



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
Área de Concentração: Infraestrutura e Meio Ambiente**

**Thaís Luciana Betto**

**O efeito da concentração inicial de Demanda Química de Oxigênio (DQO), teor de biomassa e aeração na remoção de DQO, nitrogênio e fósforo de efluentes de indústria de vegetais congelados por Reator em Batelada Sequencial (RBS)**

**Passo Fundo**

2009

**Thaís Luciana Betto**

**O efeito da concentração inicial de Demanda Química de Oxigênio (DQO), teor de biomassa e aeração na remoção de DQO, nitrogênio e fósforo de efluentes de indústria de vegetais congelados por Reator em Batelada Sequencial (RBS)**

Orientador: Professor Marcelo Hemkemeier, Doutor.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente

Passo Fundo

2009

**Thaís Luciana Betto**

**O efeito da concentração inicial de Demanda Química de Oxigênio (DQO), teor de biomassa e aeração na remoção de DQO, nitrogênio e fósforo de efluentes de indústria de vegetais congelados por Reator em Batelada Sequencial (RBS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente

Data de aprovação: Passo Fundo, 22 de dezembro de 2009.

Os membros componentes da Banca Examinadora abaixo aprovam a Dissertação.

Marcelo Hemkemeier, Doutor.  
Orientador

Oswaldo Luis Vieira Faria, Doutor.  
Universidade Católica de Pelotas

Paulo Roberto Koetz, Doutor.  
Universidade de Passo Fundo

Vandré Barbosa Brião, Doutor  
Universidade de Passo Fundo

Passo Fundo  
2009

## Resumo

Os efluentes gerados por indústrias alimentícias são caracterizados por conter alta DQO além de grandes quantidades de nutrientes, causando impacto negativo quando lançados em corpos hídricos sem o devido tratamento. O Reator em Batelada Sequencial (RBS) é um sistema de lodo ativado para tratamento de efluentes, no qual o efluente é adicionado ao reator, tratado para remover componentes indesejáveis, e então descarregado. A utilização do RBS para tratamento de efluentes tem sido objeto de estudo em todo o mundo. O principal objetivo deste trabalho foi estudar o tratamento biológico de efluente de indústria de vegetais congelados em um reator de lodo ativado em batelada sequencial (RBS), verificando seu desempenho quanto à remoção biológica de carbono e nutrientes (nitrogênio e fósforo), a fim de obter um efluente tratado com qualidade que atenda aos padrões de lançamento recomendados pela legislação ambiental brasileira. Nesta pesquisa, o tratamento dos efluentes de indústria de vegetais congelados foi feito em um RBS em escala laboratorial, utilizando teor de biomassa variando entre  $2000 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $4000 \text{ mg.L}^{-1}$ , DQO inicial ( $\text{DQO}_i$ ) variando entre  $300 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $600 \text{ mg.L}^{-1}$ , e quantidade de aeração variando entre  $3 \text{ L.min}^{-1}$  e  $6 \text{ L.min}^{-1}$ . Os resultados mostram que as maiores eficiências de remoção para DQO foram alcançadas nos experimentos 3, que utilizou teor de biomassa de  $2000 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $\text{DQO}_i$  de  $600 \text{ mg.L}^{-1}$  e quantidade de aeração de  $3 \text{ L. min}^{-1}$ , e 8, que utilizou teor de biomassa de  $4000 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $\text{DQO}_i$  de  $600 \text{ mg.L}^{-1}$  e quantidade de aeração de  $6 \text{ L. min}^{-1}$ , com remoção de 88%. Para NAT, a maior eficiência de remoção foi alcançada no experimento 14, que é um dos pontos axiais, com teor de biomassa de  $3000 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $\text{DQO}_i$  de  $700 \text{ mg.L}^{-1}$  e quantidade de aeração de  $4,5 \text{ L. min}^{-1}$ , com remoção de 74,9%. Para o fósforo não foi observada remoção em nenhum dos experimentos realizados. As condições otimizadas para remoção de DQO e NAT de efluente de indústria de vegetais congelados são: DQO inicial de  $600 \text{ mg.L}^{-1}$ , aeração de  $4,5 \text{ L.min}^{-1}$  e teor de biomassa de  $2000 \text{ mg.L}^{-1}$ . O RBS apresentou facilidade na operação e controle, sendo uma importante alternativa para remoção de carbono e nutrientes de efluentes de agroindústrias.

**Palavras-chave:** efluentes, RBS, vegetais congelados

## ***Abstract***

*The wastewater generated by food industries contains high COD levels, besides large amounts of nutrients, causing a negative impact when released into the water without proper treatment. The use of alternative technologies, such as Sequential Batch Reactor (SBR) for the wastewater treatment has been studied around the world. The objective of this work was to study the biological treatment of frozen vegetables industry wastewater in a SBR, verifying its performance on the biological removal of carbon and nutrients (nitrogen and phosphorus) in order to obtain a treated wastewater that attends the discharging standards recommended by the Brazilian environmental legislation. In this study, the treatment of frozen vegetables industry wastewater was done in a SBR laboratorial scale, using biomass level ranging from 2000 mg.L<sup>-1</sup> to 4000 mg.L<sup>-1</sup>, COD<sub>i</sub> ranging from 300 mg.L<sup>-1</sup> to 600 mg.L<sup>-1</sup> and air flow (aeration) ranging from 3 L.min<sup>-1</sup> to 6 L.min<sup>-1</sup>. The results show that the removal efficiency for COD has been achieved in the experiment 3, with removal levels of 88%. For TAN, the best removal levels has been achieved in the experiment 14 with removal levels of 74,9 %. The optimized conditions to the COD and TAN removal of frozen vegetables industry wastewater is: Initial COD of 600 mg.L<sup>-1</sup>, aeration of 4,5 L.min<sup>-1</sup> and biomass level of 2000 mg.L<sup>-1</sup>. The SBR showed to be easy to in the operation and control, being an important alternative for agroindustry wastewater carbon and nutrients removal.*

**Keywords:** *wastewaters, SBR, frozen vegetables*

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fluxograma processamento de brócolis e couve-flor com geração de efluentes em cada etapa .....	17
<b>Figura 2:</b> Fluxograma processamento de cenoura com geração de efluentes em cada etapa .....	18
<b>Figura 3:</b> Princípio de um ciclo no reator em batelada sequencial .....	23
<b>Figura 4:</b> Esquema de montagem do reator RBS .....	35
<b>Figura 5:</b> Fluxograma de operação do RBS .....	38
<b>Figura 6:</b> (a) RBS na etapa de reação; (b) RBS na etapa de sedimentação; (c) RBS na etapa de descarga .....	39
<b>Figura 7:</b> Fluxograma da ETE .....	44
<b>Figura 8:</b> Equipamentos ETE (a) peneira, (b) equalizador, (c) tanque de correção e floculador, (d) decantador primário, (e) adensador de lodo, (f) leitos de secagem, (g) lodo ativado, (h) decantador secundário e (i) lagoa aerada, (j) descarga lagoa aeróbica .....	45
<b>Figura 9:</b> Gráfico das médias para remoção de DQO, utilizando as variáveis: (a) DQO inicial, (b) Teor de biomassa e (c) Interação entre DQO inicial e aeração.....	54
<b>Figura 10:</b> Superfície de resposta para remoção de DQO, utilizando as variáveis: (a) aeração e DQO inicial, (b) DQO inicial e teor de biomassa e (c) teor de biomassa e aeração .....	55
<b>Figura 11:</b> Superfície de resposta para remoção de NAT, utilizando as variáveis: (a) aeração e DQO inicial, (b) DQO inicial e teor de biomassa e (c) aeração e teor de biomassa .....	57
<b>Figura 12:</b> Curva Padrão de SST do lodo utilizado no reator .....	66

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b> Efluente de brócolis minimamente processado .....	19
<b>TABELA 2:</b> Efluente de tomate minimamente processado .....	19
<b>TABELA 3:</b> Limites estabelecidos para Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio e Sólidos Suspensos, de acordo com a vazão do efluente.....	21
<b>TABELA 4:</b> Limites estabelecidos para Nitrogênio Total Kjeldahl e Fósforo, de acordo com a vazão do efluente.....	21
<b>TABELA 5:</b> Matriz dos valores codificados e níveis das variáveis utilizadas no planejamento fatorial $2^3$ .....	36
<b>TABELA 6:</b> Caracterização do efluente do processamento de brócolis em 19/09/08 .....	46
<b>TABELA 7:</b> Caracterização do efluente do processamento de brócolis em 17/10/08 .....	47
<b>TABELA 8:</b> Caracterização do efluente do processamento de cenoura em 27/11/08 .....	47
<b>TABELA 9:</b> Caracterização do efluente do processamento de ervilha/brócolis em 16/12/08 .....	48
<b>TABELA 10:</b> Caracterização do efluente do processamento de vagem/brócolis em 15/01/09 .....	48
<b>TABELA 11:</b> Caracterização do efluente do processamento de couve-flor em 04/06/09 .....	49
<b>TABELA 12:</b> Eficiência de remoção de DQO para diversos tipos de efluentes da indústria de vegetais congelados.....	50
<b>TABELA 13:</b> Concentração média de DQO após seis horas de reação e eficiência de remoção do RBS para DQO em cada experimento .....	51
<b>TABELA 14:</b> Concentração média de NAT após seis horas de reação e eficiência de remoção do RBS para NAT em cada experimento .....	52
<b>TABELA 15:</b> ANOVA para remoção de DQO, sendo L = linear e Q = quadrático .....	53
<b>TABELA 16:</b> ANOVA para remoção de NAT, sendo L = linear e Q = quadrático .....	56
<b>TABELA 17:</b> Análise de Sólidos Suspensos Totais do lodo utilizado no RBS .....	66
<b>TABELA 18:</b> Leitura do lodo em espectrofotômetro a 600 nm .....	66
<b>TABELA 19:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min <sup>-1</sup> .....	67
<b>TABELA 20:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min <sup>-1</sup> .....	67
<b>TABELA 21:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min <sup>-1</sup> .....	67
<b>TABELA 22:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min <sup>-1</sup> .....	68
<b>TABELA 23:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min <sup>-1</sup> .....	68

<b>TABELA 24:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min <sup>-1</sup> .....	68
<b>TABELA 25:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min <sup>-1</sup> .....	68
<b>TABELA 26:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min <sup>-1</sup> .....	69
<b>TABELA 27:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min <sup>-1</sup> .....	69
<b>TABELA 28:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min <sup>-1</sup> .....	69
<b>TABELA 29:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min <sup>-1</sup> .....	69
<b>TABELA 30:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min <sup>-1</sup> .....	70
<b>TABELA 31:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 450 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min <sup>-1</sup> .....	70
<b>TABELA 32:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 450 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min <sup>-1</sup> .....	70
<b>TABELA 33:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 450 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min <sup>-1</sup> .....	70
<b>TABELA 34:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min <sup>-1</sup> .....	71
<b>TABELA 35:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min <sup>-1</sup> .....	71
<b>TABELA 36:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min <sup>-1</sup> .....	71
<b>TABELA 37:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min <sup>-1</sup> .....	71
<b>TABELA 38:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min <sup>-1</sup> .....	72
<b>TABELA 39:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min <sup>-1</sup> .....	72
<b>TABELA 40:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min <sup>-1</sup> .....	72
<b>TABELA 41:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min <sup>-1</sup> .....	72

<b>TABELA 42:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min <sup>-1</sup> .....	73
<b>TABELA 43:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min <sup>-1</sup> .....	73
<b>TABELA 44:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 300 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min <sup>-1</sup> .....	73
<b>TABELA 45:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 600 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min <sup>-1</sup> .....	73
<b>TABELA 46:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4700 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 450 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min <sup>-1</sup> .....	74
<b>TABELA 47:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 200 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min <sup>-1</sup> .....	74
<b>TABELA 48:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 450 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 7,0 L.min <sup>-1</sup> .....	74
<b>TABELA 49:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 450 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 2,0 L.min <sup>-1</sup> .....	74
<b>TABELA 50:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 700 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min <sup>-1</sup> .....	75
<b>TABELA 51:</b> Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 1300 mg.L <sup>-1</sup> , DQO inicial = 450 mg.L <sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min <sup>-1</sup> .....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

