	78,09	68,96	72,00
2*	13/Jul		80,65	87,97	86,57	83,31	80,05	80,05	80,98	75,85	86,57	82,38	80,51
3	20/Jul		84,45	94,66	95,15	94,16	91,20	93,18	91,70	91,20	93,18	92,19	90,71
4	27/Jul		75,48	85,60	85,06	81,31	80,77	82,92	85,60	81,31	88,28	87,75	88,28
5	03/Ago		69,88	82,71	84,17	90,70	83,44	84,89	87,79	83,44	84,17	86,34	84,17
6	17/Ago		75,17	84,83	86,16	82,17	81,50	80,84	84,83	82,17	87,48	86,82	80,17
7	24/Ago		79,00	86,21	86,21	86,70	83,73	83,23	83,73	82,74	84,72	82,74	83,23
8	31/Ago		72,08	80,74	84,15	81,88	77,89	80,17	75,04	71,63	75,04	74,47	74,47
9	14/Set		80,53	88,37	92,84	92,28	86,14	89,49	90,04	88,37	86,14	88,37	86,69
10	21/Set		82,62	92,42	91,76	92,42	90,10	89,76	91,09	89,76	92,42	90,10	88,77
11	28/Set		82,54	90,82	90,82	88,34	84,62	90,20	88,96	88,34	90,82	88,96	90,82
12	05/Out		85,38	90,96	93,58	92,27	89,65	88,34	90,96	89,65	91,61	87,04	90,31
13	12/Out		64,80	78,95	82,73	82,73	77,43	78,95	79,70	78,19		76,68	78,95
14	19/Out		73,38	85,34	87,89	82,80	83,82	83,31	83,82	82,29	80,26	79,24	79,24
15	26/Out		64,48	79,46	83,74	83,74	78,04	81,60	78,04	77,32	80,17	81,60	75,19
Eficiência Média			76,14	86,24	88,02	87,04	83,72	85,14	85,48	83,57	86,19	84,79	83,92
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)													

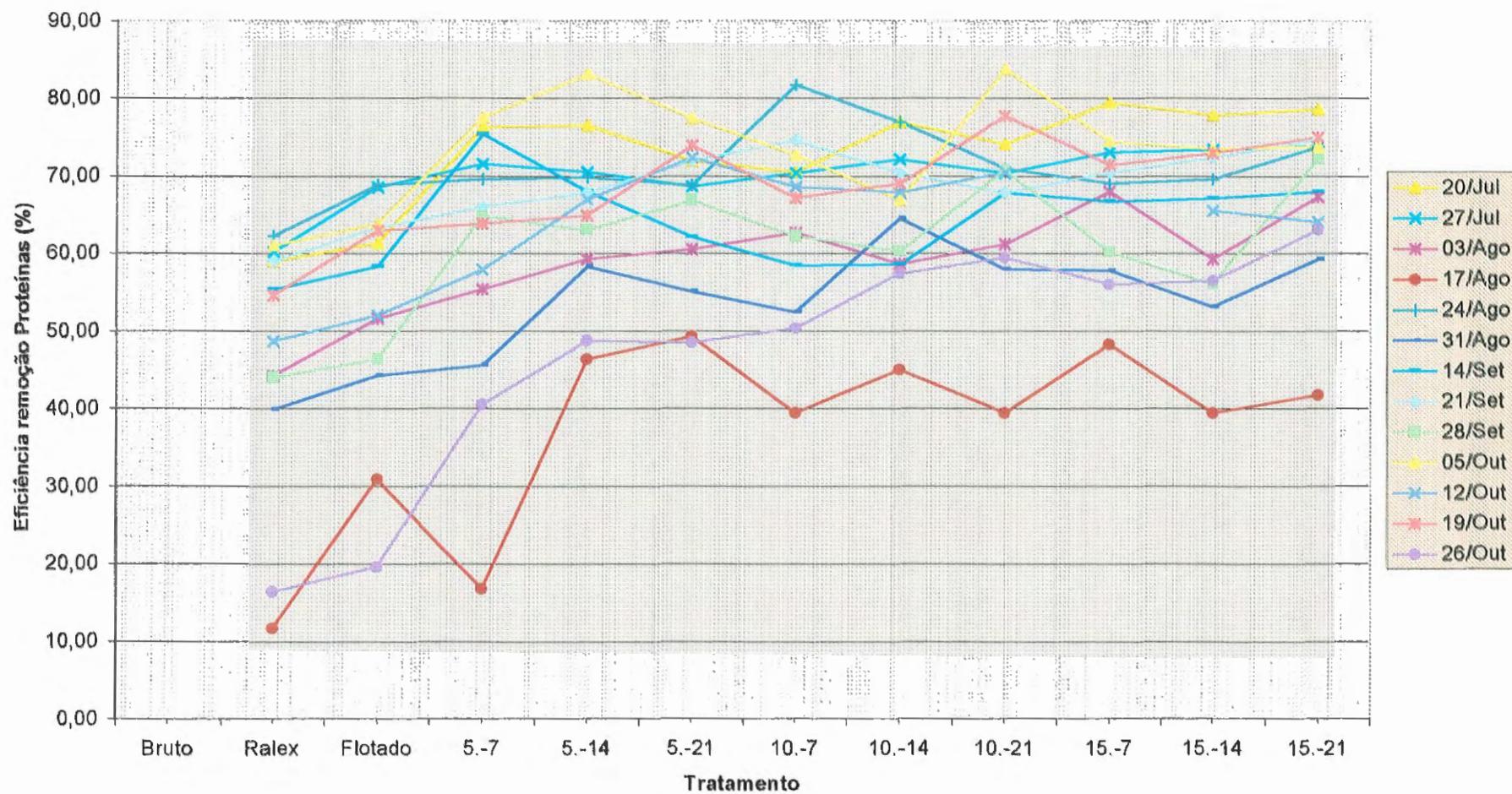
\* foram desprezados nas análises dos resultados.