**CONAMA:** Conselho Nacional do Meio Ambiente

**CONSEMA:** Conselho Estadual do Meio Ambiente

**COT:** Carbono Orgânico Total

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxigênio

**DQO:** Demanda Química de Oxigênio

**EPA:** Environmental Protection Agency

**ETE:** Estação de Tratamento de Efluentes

**IVL:** Índice Volumétrico de Lodo

**NAT:** Nitrogênio Amoniacal Total

**NTK:** Nitrogênio Total Kjeldahl

**OD:** Oxigênio Dissolvido

**pH:** Potencial Hidrogeniônico

**PT:** Fósforo Total

**RBS:** Reator em Batelada Sequencial

**SSed:** Sólidos Sedimentáveis

**SST:** Sólidos Suspensos Totais

**SSV:** Sólidos Suspensos Voláteis

**T:** Temperatura

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
2.1 PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DE EFLUENTES .....	16
2.2 EFLUENTES GERADOS POR INDÚSTRIAS DE VEGETAIS CONGELADOS .....	17
2.3 NECESSIDADE DE REMOÇÃO DE NUTRIENTES DE EFLUENTE E SUA INSERÇÃO NA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA .....	20
2.4 REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL (RBS) .....	22
2.5 REMOÇÃO BIOLÓGICA DA MATÉRIA CARBONÁCEA.....	25
2.6 REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO .....	26
2.6.1 <i>Nitrificação</i> .....	26
2.6.2 <i>Desnitrificação</i> .....	27
2.7 REMOÇÃO BIOLÓGICA DO FÓSFORO (BIODESFOSFATAÇÃO).....	27
2.8 APLICAÇÃO DO RBS NA REMOÇÃO DE POLUENTES .....	28
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
3.1 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	34
3.2 VISITA A INDÚSTRIA .....	34
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES COLETADOS.....	35
3.4 TRATAMENTO BIOLÓGICO DOS EFLUENTES EM REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL (RBS).....	35
3.4.1 <i>Reator em Batelada Sequencial</i> .....	35
3.4.2 <i>Variáveis do RBS</i> .....	36
3.4.3 <i>Inoculação dos reatores</i> .....	37
3.4.4 <i>Preparação do efluente e ajuste do lodo</i> .....	37
3.4.5 <i>Operação do RBS</i> .....	38
3.5 OBTENÇÃO DA EFICIÊNCIA DO RBS NA REMOÇÃO DE DQO, NAT E PT .....	41
3.6 ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO (IVL).....	41
3.7 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS.....	42
3.7.1 <i>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</i> .....	42
3.7.2 <i>Nitrogênio Amoniacal Total (NAT)</i> .....	42
3.7.3 <i>Fósforo (PT)</i> .....	42
3.7.4 <i>Sólidos Suspensos (SST)</i> .....	42
3.7.5 <i>Sólidos Voláteis (SSV)</i> .....	43
3.7.6 <i>Sólidos Sedimentáveis (SSed)</i> .....	43
3.7.7 <i>pH</i> .....	43
3.7.8 <i>Temperatura (T)</i> .....	43
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
4.1 PROCESSOS PRODUTIVOS DA INDÚSTRIA DE VEGETAIS CONGELADOS .....	44
4.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES (ETE) .....	44
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE EM FUNÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO NA ETE ..	47
4.4 EXPERIMENTOS COM RBS .....	51
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS OBTIDOS .....	54
4.5.1 <i>Remoção de DQO</i> .....	54
4.5.2 <i>Remoção de NAT</i> .....	57
4.6 OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO RBS .....	59

<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>61</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O homem tem desenvolvido e aperfeiçoado, desde o século XIX, várias técnicas e atividades industriais, visando produzir mais em quantidade e em qualidade. Dessa produção resultam efluentes que, muitas vezes, são lançados inadvertidamente nos corpos receptores sem tratamento prévio, impactando o ecossistema. Isto acarreta diversos prejuízos econômicos e ambientais.

Os efluentes gerados pelas indústrias de alimentos contêm alta Demanda Química de Oxigênio (DQO) além de grandes quantidades de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. O nitrogênio (em todas as formas) e os fosfatos, provenientes de sistemas de águas residuárias industriais, tornam-se nutrientes disponíveis para plantas aquáticas quando descartados em corpos de água, sendo os principais responsáveis pela eutrofização de lagos e represas. A eutrofização pode causar efeitos indesejáveis como a mortandade de peixes, além de problemas estéticos e recreacionais, como florações das águas, maus odores e distúrbios com mosquitos, tornando necessária a remoção dos nutrientes causadores deste problema.

As indústrias de vegetais congelados produzem uma grande variedade de vegetais, o que gera efluentes com uma grande variabilidade, dificultando o seu tratamento. Além disso, a falta de dados específicos sobre este tipo de efluente dificulta ainda mais o tratamento.

Na industrialização de frutas e verduras, os despejos variam amplamente podendo ser ácidos ou alcalinos. Estes efluentes provêm de diferentes processos de produção, além de limpeza dos equipamentos. “Deste modo, torna-se importante testar diferentes sistemas de tratamento e combinação de processos físicos, físico-químicos e biológicos.”

O tratamento de águas residuárias em reator em batelada sequencial tem despertado interesse recentemente, devido à: pequenas áreas ocupadas pelas unidades de tratamento, em relação às lagoas de estabilização, redução de custos de implantação em relação aos processos contínuos e possibilidade de remoção conjunta de matéria carbonácea e dos nutrientes fósforo e nitrogênio, este nas suas várias formas, em um único ciclo de operação. Ainda, pode-se citar

como vantagens a flexibilidade do RBS no tratamento de fluxos variáveis, mínima interação do operador requerida, opção por condições anóxicas ou anaeróbicas no mesmo tanque, bom contato de oxigênio com microrganismos e substrato, e boa eficiência de remoção.

A utilização de reatores em batelada sequencial (RBS) é uma das possíveis alternativas tecnológicas capazes de proporcionar as variações das condições ambientais necessárias para a ocorrência dos processos de nitrificação/desnitrificação e biodesfosfatação.

O objetivo deste trabalho foi estudar o tratamento biológico de efluente de indústria de vegetais congelados em um reator de lodo ativado em batelada sequencial (RBS), verificando seu desempenho quanto à remoção biológica de carbono e nutrientes (nitrogênio e fósforo), a fim de obter um efluente tratado com qualidade que atenda aos padrões de lançamento recomendados pela legislação ambiental brasileira.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Parâmetros de monitoramento de efluentes**

Os principais parâmetros de monitoramento dos efluentes são Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio, fósforo, sólidos em suspensão, sólidos sedimentáveis e pH.

A DQO é um dos testes utilizados para medir o conteúdo de matéria orgânica de águas residuárias e águas naturais. O oxigênio equivalente da matéria orgânica que pode ser oxidado é medido usando-se o agente oxidante em meio ácido (dicromato de potássio). (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

As formas como o nitrogênio se apresenta podem fornecer informações sobre o estágio de poluição. (VON SPERLING, 2005). Segundo Braile e Cavalcanti (1993) apud Hartmann (2008), a presença de nitrogênio é essencial para o desenvolvimento e proliferação do meio biológico em estações de tratamento. Da mesma forma, o fósforo é um nutriente necessário para o crescimento de microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. (VON SPERLING, 2005).

De acordo com Braile e Cavalcanti (1993), sólidos em suspensão são os sólidos que podem ser retidos pela passagem em filtros. São removidos parcialmente em decantadores ou em instalações de precipitação química, formando o lodo.

Sólidos sedimentáveis são definidos por Braile e Cavalcanti (1993), como o volume de sólidos de um despejo que se deposita no fundo de um cone de Inhoff, após um tempo determinado de repouso do líquido.

O potencial hidrogeniônico (pH) representa as condições alcalinas ou ácidas de um despejo, sendo de importância vital no controle de todos os tipos de tratamento de águas residuárias. (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

## 2.2 Efluentes gerados por indústrias de vegetais congelados

A indústria de alimentos é um dos maiores setores industriais do mundo, e pode causar grave poluição orgânica se projetada ou operada sem dar atenção suficiente ao meio ambiente. Entre os problemas ambientais do setor de alimentos estão o alto consumo de água e a geração de efluentes líquidos com alta carga orgânica, além da geração de um grande volume de lodo nas estações com tratamento biológico. (RAMJEAWON, 2000). A indústria de vegetais congelados é um exemplo desse setor, onde as diversas operações realizadas geram um grande volume de efluente com uma elevada carga orgânica.

Segundo Kreutz (2006) o processo de vegetais congelados é composto pelas seguintes etapas:

- (a) recepção da matéria-prima e preparo preliminar;
- (b) lavagem;
- (c) seleção e classificação;
- (d) operações complementares do preparo da matéria-prima (corte);
- (e) branqueamento;
- (f) resfriamento;
- (g) congelamento;
- (h) embalagem;
- (i) armazenamento congelado (estocagem)
- (j) comercialização.

As indústrias de vegetais congelados produzem diversos tipos de vegetais, como brócolis, couve-flor, cenoura, ervilha e batata. Entre estes, o de maior proporção é o brócolis. As Figuras 1 e 2 mostram fluxogramas de produção de brócolis e couve-flor e cenoura, respectivamente (GIL et al., 2009), contendo a geração de efluentes em cada uma das etapas do processamento desses vegetais.

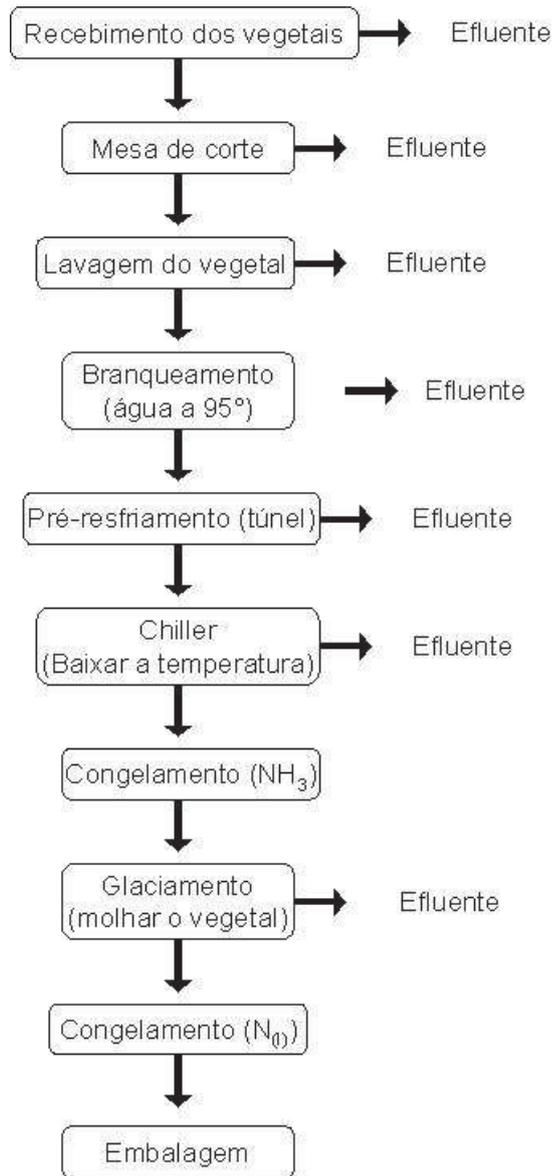


Figura 1: Fluxograma processamento de brócolis e couve-flor com geração de efluentes em cada etapa  
 FONTE: Adaptado de GIL et al., 2009

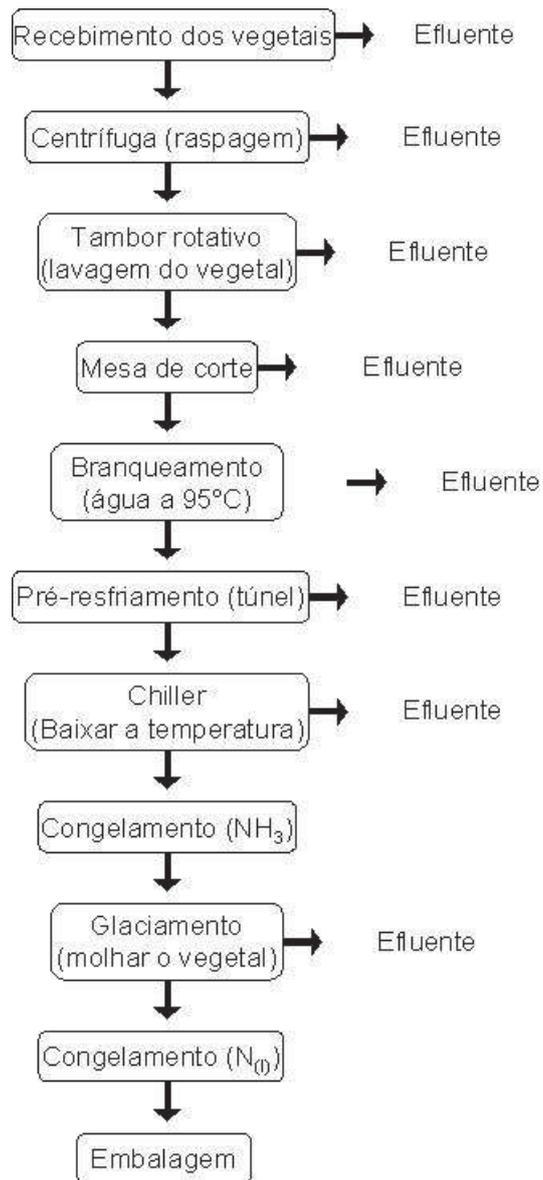


Figura 2: Fluxograma processamento de cenoura com geração de efluentes em cada etapa

FONTE: Adaptado de GIL et al., 2009

As Tabelas 1 e 2 mostram a caracterização de efluentes brutos de brócolis e tomate de uma indústria de vegetais minimamente processados, apresentando os valores mínimos, máximos, média, desvio padrão e coeficiente de variação dos efluentes analisados. (HARTMANN, 2008).