Eficiência remoção DQO filtrada x Tratamento



Proteínas, eficiência total de remoção (%)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / l)								
					5 - 7	5 - 14	5 - 21	10 - 7	10 - 14	10 - 21	15 - 7	15 - 14	15 - 21
1*	06/Jul		50,34	54,49	67,14	63,47	56,12	59,80	71,43	95,51	87,14	85,92	95,51
2*	13/Jul		60,98	63,51	71,53	75,75	75,75	84,18	77,64	70,26	68,79	76,80	79,33
3	20/Jul		59,07	61,40	76,42	76,57	72,07	70,56	77,02	74,17	79,57	77,92	78,67
4	27/Jul		60,25	68,62	71,66	70,55	68,76	70,41	72,21	70,41	73,18	73,46	74,01
5	03/Ago		44,33	51,70	55,53	59,36	60,64	62,77	58,72	61,28	68,09	59,36	67,45
6	17/Ago		11,83	31,00	16,87	46,44	49,40	39,54	45,13	39,54	48,41	39,54	41,84
7	24/Ago		62,40	68,91	69,67	69,86	68,91	81,80	77,06	71,00	69,10	69,67	73,84
8	31/Ago		39,97	44,35	45,68	58,38	55,21	52,53	64,57	58,05	57,88	53,20	59,39
9	14/Set		55,44	58,35	75,47	68,06	62,24	58,53	58,71	67,88	66,82	67,18	68,06
10	21/Set		59,07	63,40	66,12	67,89	72,11	74,69	70,48	67,89	70,48	72,52	74,83
11	28/Set		44,14	46,42	64,96	63,12	66,99	62,31	60,48	70,87	60,27	56,20	72,29
12	05/Out		61,18	63,88	77,70	83,22	77,50	72,76	67,04	83,82	74,54	73,55	73,95
13	12/Out		48,77	52,10	58,03	67,08	72,48	68,65	67,95	70,57		65,69	64,12
14	19/Out		54,77	63,07	63,97	65,03	74,07	67,29	69,10	77,84	71,51	73,02	75,13
15	26/Out		16,54	19,70	40,64	48,83	48,65	50,47	57,57	59,58	56,12	56,66	63,22
Eficiência Média			47,52	53,30	60,21	64,95	65,31	64,02	65,08	67,14	66,33	64,46	68,21
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)													

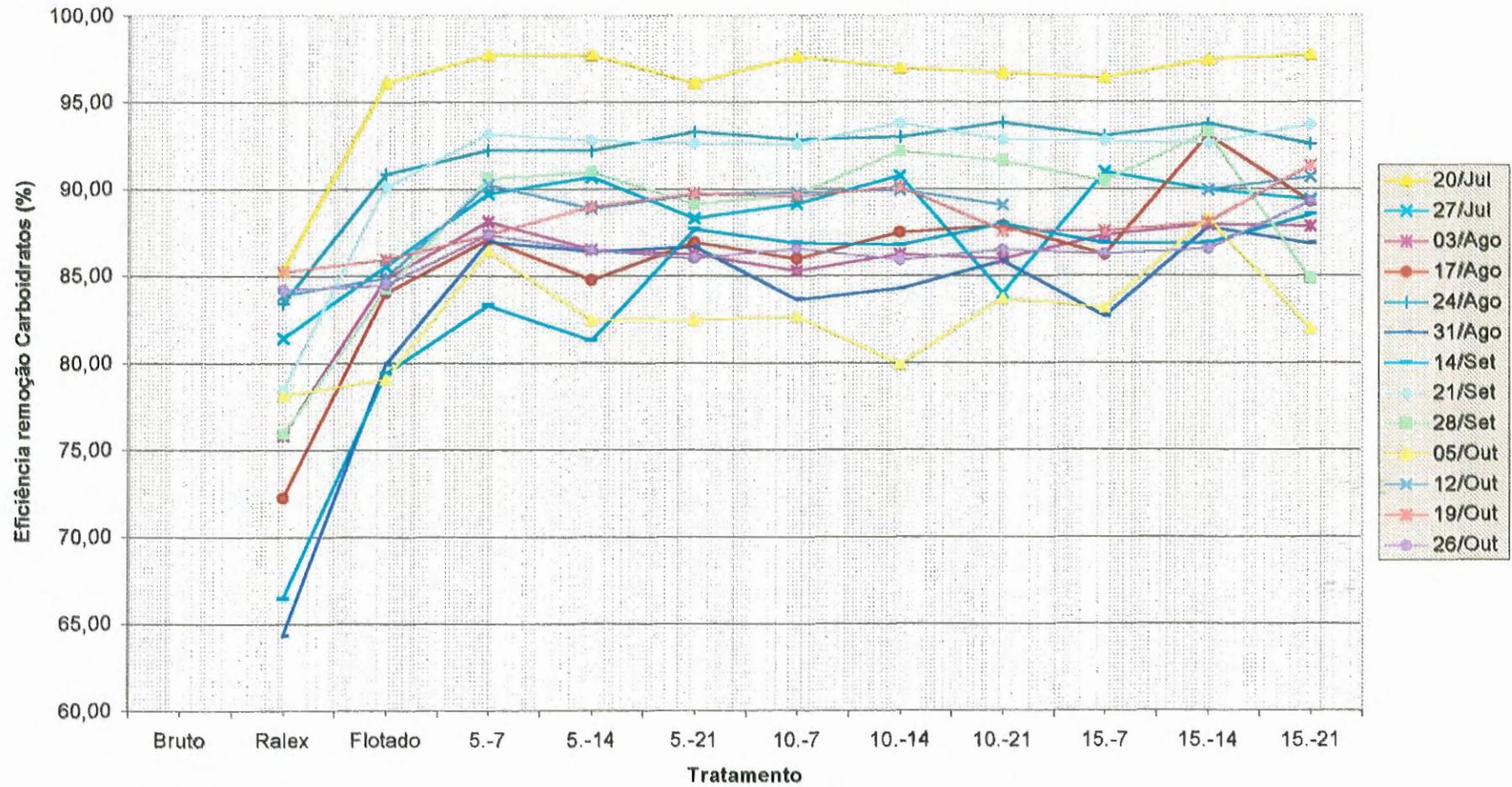
Eficiência remoção Proteínas x Tratamento