TABELA 1: Efluente de brócolis minimamente processado

<b>Parâmetro</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	2667	9541	6105	4870	80
Sólidos Suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	7	98	53	64	122
Sólidos Sedimentáveis (mL)	1	38	19,5	26,16	134,15
Nitrogênio (mg)	10,08	75,6	42,84	46,32	108,12
Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	1,37	4,68	3,02	2,34	77,48
pH	4,62	5,05	4,83	0,30	6,21

Fonte: HARTMANN, 2008

TABELA 2: Efluente de tomate minimamente processado

<b>Parâmetro</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	642	3950	2296	2339	102
Sólidos Suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	4	28	16	17	106
Sólidos Sedimentáveis (mL)	50	61	56	8	14
Nitrogênio (mg)	26,32	28,56	27,44	1,58	5,75
Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	0,36	5,12	2,74	3,36	122,62
pH	4,20	4,62	4,41	0,29	6,57

Fonte: HARTMANN, 2008

### 2.3 Necessidade de remoção de nutrientes de efluente e sua inserção na legislação ambiental brasileira

A expansão industrial e o crescimento da população urbana tem aumentado a quantidade e a diversidade de efluentes gerados. Conseqüentemente, grande esforço tem sido dedicado à melhoria dos processos de tratamento, tal como remoção de nitrogênio, que pode ser conduzida através de vários processos físico-químicos e biológicos. (BOAVENTURA, et

al., 2001). A eutrofização de águas causada por nitrogênio e fósforo tem se tornado um foco de interesse recentemente, e o desenvolvimento de tecnologia tem se tornado importante. (LI, et al., 2003).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental americana (Environmental Protection Agency - EPA, 2003 apud Costa, 2005), o fósforo na forma de fosfato é o fator limitante mais importante para evitar a eutrofização. A entrada natural do nitrogênio da atmosfera no corpo d'água não pode ser controlado, e ainda muitas plantas aquáticas têm a capacidade natural de fixar o nitrogênio. Por isso um excesso de fósforo causa diretamente o crescimento de algas e cianobactérias, as quais podem liberar toxinas. Os compostos nitrogenados, como  $\text{NH}_3$  (amônia) e  $\text{NH}_4^+$  (amônio), causam, além da participação na eutrofização, diversos efeitos tóxicos à vida aquática, assim como, o nitrogênio na forma de nitrito ou nitrato que estabelece relação com as doenças de metahemoglobinemia e câncer nos homens.

Para proteger os corpos d'água receptores de efluentes, tornou-se necessário desenvolver sistemas de tratamento de esgoto terciário, isto é, sistemas que, além dos sólidos sedimentáveis (tratamento primário) e do material orgânico (tratamento secundário), também pudessem remover os nutrientes, nitrogênio (via os processos de nitrificação e desnitrificação) e fósforo (precipitação ou biodesfosfatação). (Van HAANDEL; MARAIS, 1999 apud COSTA, 2005).

No Rio Grande do Sul, os padrões de lançamento de efluentes líquidos são fixados pela Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) n° 128/2006. A Tabela 3 mostra os limites estabelecidos para Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{DBO}_5$ ), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Suspensos (SS), de acordo com a vazão do efluente. (CONSEMA, 2006). A Tabela 4 mostra os limites estabelecidos para Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Fósforo (P), também de acordo com a vazão do efluente. (CONSEMA, 2006). A Resolução do Consema n° 128/2006 ainda estabelece limites para o pH, que varia de 6,0 a 9,0, e temperatura, que deve ser inferior a 40°C.

No Brasil, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/2005 estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. De acordo com esta resolução, o pH do efluente deve estar entre 5,0 e 9,0, a temperatura deve ser inferior a 40°C, a concentração de sólidos sedimentáveis deve ser de até 1  $\text{mL.L}^{-1}$  e a concentração de Nitrogênio Amoniacal Total (NAT) deve ser inferior a 20,0  $\text{mg.L}^{-1}$ .

TABELA 3: Limites estabelecidos para Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio e Sólidos Suspensos, de acordo com a vazão do efluente.

<b>Faixa de vazão (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg /L O<sub>2</sub>)</b>	<b>DQO (mg /L O<sub>2</sub>)</b>	<b>SS (mg/L)</b>
Q < 20	180	400	180
20 ≤ Q < 100	150	360	155
100 ≤ Q < 500	110	330	125
500 ≤ Q < 1000	80	300	100
1000 ≤ Q < 3000	70	260	80
3000 ≤ Q < 7000	60	200	70
7000 ≤ Q < 10000	50	180	60
1000 ≤ Q	40	150	50

Fonte: Adaptado de CONSEMA, 2006

TABELA 4: Limites estabelecidos para Nitrogênio Total Kjeldahl e Fósforo, de acordo com a vazão do efluente

<b>Faixa de vazão (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>Nitrogênio Total Kjeldahl</b>			<b>Fósforo</b>	
	<b>Concentração (mg /L NTK)</b>	<b>Eficiência NTK (%)</b>	<b>Nitrogênio Amoniacal (mg/L Nam.)</b>	<b>Concentração (mg P/L)</b>	<b>Eficiência (%)</b>
Q < 100	20	75	20	4	75
100 ≤ Q < 1000	20	75	20	3	75
1000 ≤ Q < 10000	15	75	20	2	75
10000 ≤ Q	10	75	20	1	75

Fonte: Adaptado de CONSEMA, 2006

## 2.4 Reator em Batelada Sequencial (RBS)

O Reator em Batelada Sequencial (RBS) é um sistema de lodo ativado para tratamento de efluentes. Neste sistema, o efluente é adicionado a um reator em batelada, tratado para

remover componentes indesejáveis, e então descarregado. As etapas de equalização, aeração e clarificação podem ser realizadas em um único reator. (EPA, 1999).

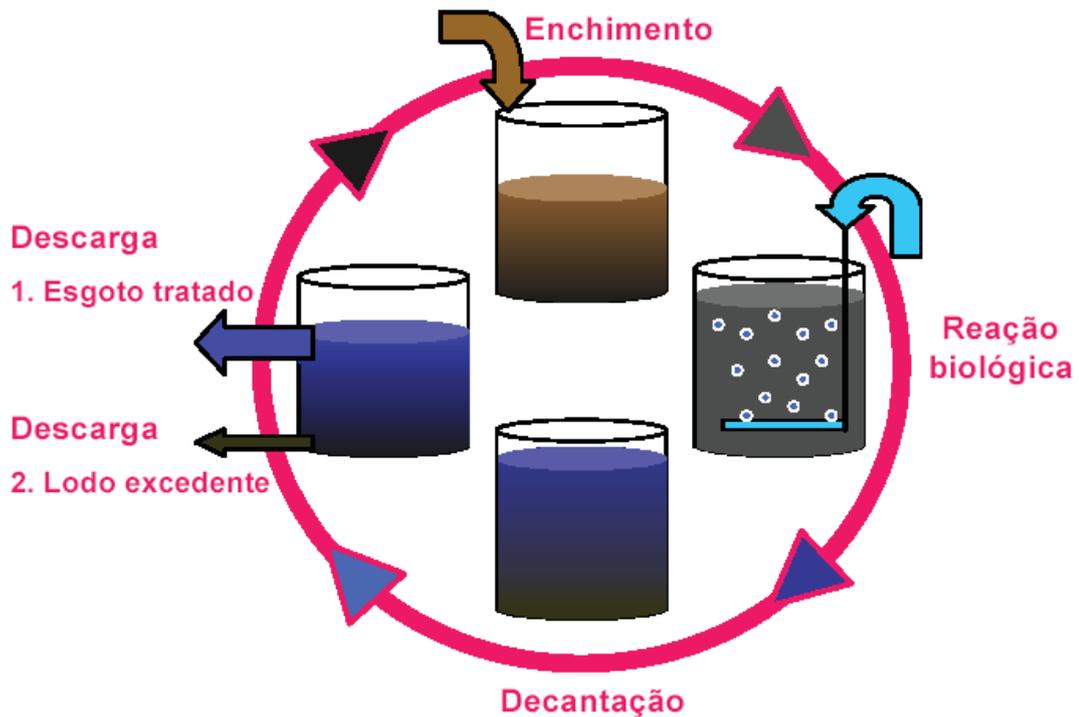
O RBS tem demonstrado bom potencial na remoção biológica de nutrientes. (AKIM; UGURLU, 2005). Esses processos biotecnológicos usam lodo ativado e provêm maneiras e meios para o tratamento de efluentes, incluindo a remoção de componentes orgânicos tóxicos. (WIMBERGER; VERDE, 2008). Processos em RBS têm se mostrado particularmente adequados para o tratamento de água residuária, que é caracterizada pelo alto teor de nutrientes e frequentes mudanças na composição. (KIM et al, 2008).

O RBS apresenta vantagens e desvantagens em relação aos métodos convencionais de lodos ativados. Entre as vantagens estão: forma simplificada de construção; facilidade de colocação de equipamentos com instalações tecnicamente simples; grande flexibilização, no que diz respeito à variação das cargas e vazões; funcionamento relativamente simplificado; e boa decantabilidade do lodo. (WILDERER et al., 1997; Van HAANDEL; MARAIS, 1999 apud COSTA, 2005). Ainda como vantagens, podem-se citar o mínimo espaço requerido, a facilidade de gestão e a possibilidade de modificações durante a fase experimental. (AKIN; UGURLU, 2005). Como desvantagem, Costa (2005), diz que o descarte do efluente tratado é feito de forma pontual, a cada término do ciclo, o que acarreta um grande choque de carga para o corpo receptor.

O processo do RBS é feito em diversas etapas de tratamento. Segundo Costa (2005), estas etapas são:

- a) Enchimento: entrada de efluente bruto ou decantado no reator;
- b) Reação: aeração/mistura da massa líquida contida no reator;
- c) Decantação: decantação e separação dos sólidos em suspensão do efluente tratado;
- d) Descarga ou esvaziamento: retirada do efluente tratado do reator;
- e) Repouso: ajuste de ciclos e remoção do lodo excedente.

A Figura 3 mostra o ciclo do tratamento por RBS.



Fonte: COSTA, 2005

Figura 3: Princípio de um ciclo no reator em batelada sequencial.

Antes de começar o enchimento, já existe no reator a biomassa que permaneceu da fase anterior. Na etapa de reação, o efluente é misturado e/ou aerado, de acordo com o objetivo do processo biológico. Na fase de sedimentação, sem mistura, os sólidos são sedimentados, para então, durante a próxima fase, de retirada, o efluente clarificado ser removido. Depois dessa fase, o efluente permanece no reator em repouso até o começo do próximo ciclo. (CYBIS; PICKBRENNER, 2000).

O Quadro 1 apresenta as principais características de cada etapa do ciclo do reator em batelada sequencial.