Carboidratos, eficiência total de remoção (%)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / l)								
					5 - 7	5 - 14	5 - 21	10 - 7	10 - 14	10 - 21	15 - 7	15 - 14	15 - 21
1*	06/Jul		70,60	71,24	79,66	80,00	74,83	69,33	75,17	74,83	78,20	74,72	74,38
2*	13/Jul		71,26	85,00	84,59	87,14	87,76	86,33	88,06	86,43	88,88	89,18	88,27
3	20/Jul		85,34	96,18	97,76	97,76	96,18	97,69	97,04	96,75	96,47	97,48	97,76
4	27/Jul		81,45	85,62	89,79	90,75	88,36	89,18	90,82	84,04	91,03	90,00	89,45
5	03/Ago		75,83	84,88	88,17	86,57	86,30	85,32	86,30	86,03	87,37	87,99	87,90
6	17/Ago		72,27	84,09	87,12	84,81	86,98	86,04	87,56	87,92	86,26	93,13	89,29
7	24/Ago		83,50	90,91	92,28	92,28	93,36	92,88	93,06	93,84	93,12	93,78	92,64
8	31/Ago		64,35	79,95	87,01	86,45	86,73	83,67	84,32	85,89	82,74	87,84	86,91
9	14/Set		66,46	79,42	83,35	81,34	87,74	86,92	86,83	88,02	86,92	86,92	88,57
10	21/Set		78,47	90,18	93,22	92,90	92,69	92,63	93,91	92,90	92,85	92,69	93,75
11	28/Set		75,95	84,25	90,65	91,06	89,23	89,74	92,28	91,67	90,55	93,29	84,86
12	05/Out		78,17	79,12	86,48	82,54	82,54	82,71	79,97	83,74	83,22	88,36	82,03
13	12/Out		83,94	84,96	90,33	88,94	89,76	89,84	90,00	89,11		90,00	90,73
14	19/Out		85,29	86,03	87,44	89,05	89,80	89,61	90,18	87,63	87,63	88,10	91,41
15	26/Out		84,25	84,54	87,43	86,53	86,07	86,62	85,98	86,53	86,35	86,62	89,33
Eficiência Média			78,10	85,39	89,31	88,54	88,90	88,68	89,10	88,77	88,71	90,48	89,59
					5,99	12,64	19,21	4,08	10,77	17,37	2,41	9,6	16,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)													

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

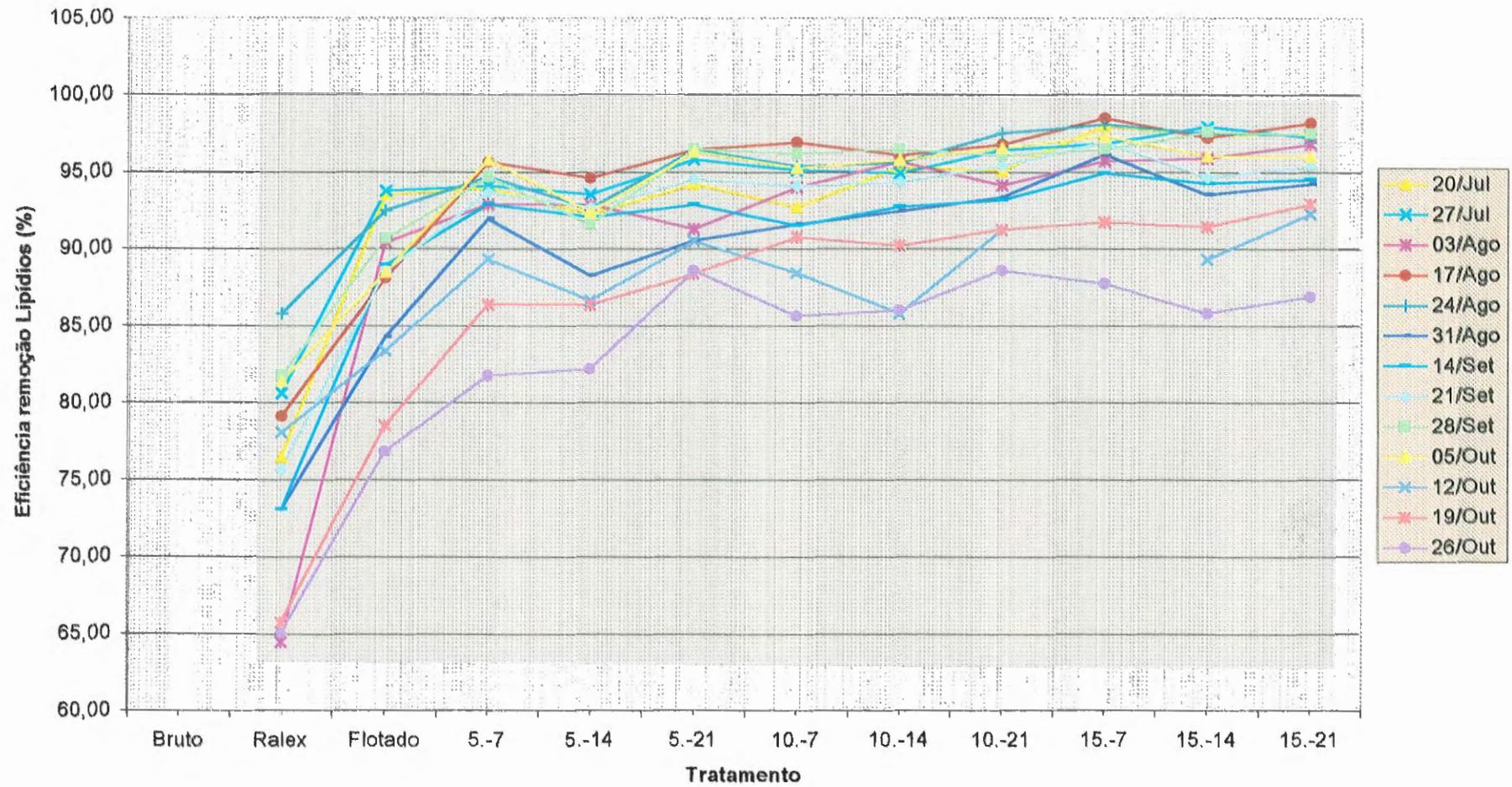
Eficiência remoção Carboidratos x Tratamento



Lípidios, eficiência total de remoção (%)													
Item	Data	Bruto	RALEx	Flotado	Tempo de contato (minutos) - Dosagem aplicada (mg O <sub>3</sub> / l)								
					5-7	5-14	5-21	10-7	10-14	10-21	15-7	15-14	15-21
1*	06/Jul		80,82	92,53	92,69	89,88	90,69	93,84	93,51	92,73	91,96	97,22	95,96
2*	13/Jul		77,92	92,71	96,11	96,11	95,91	94,81	94,65	92,79	94,98	97,73	99,11
3	20/Jul		76,50	93,55	93,99	92,31	94,25	92,79	95,39	95,13	98,06	97,40	97,58
4	27/Jul		80,64	93,83	94,14	93,60	95,87	95,14	94,96	96,46	96,91	97,98	97,32
5	03/Ago		64,51	90,47	92,94	92,94	91,35	94,00	95,73	94,18	96,76	95,94	96,82
6	17/Ago		79,17	88,16	95,68	94,67	96,48	96,96	96,13	96,80	98,56	97,28	98,24
7	24/Ago		85,86	92,56	94,72	92,69	96,48	95,40	95,67	97,56	98,11	97,56	97,43
8	31/Ago		73,11	84,33	91,99	88,34	90,60	91,64	92,51	93,38	96,17	93,56	94,26
9	14/Set		73,11	88,99	92,93	92,11	92,93	91,57	92,79	93,20	94,97	94,29	94,56
10	21/Set		75,71	88,57	93,71	92,71	94,57	94,14	94,43	95,43	97,00	94,71	95,43
11	28/Set		81,79	90,69	94,72	91,67	96,53	96,25	96,53	96,11	96,53	97,64	97,50
12	05/Out		81,45	88,52	95,83	92,43	96,35	95,30	95,83	96,61	97,39	96,09	96,09
13	12/Out		78,10	83,43	89,36	86,74	90,58	88,49	85,87	91,28		89,36	92,33
14	19/Out		65,80	78,59	86,45	86,45	88,46	90,80	90,30	91,30	91,80	91,47	92,97
15	28/Out		65,08	76,91	81,83	82,26	88,67	85,68	86,10	88,67	87,81	85,89	86,96
Eficiência Média			75,45	87,59	92,18	90,69	93,32	92,94	93,25	94,32	95,76	94,55	95,19
					5,99	12,84	19,21	4,06	10,77	17,57	2,41	9,5	15,23
Dosagem consumida (mg O <sub>3</sub> / l)													

\* foram desprezados nas análises dos resultados.

Eficiência remoção Lipídios x Tratamento



## Referências Bibliográficas

- ALBERT, J.; COGO, E.; COSTE, C.; MALMARY, G. & MOLINIER, J. (1998).** Effect of reaction medium on ozone mass transfer and applications to pulp bleaching. *Chemical Engineering Journal* 73, 23-28, p.1-6.
- ALBERT, J. et al (1998).** Effect of reaction medium on ozone mass transfer and applications to pulp bleaching. *Chemical Engineering Journal* 73, 23-28, p.1-6.
- AMBAR, M. & NETA, P. (1967).** A Compilation of Specific Bimolecular Rate Constant for the Reaction of Hydrated Electrons, Hydrogen Atoms, and Hydroxyl Radicals with Organic and Inorganic Compounds in Aqueous Solution. *Intl. Jour. Appl. Radiation & Isotopes*, 18:493.
- A.P.H.A. (1995)** - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association.
- BAILEY, P. S. (1972).** Ozone in water and wastewater treatment – Copyright 1972 by Ann Arbor Science Publishers, Inc. P. ° Box 1425, Ann Arbor, Michigan 48106 . Pag. 29-60.
- BILITZKY, L.; HORVÁTH. M.; HÜTTNER, J. (1985).** Ozone, Monograph 20. A Collection of Monographs Edited by R.J.H. Clark, Department of Chemistry, University College London, p. 233.
- BILITZKY, L. et al (1985).** Ozone, Monograph 20. A Collection of Monographs Edited by R.J.H. Clark, Department of Chemistry, University College London, p. 233.
- BLUNDI, C.E. (1988).** Aplicação de Métodos Alternativos para a Determinação de Matéria Orgânica e Biomassa em Águas Residuárias. São Carlos, 329 p. Tese Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