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>
Enchimento	O afluente é adicionado ao reator. O enchimento pode ser de três tipos: estático, com mistura ou aerado. No enchimento estático, o afluente é adicionado à biomassa já presente no RBS. Neste tipo de enchimento não ocorre nenhuma mistura ou aeração. O enchimento com mistura é classificado por misturar efluentes orgânicos com a biomassa, a qual inicia as reações biológicas. O enchimento aerado é classificado por aerar o conteúdo do reator para iniciar as reações aeróbias completadas na etapa de reação
Reação	Nesta etapa as reações biológicas são completadas. Pode compreender mistura, aeração ou ambas.
Sedimentação	Ocorre a separação sólido-líquido
Esvaziamento	Utiliza um decantador para remover o efluente tratado.
Repouso	Geralmente o descarte do lodo ocorre nesta etapa.

Quadro 1: Etapas do ciclo de operação de um reator aeróbio em batelada.

Fonte: EPA 1999

## 2.5 Remoção biológica da matéria carbonácea

Um dos principais problemas de poluição das águas é o consumo de oxigênio dissolvido após o lançamento de águas residuárias. Este consumo de oxigênio está ligado à introdução de matéria orgânica nos corpos d'água, o que se deve aos processos de estabilização de matéria orgânica realizados pelas bactérias decompositoras, que utilizam o oxigênio disponível no meio para a sua respiração. (SPERLING, 2005). “As bactérias heterotróficas, responsáveis pela degradação do material orgânico, oxidam o composto transformando-o em gás carbônico mais água, utilizando o oxigênio dissolvido para tal” (Equação 1). (COSTA, 2005, p. 14).



Costa (2005), p. 13, diz que “a base para o entendimento dos fundamentos da remoção de matéria carbonácea em processos de tratamento de esgotos está no fato que um alimento

afluente (substrato) é fornecido aos microrganismos que o metabolizam, enquanto o que resta é oxidado a compostos mais simples.”

“A concentração de substrato pode ser quantificada utilizando-se uma medida direta de medição, como o carbono orgânico total (COT) ou representada indiretamente através da medição do consumo de oxigênio, pelo teste da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ou pela demanda química de oxigênio (DQO).” (COSTA, 2005, p. 14).

## 2.6 Remoção biológica de nitrogênio

O processo de remoção de nitrogênio ocorre em três estágios: a conversão de nitrogênio orgânico para amônia (amonificação), a oxidação da amônia a nitrato na presença de oxigênio (nitrificação) e, por fim, a conversão de nitrato a nitrogênio gasoso utilizando um composto orgânico como agente redutor na ausência de oxigênio (desnitrificação). (CYBIS; PICKBRENNER, 2000).

Durante a nitrificação, microrganismos aeróbios autotróficos são empregados para oxidação de nitrogênio amoniacal a nitrato. Subsequentemente, na fase de desnitrificação microrganismos heterotróficos sob condições anóxicas reduzem nitrato a nitrogênio elementar, que é lançado para a atmosfera. (BOAVENTURA et al., 2001).

### 2.6.1 Nitrificação

Nitrificação é a oxidação biológica da amônia a nitrito e então à forma de nitrato. As duas maiores espécies de microrganismos responsáveis pela oxidação biológica dos compostos de nitrogênio são as bactérias autotróficas *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. *Nitrosomonas* oxidam amônia a nitrito. *Nitrobacter* completa o processo de nitrificação pela oxidação de nitrito a nitrato. (SURAMPALLI, 1997).

As equações 2 e 3 representam a oxidação da amônia a nitrito e do nitrito a nitrato, respectivamente. (COSTA, 2005).

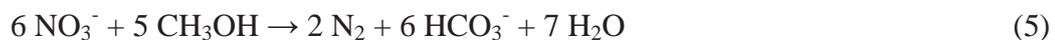
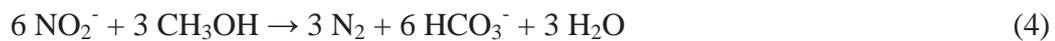


## 2.6.2 Desnitrificação

Desnitrificação biológica é um processo no qual o nitrato é reduzido a gás nitrogênio por microrganismos na ausência de oxigênio dissolvido. Desnitrificação pode ocorrer desde que uma fonte suficiente de nitrato e carbono orgânico esteja presente. (SURAMPALLI, 1997).

A desnitrificação assume grande importância no tratamento de águas residuárias removendo nitrogênio, principalmente na forma de nitrato, contribuindo assim para mitigar o problema da eutrofização nos corpos d'água receptores. No processo, o  $\text{NO}_3^-$  é reduzido biologicamente sob condições anóxicas ou em baixas concentrações de oxigênio, a óxidos gasosos de nitrogênio ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) e estes finalmente para  $\text{N}_2$  atmosférico. (TIEDJE et al., 1982 apud COSTA, 2005, p. 18).

Neste processo, ocorrem as reações de desnitrificação do nitrito e do nitrato, representadas nas equações 4 e 5. (COSTA, 2005).



## 2.7 Remoção biológica do fósforo (biodesfosfatação)

O mecanismo de remoção biológica de fósforo é baseado na capacidade que certas bactérias apresentam de acumular fósforo em excesso das suas necessidades. Este fenômeno ocorre quando se utilizam sistemas anaeróbios/aeróbios combinados com regimes de excesso e escassez de matéria orgânica, criando condições favoráveis ao desenvolvimento de bactérias removedoras de fósforo. (CYBIS; PICKBRENNER, 2000).

De acordo com Costa (2005) a remoção biológica do fósforo se resume, praticamente, em duas etapas:

Etapa anaeróbia: Sob circunstâncias anaeróbias (ausência de oxigênio e nitrato) e presença de substrato facilmente degradável é criada uma condição em que algumas bactérias facultativas são capazes de utilizar o fosfato armazenado no seu metabolismo para adquirir a energia (adenosina-trifosfato-ATP) necessária a degradação do substrato disponível. (MARCHETTO et al., 2003; SURAMPALLI et al., 1997; ATV, 1997 apud COSTA, 2005).

Etapa aeróbia: Nas condições aeróbias as bactérias começam a oxidar a DQO armazenada, a qual está muitas vezes na forma de poli-hidroxi-butirato (PHB). Em paralelo, as mesmas bactérias reconstróem o ATP, removendo então o fósforo solúvel do efluente. O fator mais importante na fase aeróbia é que as bactérias armazenam mais fosfato do que liberaram na fase anaeróbia. (COSTA, 2005).

## **2.8 Aplicação do RBS na remoção de poluentes**

O RBS tem sido estudado há algum tempo para vários propósitos, incluindo a remoção de nitrogênio e fósforo. Estudos realizados por Boaventura et al. (2001), Hong et al. (2007), Kim et al. (2008) e Souza et al. (2008) demonstraram o grande potencial do RBS nos processos de remoção biológica de nutrientes, através da otimização das condições operacionais do tratamento por simulação em computadores.

No Brasil, diversas pesquisas foram realizadas utilizando o RBS para remover nutrientes (nitrogênio e fósforo). Costa (2005) e Cybis et al. (2004) pesquisaram a eficiência do RBS no tratamento de esgoto sanitário. Faria et al. (2006) estudou a remoção biológica de fósforo de efluentes da parbolização de arroz e Iamamoto (2006) estudou a remoção de nitrogênio de águas residuárias com elevada concentração de nitrogênio amoniacal em RBS. Santos (2009) pesquisou o uso do RBS para o tratamento de efluentes de pequenas e médias indústrias de laticínios.

Outros estudos tem sido realizados em todo o mundo com ênfase à remoção de nitrogênio e fósforo. Li et al. (2008) estudou a remoção de nutrientes de efluentes de frigoríficos em um reator em batelada sequencial aerado. Kargi; Uygur (2002) estudaram a performance do RBS na remoção de nutrientes como uma função da idade do lodo, e Akin; Ugurlu (2005) estudaram o monitoramento e controle da remoção de nitrogênio e fósforo em um RBS.

O Quadro 2 apresenta os diversos estudos realizados, utilizando-se o reator em batelada sequencial.

<b>Referência</b>	<b>Objetivo do estudo</b>	<b>Tipo de efluente</b>	<b>Síntese dos Resultados</b>
Boaventura et al. (2001)	Investigar dois modelos aproximados: um modelo genérico (GM) e um modelo específico (SM), com dados adquiridos de um RBS.	Efluente sintético	SM apresentou uma performance superior a GM.
Kargi; Uygur (2002)	Estudar a remoção de nutrientes por RBS, com diferentes tempos de retenção (SRT).	Efluente sintético	A maior eficiência de remoção foi obtida em uma idade do lodo de dez dias, com remoção de 94% de DQO, 84% de NH <sub>4</sub> -N e 70% de PO <sub>4</sub> -P.
Cybis et al. (2004)	Avaliar a eficiência e estabilidade do RBS na remoção de N no tratamento de efluente com DQO baixa.	Esgoto doméstico	Remoção de 88% de N e 90% de DQO. A utilização de RBS para tratar esgoto com DQO baixa é possível, não comprometendo a estabilidade operacional do sistema e a qualidade do efluente.
Costa (2005)	Estudar o tratamento biológico de efluente em um RBS verificando seu desempenho quanto à remoção biológica de carbono e nutrientes (N e P).	Esgoto doméstico	O tratamento apresentou eficiência média de 78,2% para a remoção de DQO total, 30,0 a 86,2% de remoção de N e 22,2 a 77,9% de remoção de P.

Continuação Quadro 2

<b>Referência</b>	<b>Objetivo do estudo</b>	<b>Tipo de efluente</b>	<b>Síntese dos Resultados</b>
Akin; Ugurlu (2005)	Estabelecer estratégias de controle para remoção biológica de P e N usando os perfis de potencial de oxidação-redução (ORP), oxigênio dissolvido (DO) e pH.	Efluente sintético, utilizando glicose e ácido acético como fontes de carbono, $K_2HPO_4$ como fonte de P e $NH_4Cl$ como fonte de N.	Valores de pH e ORP podem ser usados como parâmetros de controle para desnitrificação e remoção biológica de fósforo.
Iamamoto (2006)	Avaliar a capacidade de remoção de alta concentração de nitrogênio em RBS submetido a condições de aeração intermitente.	Efluente sintético	Foram utilizadas condições de 125, 250 e 500 mg N.L <sup>-1</sup> , obtendo-se eficiências de remoção de 87%, 84% e 94%, respectivamente.
Faria et al. (2006)	Determinar as condições de operação de um sistema biológico estimulado para remoção de P (SBERF) utilizando-se o RBS.	Arroz parbolizado	A maior eficiência ( $\epsilon=17,82\%$ ) foi obtida com tempo de detenção de sólidos de cinco dias, com duas fases e sem adição de ácido acético.
Cardenas et al. (2006)	Otimizar os processos de eliminação de nutrientes no tratamento de esgoto doméstico, utilizando um RBS em escala piloto.	Esgoto doméstico	O ciclo com melhor rendimento alcançou remoção média de 85% para DQO, 92% para DBO, 52% para NT, 65% para $N-NO_3^-$ e 67% para PT.

Continuação Quadro 2

<b>Referência</b>	<b>Objetivo do estudo</b>	<b>Tipo de efluente</b>	<b>Síntese dos Resultados</b>
Hong et al. (2007)	Propor uma rede neural, um software sensível, para a estimação de um tempo real de concentrações de nutriente e superação do problema de medidas demoradas.	Efluente sintético	O software pode ser aplicado efetivamente para processos de RBS para cooperar com as variações dos afluentes e a fase de duração da operação do RBS pode ser otimizada e ajustada no tempo real.
Li et al. (2008)	Investigar a performance de um RBS aerado para remoção simultânea de N e P.	Frigorífico	Remoção de 96% de DQO, 96% de N e 99% de P.
Kim et al. (2008)	Estimular e otimizar a remoção de nitrogênio de um RBS através do uso de um modelo simplificado derivado do modelo de lodo ativado nº 1 (ASM1) e planejamento interativo dinâmico (IDP).	Efluente com concentração de DQO e N simulados de 150 e 40 mg.L <sup>-1</sup> , respectivamente.	Os resultados da simulação do RBS mostram que o custo da energia total pode ser reduzido para acima de 20% para a fase aeróbica e 10% para a fase anóxica com a remoção máxima de nitrogênio.
Souza et al. (2008)	Otimizar um modelo de enchimento pulsado de um RBS usando um modelo simplificado que considera o ciclo completo de remoção de nitrogênio.	Efluente sintético contendo principalmente matéria orgânica (como glicose) e N (como cloreto de amônio).	A alimentação com baixa taxa de fluxo apresentou a melhor produtividade, reduzindo o tempo de batelada total de 12 para 5 horas.