- BOLLYKY, L. J.; SILER, J. (1989)** – Removal of tributyl phosphate from aqueous solution by advanced ozone oxidation methods. In: THE NINTH OZONE WORLD CONGRESS. New York. Proceedings. New York, USA.
- BONNET, M. L. (1988)**. Contribution à L'Etude de la Valorisation des Déchets Lignocellulosiques. Thèse de L'Université de Pointers, France.
- CAMPOS, J.R.; REALI, M.A.P.; DOMBROSKI, S.A.G.; MARCHETTO, M. & LIMA, M.R.A. (1996)**. Tratamento Físico-Químico por Flotação de Efluentes de Reatores Anaeróbios. XXV Congresso Interamericano Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México.
- CHERNICHARO, C.A.L. (1997)**. Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Volume 5, Reatores Anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, Universidade Federal de Minas Gerais.
- DI MATTEO, M. L. (1992)**. Influência da Pré – ozonização na Coagulação – Flocculação Utilizando Cloreto Férrico como Coagulante. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas. 249 p.
- DI BERNARDO, L. (1993)**. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Vol. II. Rio de Janeiro , ABES, 503 p.
- DORE, M.; NOMPEX, Ph.& et al (1989)**. Ozonation of Molecules Constituting Cellular Matter. Proceedings of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York .
- DUGUET, J. P. et al (1982)**. Etude Experimentelée de L'Action de L'Ozone sur les Acides Aminés. Cebedeau, 35:71.
- EDZWALD, J.K.; WALSH, J.P.; KAMINSKY, G.S. & DUNN, H.J. (1992)**. Flocculation and Air Requeriments for Dissolved Air Flotation. Research and Technology. Journal AWWA, 84(3), p. 92-100, março.
- ESPUGLAS, S. MOKRINI, A. & OUSSE, D.(1997)**. Oxidation of Aromatic Copounds with UV Radiation/Ozone/Hydrogen Peroxide. Water Science Technology, Vol. 33, n. 4, pp. 95-102.

- ESPUGLAS, S. et al (1997).** Oxidation of Aromatic Copounds with UV Radiation/Ozone/Hydrogen Peroxide. *Water Science Technology*, Vol. 33, n. 4, pp. 95-102.
- FROESE, K. L.; HRUDEY, S. E.; WOLANKI, A. (1999).** Factors Governing Odorous Aldehyde formation as Disinfection By-Products in Drinking Water. *Water Research*, V.33, n. 6 p 1355-1364, April.
- FROESE, K. L. et al (1999).** Factors Governing Odorous Aldehyde formation as Disinfection By-Products in Drinking Water. *Water Research*, V.33, n. 6 p 1355-1364, April.
- GLAZE, W. H. (1986).** Reaction Products of Ozone: A review. *Environ. Health Perspective*, 69, 151.
- GLAZE, W. H. (1987) – Drinking – Water Treatment with Ozone.** *Enviromental Science Technology*, Vol. 21(23), Pag.224-230.
- GORDON, G. RAKNESS, K. VORNEHM, D. & WOOD, D. (1989).** Limitation of the Iodometric Determination of Ozone. *Journal AWWA. Research and Technology* p.72-76.
- GORDON, G. et al (1989).** Limitation of the Iodometric Determination of Ozone. *Journal AWWA. Research and Technology* p.72-76.
- GUROL, D. MIRAT (1985) – Factors Controlling the Removal of Organic Pollutants in Ozone Reactors.** *Research & Technology . Journal AWWA.* Pag. 55-60.
- GUITTONNEAU, S. et al. (1992).** Characterization of Natural Water and Potential to Oxidize Organic Pollutants with Ozone. *Ozone Sci. Eng.*,14,185.
- HANN, V.A., and MANLEY, T.C. (1952)** Ozone. In *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol. 9, John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y., 735.
- HAWK, P.B. et al. (1951).** *Practical Physiological Chemistry*. Ed. N.Y. The Blakiston Company, 1322p.
- HOIGNÉ & STAEHELIN (1985).** Decomposition of Ozone in the Presence of Organic Solutes Acting as Promoters and Inhibitors of Radical Chain Reactors. *Enviromental Science Technology*, Vol. 19, No. 12, 1985. Pag. 1206-1213.

- HOIGNÉ, J. & BADER, H (1983).** Rate Constants of Reaction of Ozone with Organic and Inorganic Compounds in Water. *Water Research*, v. 17 (9), p. 173-183, sep.
- HUCK, P.M. et. al. (1992).** Biodegradation of Aquatic Organic Matter with Reference to Drinking Water Treatment. *Sci. Total. Environ.*, 118,531.
- JORDÃO, E.P. & PESSOA, C. A. (1995).** Tratamento de Esgotos Domésticos. 3ª ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES.
- KINMAN. RILEY N. (1972).** Ozone in water and wastewater treatment – Copyright 1972 by Ann Arbor Science Publishers, Inc. P. ° Box 1425, Ann Arbor, Michigan 48106 . Pag. 123-144.
- KITCHENER, J.A. (1984).** “The Forth Flotation Process: past, present and future. In. NATO ADVANCED INSTITUTE ON THE SCIENTIFIC BASIS OF FLOTATION, Cambridge, England, July 5-16, 1982. Proceedings. Ed. by K.J.IVES. The Hague, Martinus Nilhoff, 1984, p.3-51.
- LAPLANCHE, A. et al (1982).** Approche des Schémas d’Ozonation de Molécules Organiques. Etude Particulière des Composés Organophosphorés. PhD Thèse, Université de Rennes, france.
- LANGLAIS, B. et. al. (1989).** Improvement of a Biological Treatment by Prior Ozonation. *Ozone. Sci. Eng.* ,11,155.
- LANGLAIS, B. ; RECKHOW, D. A. et al (1991).** Onone in Water Treatment – application and engineering . AWWA Research Foundation . Compagnie Générale des Eux. Lewis Publishers, Inc. 551 p.
- LEGUBE, B. et al (1985).** Identification of Few Organics and Attempted Quantification upon Disinfection with Ozone of a Biologically treated Wastewater. *Proc. Intl. Conf. The Role of Ozone in the Water and Wastewater treatment.* Ed. by R. Perry and R.E. McIntyre Selper Ltd. London.
- LEHNINGER, A.L. (1982).** Principles of Biochemistry. N.Y., Worth Publishers, Inc. 1011 p.

- MAGGIOLO, A. (1978).** Ozone's Radical and Ionic Mechanisms of Reaction with Organic Compounds in Water. In. Ozone/Chlorine Dioxide Oxidation Products of Organic Materials . R.G. Rice and J.<sup>a</sup> Cotruvo (Eds.), Ozone Press Int., Cleveland, Ohio, 59.
- MANZOLLI, I. M. (1992).** Emprego de Métodos Analíticos Alternativos no Estudo da Degradação Aeróbia de um Substrato Multicomposto. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 146 p. (Dissertação de mestrado).
- MARCHIORETTO, M. M. (1999).** Ozonização seguida de Coagulação/Floculação e Flotação como Pós-tratamento do Efluente do Reator Anaeróbio com Chicanas Tratando Esgoto Sanitário. Dissertação (mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- MENDONÇA, N. M. (1999).** Caracterização do Material Suporte e Estudo da Partida de um Reator Anaeróbio de Leito Expandido Utilizado no Tratamento de Esgoto Sanitário. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- METCALF & EDDY (1991)** . Wastewater Engineering : treatment, disposal, reuse. 3<sup>o</sup> edição, editora McGraw-Hill, Civil Engineering Series.
- MOSEY, F.E. (1983).** Mathematical Modeling of the Anaerobic Process: regulatory mechanisms for the formation of short-chain volatile acids from glucose. Wat. Sci. Tech. 15, pp209-232.
- MUDD, J. R. et al (1969).** Reaction of Ozone with Amino Acids and Proteins. Atmos. Envir., 3:669.
- NARKIS, N. et al (1977).** Ozone Effect on Nitrogenous Matter in Effluents. Jour. Envir. Engrg. Div., ASCE, 10.
- NEBEL, C. (1981).** Ozone. In: KIRK, R. E. & OTHMER, D. F. ed. Encyclopedia of Chemical Technology. 3<sup>o</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y., p.683-713.