Continuação Quadro 2

<b>Referência</b>	<b>Objetivo do estudo</b>	<b>Tipo de efluente</b>	<b>Síntese dos Resultados</b>
Moawad et al. (2009)	Investigar a performance do processo combinado de UASB e RBS sob diferentes condições de operação.	Esgoto doméstico	A média de remoção de DQO, DBO e SST foi de 94%, 97% e 98%, respectivamente. A nitrificação completa da amônia foi alcançada após 5h de aeração no RBS.
Datta et al. (2009)	Avaliar a remoção simultânea de nutrientes e redução de lodo usando RBS.	Efluente sintético, com concentração de DQO, N e P de 368, 26 e 41 mg.L <sup>-1</sup> , respectivamente.	A média de eficiência de remoção de fósforo foi de 90%, de NH <sub>3</sub> foi de 100%, e a redução de lodo foi de 63%.
Wang et al. (2009)	Estudar a performance de um RBS alimentado com lodo aeróbico granular para remoção de N e P.	Esgoto doméstico	As médias de eficiência de remoção de DQO, N- NH <sub>3</sub> , NT e fosfato foram de 80%, 92%, 47% e 71%, respectivamente.
Santos (2009)	Estudar a remoção de DQO, NAT e PT de efluente sintético em RBS.	Efluente sintético composto por leite em pó desnatado e água destilada com concentração entre 1000 e 6000 mg.L <sup>-1</sup>	O RBS alcançou níveis de remoção de até 94% para DQO, 75% para NAT e 82% para PT.

Continuação Quadro 2

<b>Referência</b>	<b>Objetivo do estudo</b>	<b>Tipo de efluente</b>	<b>Síntese dos Resultados</b>
Ni et al. (2009)	Demonstrar a viabilidade de cultivar grânulos aeróbicos em um RBS e aplicar esse processo ao tratamento de efluentes municipal em escala piloto.	Efluente municipal	Após 300 dias de operação, o teor de sólidos suspensos alcançou $9,5 \text{ g.L}^{-1}$ e consistiu de aproximadamente 85% de lodo granular. A média de eficiência de remoção de DQO foi de 90%.
Freitas et al. (2009)	Avaliar a performance e força do lodo ativado operado a alta temperatura ( $30^{\circ}\text{C}$ ) com curto ciclo de RBS.	Efluente sintético	A remoção de DQO e N foi recuperada dentro de 1-2 dias para cargas de choque de 10 vezes a concentração padrão. A remoção de P foi recuperada dentro de 2-3 idades do lodo.

Quadro 2: Estudos realizados com ênfase na aplicação do RBS para remoção de poluentes.

Todos estes estudos mostraram que é possível o uso desse tipo de reator para remover nutrientes, desde que sejam obedecidas condições ótimas de funcionamento, tais como, pH, OD e cargas aplicadas.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Delimitação do trabalho**

Os efluentes foram coletados em uma indústria de vegetais congelados da região de Passo Fundo, RS.

A indústria opera com uma variada gama de produtos vegetais congelados. O processamento depende de fatores sazonais (período de safra), mercado, entre outros. Dessa forma, para efeitos desta pesquisa, durante o período de coleta de dados de campo, a indústria estava processando brócolis congelado, sendo então analisado o efluente proveniente do processamento desse produto.

O efluente passa por um processo físico-químico de tratamento, a partir do qual foi coletado efluente para uso no RBS.

### **3.2 Visita a indústria**

O processo de coleta de dados iniciou com visitas a unidade industrial, onde foram levantadas todas as atividades desenvolvidas, bem como, quais os tipos de vegetais que estariam sendo processados no período, os sistemas de tratamento de efluentes, entre outros. Ainda, foram feitas coletas de efluentes em cada etapa do tratamento, ou seja, alimentação da peneira, alimentação do equalizador, alimentação do misturador, alimentação do decantador primário, descarga do decantador primário, alimentação da primeira lagoa, descarga da primeira lagoa e descarga da segunda lagoa.

### **3.3 Caracterização dos efluentes coletados**

Os efluentes coletados na indústria foram caracterizados em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio, Fósforo, Sólidos Suspensos, Sólidos Sedimentáveis, pH e Temperatura em cada etapa do tratamento. As análises foram feitas de acordo com os métodos analíticos descritos em APHA (2000).

### **3.4 Tratamento Biológico dos efluentes em Reator em Batelada Sequencial (RBS)**

#### **3.4.1 Reator em Batelada Sequencial**

O reator em batelada sequencial aerado foi construído no formato cilíndrico em vidro borossilicato, com diâmetro de 10 cm, altura de 60 cm e capacidade total de 3,5 L. A alimentação e a descarga foram feitas manualmente. A aeração foi feita por compressor de ar e a vazão de ar foi controlada por um rotâmetro.

A Figura 4 mostra o esquema de funcionamento do RBS.

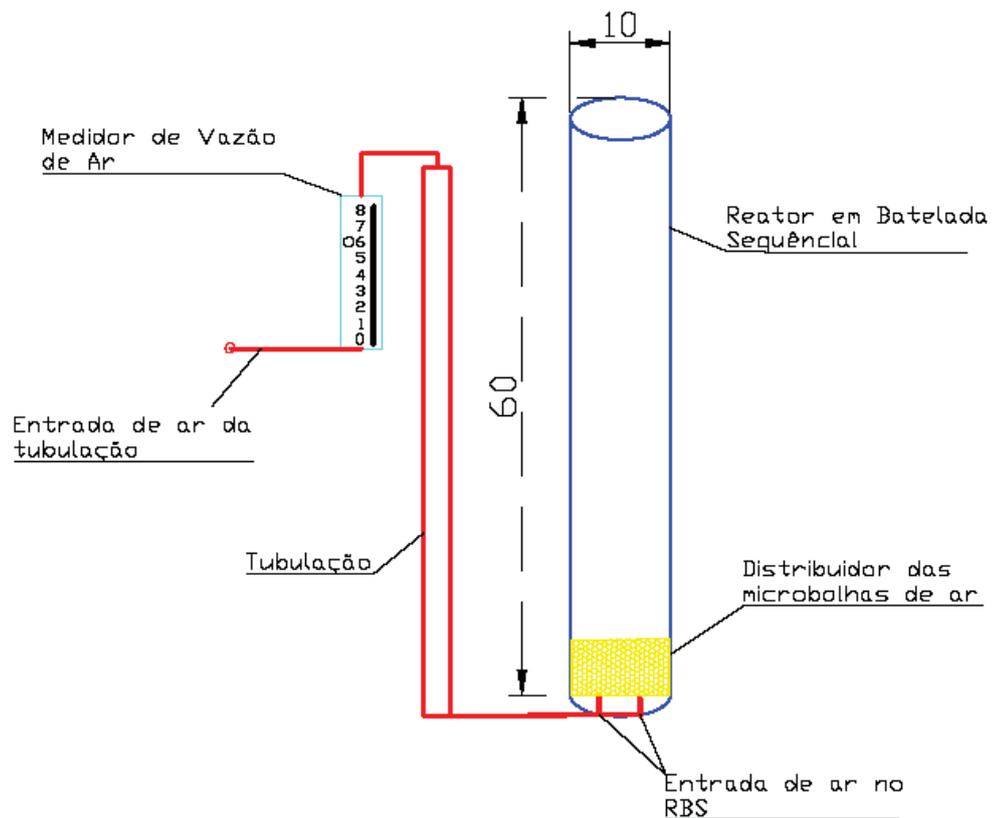


Figura 4: Esquema de montagem do reator RBS.

### 3.4.2 Variáveis do RBS

Para os cálculos estatísticos foi utilizado um planejamento fatorial  $2^3$  (Tabela 5), com as seguintes variáveis independentes:

- $X_1$  = teor de biomassa no reator: 2000 a 4000 mg/L
- $X_2$  = Concentração de DQO inicial: 300 a 600 mg/L
- $X_3$  = Quantidade de aeração: 3 a 6 L/min.

As variáveis de resposta foram a remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniaco Total (NAT) e Fósforo Total (PT).

Os experimentos foram feitos de forma aleatorizada (Apêndice 1), em triplicata.

Os dados obtidos foram analisados no programa Statistica 6, da StatSoft.

TABELA 5: Matriz dos valores codificados e níveis das variáveis utilizadas no planejamento fatorial  $2^3$

Experimentos	Variáveis Codificadas			Variáveis Reais		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1	2000	300	3
2	+1	-1	-1	4000	300	3
3	-1	+1	-1	2000	600	3
4	+1	+1	-1	4000	600	3
5	-1	-1	+1	2000	300	6
6	+1	-1	+1	4000	300	6
7	-1	+1	+1	2000	600	6
8	+1	+1	+1	4000	600	6
9	0	0	0	3000	450	4,5
10	+1,68	0	0	4700	450	4,5
11	0	-1,68	0	3000	200	4,5
12	0	0	+1,68	3000	450	7,0
13	0	0	-1,68	3000	450	2,0
14	0	+1,68	0	3000	700	4,5
15	-1,68	0	0	1300	450	4,5

X<sub>1</sub>: Teor de Biomassa (mg.L<sup>-1</sup>); X<sub>2</sub>: DQO inicial (mg.L<sup>-1</sup>); X<sub>3</sub>: Aeração (L.min<sup>-1</sup>)

### 3.4.3 Inoculação dos Reatores

A inoculação foi realizada com lodo de uma estação de tratamento de efluentes de indústria de vegetais congelados. A concentração de biomassa no reator variou entre 2000 e 4000 mg.L<sup>-1</sup>.

### 3.4.4 Preparação do efluente e ajuste do lodo

A cada início de batelada, antes do enchimento do reator, a concentração da DQO inicial foi ajustada, por diluição, para 300, 450 ou 600 mg.L<sup>-1</sup>, e a biomassa foi ajustada para 2000, 3000 ou 4000 mg.L<sup>-1</sup>, conforme planejamento fatorial. O ajuste da biomassa foi feito através da comparação da leitura em espectrofotômetro da turbidez a 600 nm de uma amostra retirada do reator, diluída 5 vezes, com a curva padrão de sólidos suspensos totais (apêndice 2).

O efluente bruto (antes de ser colocado no reator) foi analisado em cada recebimento de efluente, em termos de pH, DQO, fósforo total, nitrogênio amoniacal total, decantabilidade, sólidos suspensos e sólidos voláteis.

### 3.4.5 Operação do RBS

O reator foi operado em sistema sequencial em batelada aeróbio, com ciclos de seis horas, que é o tempo estimado para utilização do RBS em indústrias. As fases de operação foram:

- a) Enchimento: O efluente foi adicionado manualmente no reator. O volume de efluente adicionado foi de dois litros.
- b) Reação: O líquido foi agitado e aerado para que ocorressem as reações biológicas. Após um minuto de aeração, foi retirada uma amostra de efluente (efluente inicial) com a qual foram feitas análises de pH, DQO, fósforo, nitrogênio, temperatura (ambiente e no reator) e decantabilidade. A partir do lodo decantado na análise de decantabilidade foram feitas as análises de sólidos suspensos e sólidos voláteis. Após seis horas de aeração, outra amostra de efluente (efluente final) foi retirada para que fossem feitas as análises de pH, temperatura, DQO, fósforo e nitrogênio e decantabilidade. A partir do decantado, foi feita a análise de sólidos suspensos e de sólidos voláteis. Então foi calculado o índice volumétrico de lodo (IVL). Para as análises de DQO, nitrogênio e fósforo, a amostra retirada do reator foi filtrada. As análises foram feitas em triplicata, de acordo com os métodos descritos em APHA, 2000.
- c) Sedimentação: A agitação foi desativada por cerca de 40 minutos para que o lodo decantasse.
- d) Descarga do efluente: O efluente foi retirado do reator.
- e) Repouso: A biomassa foi mantida em aeração constante, até a próxima batelada.

As figuras 5 e 6 mostram o fluxograma de operação do RBS e as fotos de algumas etapas do ciclo de operação do RBS, respectivamente.

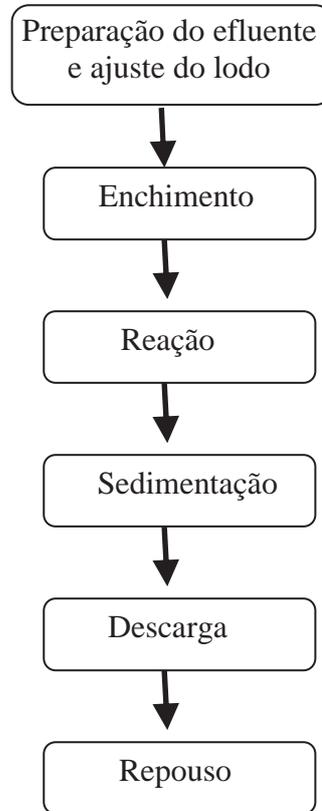


Figura 5: Fluxograma de operação do RBS



(a)



(b)



(c)

Figura 6: (a) RBS na etapa de reação; (b) RBS na etapa de sedimentação; (c) RBS na etapa de descarga.