- OZONE (1972).** Ozone in Water and Wastewater Treatment. Copyright 1972 by Ann Arbor Science Publishers, Inc. P. ° Box 1425, Ann Arbor, Michigan 48106 . Pag.1-181.
- PATRIZZI, L. J. (1998).** Redução do Volume de Lodo Gerado em Decantadores de Estações de Tratamento de Água Tradicionais Utilizando Espeçamento por Flotação e por Gravidade seguido de Centrifugação. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- PENETRA, R. G. (1998).** Pós-Tratamento Físico-Químico por Flotação de Efluentes de Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB). Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 140 p.
- POSTMA, T. & STROES, J.A.P. (1968).** Lipid Screening in Clinical Chemistry. Clin. Chim. Acta. 22, 569-578.
- REALI, M.A.P. (1991).** Concepção e Avaliação de um Sistema Compacto para Tratamento de Águas de Abastecimento Utilizando o Processo de Flotação por Ar Dissolvido e Filtração com Taxa Declinante. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- REALI, M.A.P. & CAMPOS, J.R. (1992).** Projeto de Câmaras de Saturação de Sistemas de Flotação por Ar Dissolvido com Recheios de Anéis de PVC. XVII Congresso Interamericano de Engenharia Ambiental e Sanitária, La Habana, Cuba. 22-28 de Novembro de 1992. Anais, Habana-Cuba, Vol. II, parte 1, p. 283-296.
- RENAUD, L. C. C. et al (1984).** Action Comparée du Chlore et de L'Ozone sur des Acides Aminés en Solution. Symp. Ozone & Biologie, Rennes, France.
- RICE, R. G. & NETZER, A. (1982).** Handbook of Ozone Technology and Application . Boston, Butterworth Publishers. P. 134-213.
- RUSSEL, J.B.** Química Geral. São Paulo, McGraw-Hill, 897 p.

- SHERGOLD, H.L. (1984).** "Flotation on Mineral Processing". In: NATO ADVANCED INSTITUTE ON THE SCIENTIFIC BATION, Cambridge, England, July 5-16, 1982. Proceedings. Ed. by K.J. IVES. The Hague, Martinus Nijhoff, 1984, p.229-87.
- SCHULHOF, P. & SMITH, P.D. (1989).** Generation of Ozone. In International Ozone Symposium. Rio de Janeiro, 1988. Proceedings Brazil.
- SOMICH, C.J. et. al. (1990).** On-Site Treatment of Pesticide Waste and Rinsate Using Ozone and Biologically Active Soil. Environ. Sci. Technol., 24, 745.
- STAEHELIN, J. & HOIGNÉ, J. (1982).** Decomposition of ozone in water: rate of initiation by hidroxide ions and hydrogen peroxide. Science Technology, v. 16 (10), p. 676-681, Oct.
- STICKLAND, L.H. (1951).** The Determination of Small Quatities of Bacteria by Means of Biuret Reaction. J. Gen. Microbiol. 5, 698-703.
- STRYER, L. (1979).** Bioquímica. Barcelona, Editorial Reverté S.A. 875p.
- TRUSSELL, R.R. (1992).** Oxidation By-Products Complicate Disinfectant Choices. Waterword News, 8,14.
- VILLELA et al (1966).** Bioquímica. 2ª ed., Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan, S.A., 842 p.
- WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1996).** Wastewater Disinfection. Manual of Practice FD – 10. USA. 299 p.
- WHITE, A. et al. (1964).** Principles of Biochemistry. 3ª ed., N.Y., McGraw-Hill Book Company, 1106 p.
- WHITE, E. H. (1972).** Fundamentos de Química para as Ciências Biológicas. Tradução: MARR, J.H. ; São Paulo , Edgar Blücher, Ed. Universidade de São Paulo, 1972.
- YEMM, E. W. & COOKING. (1954).** Determination of Amino-acids with Ninhydrin. The Analysty , 80, 209-213.
- YAMADA, H. & SOMIYA, I. (1980).** Indentification of Products Resulting from Ozonation of Organic Compounds in the Water. Ozone Science and Engineering. 2:251.

- ZABEL, T. (1984).** Flotation in Water Treatment. In : IVES, K.J. ed. The Scientific Basis of Fotation. Proceedings of the NATO Advenced Science Institute on the Scientific Basis of Flotation, Cambridge, England, Jul, Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, p. 349-77.
- ZABEL,T. (1985).** The Advantages of Dissolvid Air Flotation for Water Treatment, Journal AWWA – Management and Operations, p.42-46, May.