### 3.5 Obtenção da eficiência do RBS na remoção de DQO, NAT e PT

Após a análise dos efluentes tratados por RBS foi feito o cálculo da eficiência do mesmo na remoção de nitrogênio, fósforo e DQO. Esta eficiência foi calculada para o efluente retirado do reator após um minuto e após seis horas de reação.

A eficiência em termos de remoção de DQO, NAT e PT foi calculada utilizando-se a equação 6.

$$E = \left( 1 - \frac{C_f}{C_i} \right) \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

E = Eficiência de remoção (%)

$C_f$  = Concentração de DQO, NAT e PT no efluente após um minuto e após seis horas de aeração ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

$C_i$  = Concentração de DQO, NAT e PT no efluente de alimentação do reator ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

### 3.6 Índice Volumétrico de Lodo (IVL)

O IVL foi calculado de acordo com a equação 7.

$$IVL = \left( \frac{SSed}{SST} \right) \quad (7)$$

Sendo:

IVL = Índice Volumétrico de Lodo ( $\text{mL.g}^{-1}$ )

SSed = Sólidos Sedimentáveis ( $\text{mL.L}^{-1}$ )

SST = Sólidos Suspensos Totais ( $\text{g.L}^{-1}$ )

### **3.7 Determinações Analíticas**

#### **3.7.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A análise de DQO foi feita em refluxo fechado, através do método colorimétrico, no qual se utiliza o dicromato de potássio como agente oxidante. (APHA, 2000).

#### **3.7.2 Nitrogênio Amoniacal Total (NAT)**

O Nitrogênio Amoniacal Total foi determinado por digestão e destilação da amostra através do digestor de nitrogênio Kjeldahl. (APHA, 2000).

#### **3.7.3 Fósforo (PT)**

A análise de fósforo foi feita pelo método colorimétrico utilizando-se reagente de Armstrong e ácido ascórbico. (APHA, 2000).

#### **3.7.4 Sólidos Suspensos (SST)**

Os sólidos suspensos foram determinados por gravimetria (filtração em papel). (APHA, 2000).

### **3.7.5 Sólidos Voláteis (SSV)**

Os sólidos voláteis foram determinados por diferença entre os sólidos fixos e totais. (APHA, 2000).

### **3.7.6 Sólidos Sedimentáveis (SSed)**

Os sólidos sedimentáveis foram determinados pelo método de sedimentação, utilizando-se cones de Imhoff. (APHA, 2000).

### **3.7.7 pH**

A análise de pH foi feita através do método eletrométrico.

### **3.7.8 Temperatura (T)**

A análise de temperatura foi feita através de um termômetro com escala de -10 a 110°C.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Processos produtivos da indústria de vegetais congelados**

Durante o período de visita à indústria, foram acompanhados os processos produtivos de brócolis, couve-flor e cenoura, dos quais foram coletados efluentes para análise. Ainda neste período a indústria produziu outros vegetais como ervilha e vagem, em que os processos produtivos não foram acompanhados, porém os efluentes foram analisados. Ainda houve o processamento de batata, que não foi acompanhado, porém é muito similar ao da cenoura.

### **4.2 Estação de Tratamento de Efluentes (ETE)**

No período de visita à indústria, todo o processo de tratamento de efluentes foi acompanhado. A Figura 7 mostra o fluxograma da estação de tratamento de efluentes da indústria de vegetais congelados acompanhada, e a Figura 8 mostra as fotos de cada etapa do processo de tratamento de efluentes.

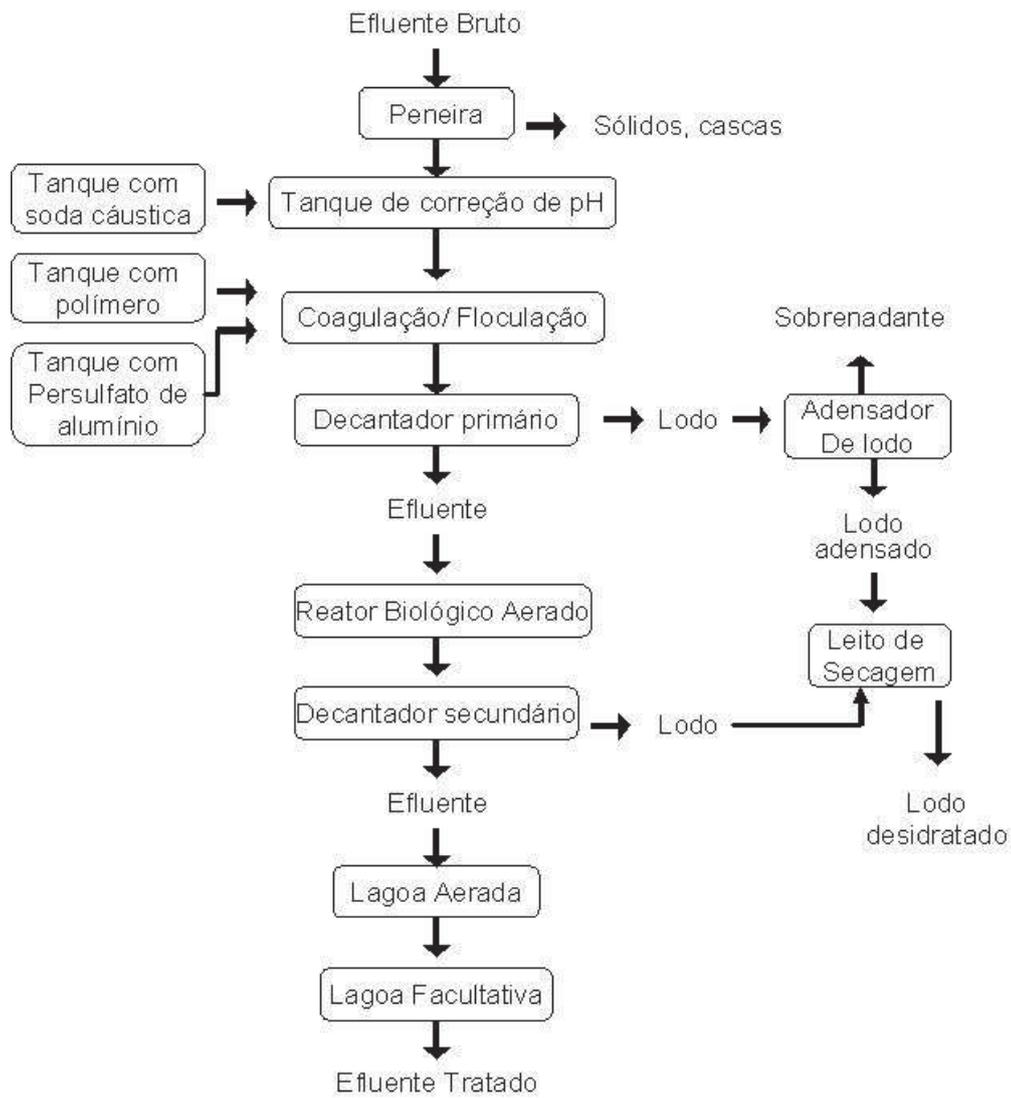


Figura 7: Fluxograma da ETE



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

Figura 8: Equipamentos ETE (a) peneira, (b) equalizador, (c) tanque de correção de pH e floculador, (d) decantador primário, (e) adensador de lodo, (f) leitos de secagem, (g) lodo ativado, (h) decantador secundário e (i) lagoa aerada, (j) descarga lagoa aeróbica.

### 4.3 Caracterização do efluente em função do processo de tratamento na ETE

As tabelas 6, 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam os resultados da caracterização do efluente em função do processo de tratamento na ETE. Como pode ser visto, os efluentes de indústrias de vegetais congelados variam a cada tipo de vegetal processado, podendo variar até mesmo quando o mesmo vegetal é processado em datas diferentes, como ocorreu com o efluente de brócolis coletado no dia 19/09/08 e no dia 17/10/08. Essa variabilidade dos efluentes causa uma dificuldade em encontrar um sistema de tratamento que se adapte as grandes variações dos efluentes gerados e que seja eficiente para os efluentes dos diversos vegetais processados.

TABELA 6: Caracterização do efluente do processamento de brócolis em 19/09/08.

<b>Amostra</b>	<b>DQO</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>PT</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>NAT</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>SSed</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>SST</b> (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Peneira (composta)</b>	3749	4,5	91	11	3627
<b>Alimentação Equalizador</b>	3520	-	-	18	2034
<b>Alimentação Misturador</b>	2851	-	-	15	1053
<b>Ent. Dec. Primário</b>	2325	-	-	66	1032
<b>Descarga Dec. Primário</b>	2115	-	-	<1	589
<b>Alimentação 1ª Lagoa</b>	498	-	-	<1	5961
<b>Descarga 1ª Lagoa</b>	345	-	-	27	1045
<b>Descarga 2ª Lagoa</b>	300	-	-	<1	171

DQO: Demanda Química de Oxigênio; PT: Fósforo Total; NAT: Nitrogênio Amoniacal Total; SSed: Sólidos Sedimentáveis; SST: Sólidos Suspensos Totais.

FONTE: adaptado de GIL et al., 2009

TABELA 7: Caracterização do efluente do processamento de brócolis em 17/10/08.

<b>Amostra</b>	<b>DQO</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>PT</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>NAT</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>SSed</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>SST</b> (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Peneira (composta)</b>	2129	2,4	40	5	631
<b>Alimentação Equalizador</b>	1676	-	-	2	773
<b>Alimentação Misturador</b>	2206	-	-	2	681
<b>Ent. Dec. Primário</b>	1819	-	-	160	1193
<b>Descarga Dec. Primário</b>	1510	-	-	3	193
<b>Alimentação 1ª Lagoa</b>	1227	0,9	13	12	127
<b>Descarga 1ª Lagoa</b>	350	0,6	16	48	580
<b>Descarga 2ª Lagoa</b>	108	0,3	07	2	200

DQO: Demanda Química de Oxigênio; PT: Fósforo Total; NAT: Nitrogênio Amoniacal Total; SSed: Sólidos Sedimentáveis; SST: Sólidos Suspensos Totais.

FONTE: adaptado de GIL et al., 2009

TABELA 8: Caracterização do efluente do processamento de cenoura em 27/11/08.

<b>Amostra</b>	<b>DQO</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>PT</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>NAT</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>SSed</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>SST</b> (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Peneira (composta)</b>	5773	2,7	41	42	2830
<b>Alimentação Equalizador</b>	2983	-	-	-	-
<b>Alimentação Misturador</b>	4983	-	-	-	-
<b>Ent. Dec. Primário</b>	3773	-	-	-	-
<b>Descarga Dec. Primário</b>	1903	-	-	-	-
<b>Alimentação 1ª Lagoa</b>	950	1,2	24	23	1190
<b>Descarga 1ª Lagoa</b>	175	1,2	10	21	320
<b>Descarga 2ª Lagoa</b>	142	0,6	15	1	160

DQO: Demanda Química de Oxigênio; PT: Fósforo Total; NAT: Nitrogênio Amoniacal Total; SSed: Sólidos Sedimentáveis; SST: Sólidos Suspensos Totais.

FONTE: adaptado de GIL et al., 2009

TABELA 9: Caracterização do efluente do processamento de ervilha/brócolis em 16/12/08.

<b>Amostra</b>	<b>DQO</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>PT</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>NAT</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>SSed</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>SST</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>
<b>Peneira (composta)</b>	1742	1,29	44	16,5	520
<b>Alimentação Equalizador</b>	2843	-	-	2	620
<b>Alimentação Misturador</b>	2286	-	-	<1	260
<b>Ent. Dec. Primário</b>	1886	-	-	1,75	820
<b>Descarga Dec. Primário</b>	1814	-	-	<1	670
<b>Alimentação 1ª Lagoa</b>	1019	0,93	38,6	<1	500
<b>Descarga 1ª Lagoa</b>	224	0,49	24,9	55	610
<b>Descarga 2ª Lagoa</b>	271	0,54	9,5	2	550

DQO: Demanda Química de Oxigênio; PT: Fósforo Total; NAT: Nitrogênio Amoniacal Total; SSed: Sólidos Sedimentáveis; SST: Sólidos Suspensos Totais.

FONTE: adaptado de GIL et al., 2009

TABELA 10: Caracterização do efluente do processamento de vagem/brócolis em 15/01/09.

<b>Amostra</b>	<b>DQO</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>PT</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>NAT</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>SSed</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>SST</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>
<b>Peneira (composta)</b>	-	-	-	-	-
<b>Alimentação</b>	-	-	-	-	-
<b>Equalizador</b>	-	-	-	-	-
<b>Alimentação</b>	-	0,93	55	-	-
<b>Misturador</b>	1137	-	-	<1	500
<b>Ent. Dec. Primário</b>	-	-	-	-	-
<b>Descarga Dec.</b>	-	0,56	45	-	-
<b>Primário</b>	921	-	-	<1	510
<b>Alimentação 1ª Lagoa</b>	603	0,35	37	100	380
<b>Descarga 1ª Lagoa</b>	7	0,05	20	8	660
<b>Descarga 2ª Lagoa</b>	207	0,02	10	2	380

DQO: Demanda Química de Oxigênio; PT: Fósforo Total; NAT: Nitrogênio Amoniacal Total; SSed: Sólidos Sedimentáveis; SST: Sólidos Suspensos Totais.

FONTE: adaptado de GIL et al., 2009

TABELA 11: Caracterização do efluente do processamento de couve-flor em 04/06/09.

<b>Amostra</b>	<b>DQO</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>PT</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>NAT</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>SSed</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>SST</b> <b>(mg.L<sup>-1</sup>)</b>
<b>Peneira (composta)</b>	2087	0,86	13,4	1,5	790
<b>Alimentação</b>	-	-	-	-	-
<b>Equalizador</b>	-	-	-	-	-
<b>Alimentação</b>	-	-	-	-	-
<b>Misturador</b>	322	-	-	-	620
<b>Ent. Dec. Primário</b>	-	-	-	-	-
<b>Descarga Dec.</b>	-	-	-	-	-
<b>Primário</b>	2254	-	-	-	980
<b>Alimentação 1ª Lagoa</b>	69	-	-	375	-
<b>Descarga 1ª Lagoa</b>	69	0,5	7,6	<1	270
<b>Descarga 2ª Lagoa</b>	26	0,49	7	<1	190

DQO: Demanda Química de Oxigênio; PT: Fósforo Total; NAT: Nitrogênio Amoniacal Total; SSed: Sólidos Sedimentáveis; SST: Sólidos Suspensos Totais.

FONTE: adaptado de GIL et al., 2009

A Tabela 12 mostra a eficiência de remoção de DQO do processo físico-químico, lodo ativado e lagoas da ETE da indústria de vegetais congelados. Considerou-se para a eficiência do processo físico-químico o efluente coletado na descarga do equalizador até a descarga do decantador primário, o lodo ativado, da descarga do decantador primário até a descarga do decantador secundário, as lagoas, da descarga do decantador secundário até a descarga da 2ª lagoa e a ETE, a amostra composta (Alimentação da peneira) até a descarga da 2ª lagoa.

TABELA 12: Eficiência de remoção de DQO para diversos tipos de efluentes da indústria de vegetais congelados

Processo	Local	Brócolis 19-09-08		Brócolis 17-10-08		Cenoura 27-11-08		Ervilha/Brócolis 16-12-08		Brócolis/Vagem 15-01-09	
		DQO (mg/L)	E. DQO (%)	DQO (mg/L)	E. DQO (%)	DQO (mg/L)	E. DQO (%)	DQO (mg/L)	E. DQO (%)	DQO (mg/L)	E. DQO (%)
Físico-Químico	Alim.	2851	–	2306	–	4983	–	2286	–	1137	–
	Desc.	2115	26	1510	35	1903	62	1814	21	921	19
Lodo Ativado	Alim.	2115	–	1510	–	1903	–	1814	–	921	–
	Desc.	498	76	1227	19	950	50	1019	44	603	35
Lagoas	Alim.	498	–	1227	–	950	–	1019	–	603	–
	Desc.	300	40	108	91	142	85	271	73	207	66
ETE	Alim.	3749	–	2129	–	5773	–	1742	–	1137	–
	Desc.	300	92	108	95	142	98	271	84	207	82

FONTE: Gil e Hemkemeier, 2009

Segundo Gil e Hemkemeier, 2009, o efluente de cenoura obteve melhor eficiência de remoção de DQO. Isto se deve ao fato da cenoura gerar um efluente com melhor capacidade de floculação e que as concentrações dos produtos usados na ETE estão otimizadas.

No processo da ETE da indústria acompanhada, as lagoas ainda seriam necessárias devido à baixa eficiência de remoção de poluentes no lodo ativado. (GIL e HEMKEMEIER, 2009). O RBS é uma possível alternativa para remoção de DQO e nutrientes após o tratamento físico-químico.

#### 4.4 Experimentos com RBS

A média de pH foi 7,12, a temperatura do efluente no reator ficou em média 18,8°C e a temperatura ambiente média foi de 17,7°C.

As tabelas 13 e 14 mostram a concentração média de DQO e de NAT após seis horas de reação e a eficiência de remoção do RBS para esses poluentes nos experimentos

realizados. Os resultados completos obtidos nos experimentos realizados podem ser vistos no Apêndice 3.

TABELA 13: Concentração média de DQO após seis horas de reação e eficiência de remoção do RBS para DQO em cada experimento.

Experimentos	Variáveis			C DQO <sub>f</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	E <sub>DQO</sub> (%)	Desvio Padrão
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>			
1	2000 (-1)	300 (-1)	3 (-1)	66,1	77,97	57,4
2	4000 (+1)	300 (-1)	3 (-1)	92,0	69,3	3,15
3	2000 (-1)	600 (+1)	3 (-1)	71,9	88,0	53,11
4	4000 (+1)	600 (+1)	3 (-1)	80,7	86,57	91,04
5	2000 (-1)	300 (-1)	6 (+1)	93,2	68,9	7,86
6	4000 (+1)	300 (-1)	6 (+1)	88,9	70,33	4,75
7	2000 (-1)	600 (+1)	6 (+1)	115,4	80,77	64,35
8	4000 (+1)	600 (+1)	6 (+1)	72,1	88,0	33,69
9	3000 (0)	450 (0)	4,5 (0)	87,9	80,47	4,23
10	4700 (+1,68)	450 (0)	4,5 (0)	90,4	80,0	0,35
11	3000 (0)	200 (-1,68)	4,5 (0)	86,4	57,0	0,43
12	3000 (0)	450 (0)	7,0 (+1,68)	93,7	79,0	0,25
13	3000 (0)	450 (0)	2,0 (-1,68)	95,8	79,0	1,13
14	3000 (0)	700 (+1,68)	4,5 (0)	94,0	87,0	0,74
15	1300 (-1,68)	450 (0)	4,5 (0)	93,9	79,0	0,10

X<sub>1</sub>: Teor de Biomassa (mg.L<sup>-1</sup>); X<sub>2</sub>: DQO inicial (mg.L<sup>-1</sup>); X<sub>3</sub>: Aeração (L.min<sup>-1</sup>)

TABELA 14: Concentração média de NAT após seis horas de reação e eficiência de remoção do RBS para NAT em cada experimento.

Experimentos	Variáveis			C NAT <sub>f</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	E <sub>NAT</sub> (%)	Desvio Padrão
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>			
1	2000 (-1)	300 (-1)	3 (-1)	8,23	55,6	2,34
2	4000 (+1)	300 (-1)	3 (-1)	10,63	56,6	5,34
3	2000 (-1)	600 (+1)	3 (-1)	14,56	68,5	2,96
4	4000 (+1)	600 (+1)	3 (-1)	21,10	60,4	10,07
5	2000 (-1)	300 (-1)	6 (+1)	9,70	53,8	1,73
6	4000 (+1)	300 (-1)	6 (+1)	8,20	62,0	2,22
7	2000 (-1)	600 (+1)	6 (+1)	18,63	56,4	0,63
8	4000 (+1)	600 (+1)	6 (+1)	13,43	71,56	2,59
9	3000 (0)	450 (0)	4,5 (0)	11,16	74,23	2,96
10	4700 (+1,68)	450 (0)	4,5 (0)	11,75	64,30	0,78
11	3000 (0)	200 (-1,68)	4,5 (0)	3,95	70,80	0,78
12	3000 (0)	450 (0)	7,0 (+1,68)	15,70	48,00	1,56
13	3000 (0)	450 (0)	2,0 (-1,68)	14,55	51,70	1,63
14	3000 (0)	700 (+1,68)	4,5 (0)	11,75	74,90	0,78
15	1300 (-1,68)	450 (0)	4,5 (0)	11,75	66,40	0,78

X<sub>1</sub>: Teor de Biomassa (mg.L<sup>-1</sup>); X<sub>2</sub>: DQO inicial (mg.L<sup>-1</sup>); X<sub>3</sub>: Aeração (L.min<sup>-1</sup>)

As maiores eficiências de remoção para DQO foram alcançadas nos experimentos 3, que utilizou teor de biomassa de 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO<sub>i</sub> de 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de aeração de 3 L. min<sup>-1</sup>, e 8, que utilizou teor de biomassa de 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO<sub>i</sub> de 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de aeração de 6 L. min<sup>-1</sup>. Para o NAT, a maior eficiência de remoção foi alcançada no experimento 14, que é um dos pontos axiais, com teor de biomassa de 3000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO<sub>i</sub> de 700 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de aeração de 4,5 L. min<sup>-1</sup>. Para o fósforo não foi observada remoção em nenhum dos experimentos realizados.

A primeira possível razão para a não remoção de fósforo é que as bactérias presentes no lodo utilizado podem não ser bactérias removedoras de fósforo, e por isso não teriam removido grandes quantidades deste nutriente. A segunda é que a concentração de fósforo no efluente inicial já estava baixa, e por isso as bactérias não conseguiriam remover este nutriente em maior quantidade, já que, para que o sistema remova os nutrientes, é necessário

que estes estejam presentes em concentrações acima da mínima requerida pelos microrganismos. (SPERLING, 1997).

Ao fazer um comparativo dos valores obtidos com os valores limitados pela Resolução do CONSEMA n° 128/2006 para a faixa de vazão menor que 100 m<sup>3</sup>/d, que é a vazão da indústria estudada, pode-se perceber que todos os valores obtidos estão abaixo do limite estabelecido, comprovando a eficiência do reator em batelada sequencial para remoção de DQO e nutrientes de efluentes de indústria de vegetais congelados.

#### 4.5 Análise estatística dos dados obtidos

##### 4.5.1 Remoção de DQO

A tabela 15 apresenta os resultados da ANOVA (Análise de Variância) para a variável remoção de DQO. Ao se utilizar um nível de significância de 10% ( $p < 0,1$ ), os fatores Teor Biomassa (L), DQO inicial (L), DQO inicial (Q) e a interação entre DQO inicial (L) e aeração (L) foram significativos.

TABELA 15: ANOVA para remoção de DQO, sendo L = linear e Q = quadrático

FATOR	SS	df	MS	F	p
<b>(1) Teor Biomassa (L)</b>	<b>10,190</b>	<b>1</b>	<b>10,190</b>	<b>11,803</b>	<b>0,075279</b>
Teor Biomassa (Q)	0,268	1	0,268	0,310	0,633701
<b>(2)DQO inicial (L)</b>	<b>1032,119</b>	<b>1</b>	<b>1032,119</b>	<b>1195,505</b>	<b>0,000835</b>
DQO inicial (Q)	<b>89,029</b>	<b>1</b>	<b>89,029</b>	<b>103,123</b>	<b>0,009558</b>
<b>(3) Aeração (L)</b>	0,983	1	0,983	1,138	0,397729
Aeração (Q)	1,196	1	1,196	1,386	0,360270
1L por 2L	0,792	1	0,792	0,917	0,439312
1L por 3L	5,865	1	5,865	6,794	0,121042
2L por 3L	<b>11,400</b>	<b>1</b>	<b>11,400</b>	<b>13,205</b>	<b>0,068086</b>
Falta de ajuste	16,480	5	3,296	3,818	0,220494
Erro puro	1,727	2	0,863		
<b>Total SS</b>	<b>1175,640</b>	<b>16</b>			

SS: Soma dos Quadrados, df: graus de liberdade, MS: Média dos Quadrados, F: distribuição de Fischer, p: nível de significância.

A Figura 9 apresenta os gráficos dos efeitos lineares significativos ( $p < 0,1$ ) para a remoção de DQO: (a) DQO inicial; (b) Teor de biomassa; (c) Interação entre DQO inicial e aeração. Pode-se observar que o aumento da DQO inicial e do teor de biomassa aumentaram a remoção de DQO. A variação da aeração isolada não provocou aumento significativo da remoção de DQO. No entanto, a sua interação com o fator DQO inicial foi significativo, de modo que, aumentando a DQO inicial e a aeração, a remoção de DQO também aumentou.

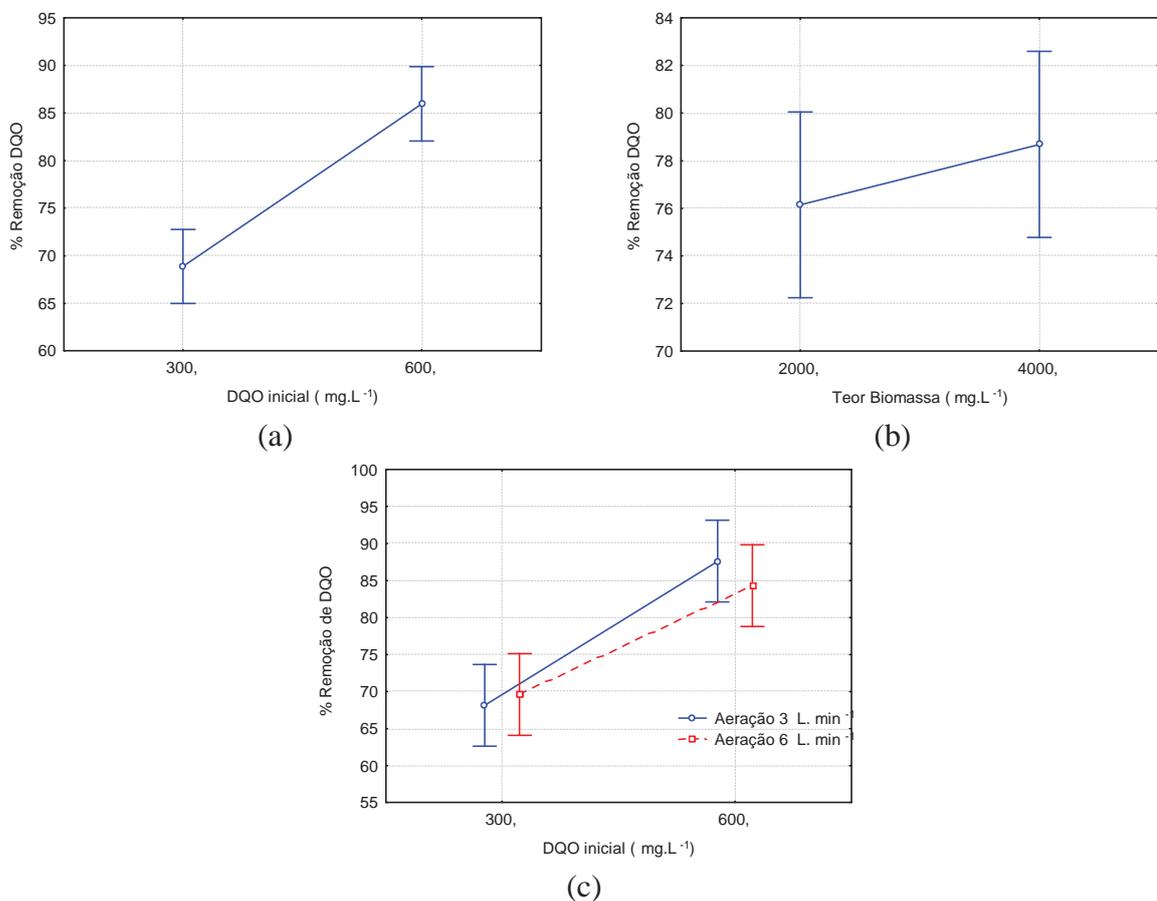


Figura 9: Gráfico das médias para remoção de DQO, utilizando as variáveis: (a) DQO inicial, (b) Teor de biomassa e (c) Interação entre DQO inicial e aeração.

A figura 10 apresenta a superfície de resposta para remoção de DQO, utilizando as variáveis: (a) aeração e DQO inicial, (b) DQO inicial e teor de biomassa e (c) teor de biomassa e aeração.

Na figura 10 (a) observa-se que a remoção de DQO foi maior com a DQO inicial no nível superior (600 mg.L<sup>-1</sup>), não sendo influenciada significativamente ( $p < 0,1$ ) pela aeração.

Nos níveis inferiores de aeração, independente da DQO inicial, a remoção de DQO foi superior a 60% e a concentração de DQO final, inferior a  $100 \text{ mg.L}^{-1}$ , indicando que aeração no nível inferior ( $3 \text{ L.min}^{-1}$ ) é suficiente para que o RBS atinja os limites estabelecidos pela Resolução Consema nº 128/2006. Sabendo-se que uma vazão de  $3 \text{ L.min}^{-1}$  de ar é o suficiente, teoricamente, para remover cerca de  $1,2 \text{ g}$  de DQO, o nível inferior de aeração já seria suficiente para remover a DQO presente no reator e assim manter o nível de oxigênio dissolvido acima do recomendado pela literatura.

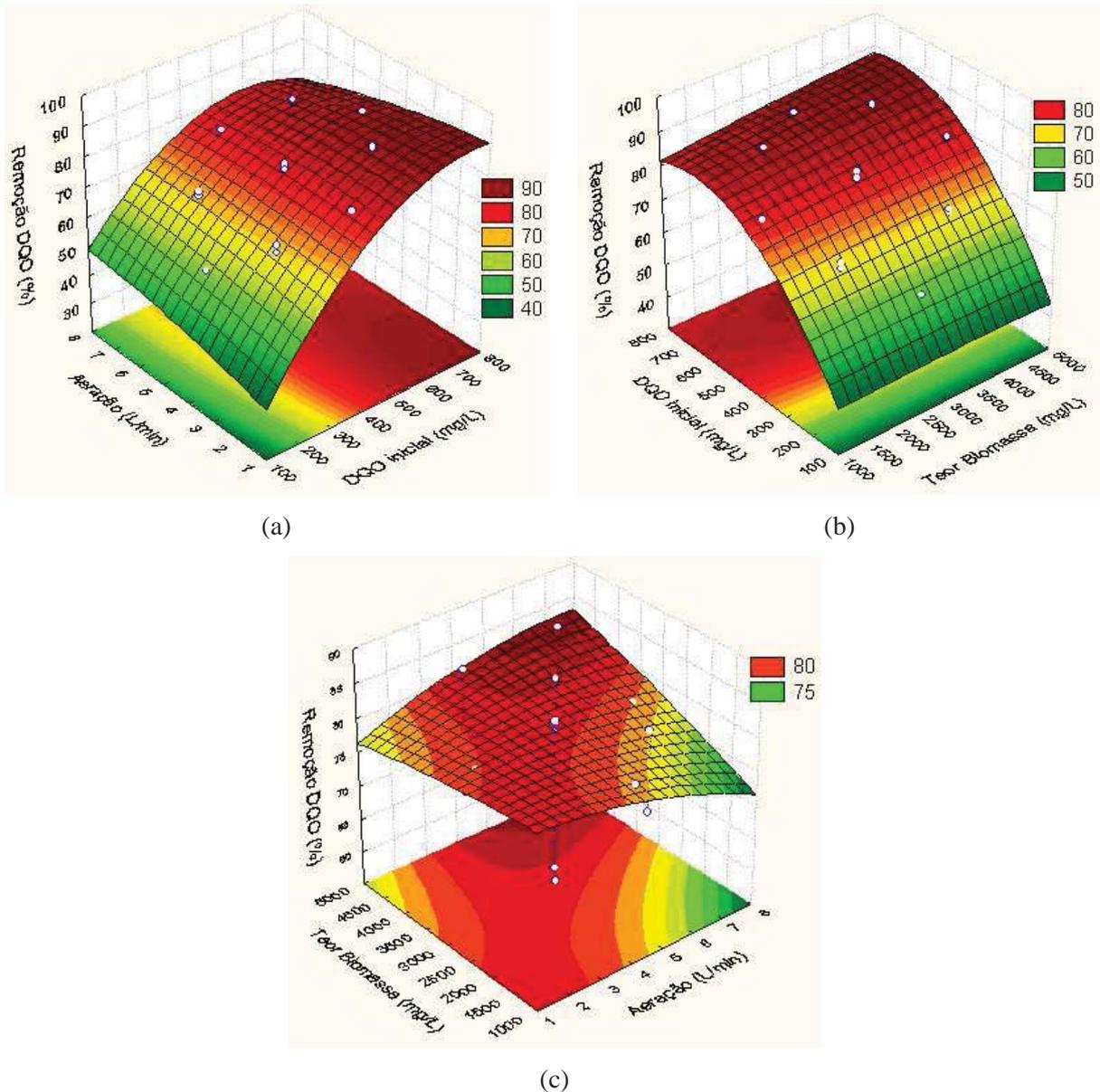


Figura 10: Superfície de resposta para remoção de DQO, utilizando as variáveis: (a) aeração e DQO inicial, (b) DQO inicial e teor de biomassa e (c) teor de biomassa e aeração.

A figura 10 (b) mostra que quanto maior a DQO inicial, maior a sua remoção, independente do teor de biomassa, mesmo sendo observado aumento na remoção de DQO

entre os níveis superior e inferior. Vale salientar que, mesmo nos níveis inferiores de teor de biomassa e DQO inicial, a remoção de DQO manteve-se acima de 50%, indicando boas condições de operação do reator RBS. Desta forma, pode-se adotar, na operação do RBS, a menor concentração de biomassa, ou seja  $2000 \text{ mg.L}^{-1}$ . Esta prática, considerando a adoção de  $3 \text{ L.min}^{-1}$  para a aeração, poderá otimizar os custos com aeração e disposição do lodo gerado.

Na figura 10 (c), percebe-se que a maior remoção de DQO foi obtida quando o teor de biomassa e a aeração estavam no ponto máximo, aparentemente contrariando as afirmações anteriores. Cabe ressaltar que, independente dos níveis estudados para estes fatores, a remoção de DQO foi superior a 80% e os valores de DQO após o tratamento em RBS foram inferiores a  $100 \text{ mg.L}^{-1}$ , atendendo a Resolução Conesma nº 128/2006.

#### 4.5.2 Remoção de NAT

A Tabela 16 apresenta a ANOVA (análise de variância) para a remoção de NAT. A análise mostrou que apenas o fator Aeração (Q) foi significativo ( $p < 0,1$ ).

TABELA 16: ANOVA para remoção de NAT, sendo L = linear e Q = quadrático

FATOR	SS	df	MS	F	p
<b>(1) Teor Biomassa (L)</b>	11,699	1	11,6985	0,17402	0,717074
<b>Teor Biomassa (Q)</b>	131,311	1	131,3114	1,95336	0,297077
<b>(2)DQO inicial (L)</b>	94,371	1	94,3712	1,40385	0,357793
<b>DQO inicial (Q)</b>	6,899	1	6,8987	0,10262	0,779076
<b>(3) Aeração (L)</b>	0,938	1	0,9384	0,01396	0,916743
<b>Aeração (Q)</b>	<b>902,125</b>	<b>1</b>	<b>902,1247</b>	<b>13,41981</b>	<b>0,067103</b>
<b>1L por 2L</b>	0,569	1	0,5689	0,00846	0,935088
<b>1L por 3L</b>	116,027	1	116,0272	1,72600	0,319389
<b>2L por 3L</b>	2,494	1	2,4939	0,03710	0,865050
<b>Falta de ajuste</b>	86,492	5	17,2983	0,25733	0,904114
<b>Erro puro</b>	134,447	2	67,2233		
<b>Total SS</b>	1408,061	16			

SS: Soma dos Quadrados, df: graus de liberdade, MS: Média dos Quadrados, F: distribuição de Fischer, p: nível de significância.

A figura 11 apresenta a superfície de resposta para remoção de NAT, utilizando as variáveis: (a) aeração e DQO inicial, (b) DQO inicial e teor de biomassa e (c) aeração e teor de biomassa.

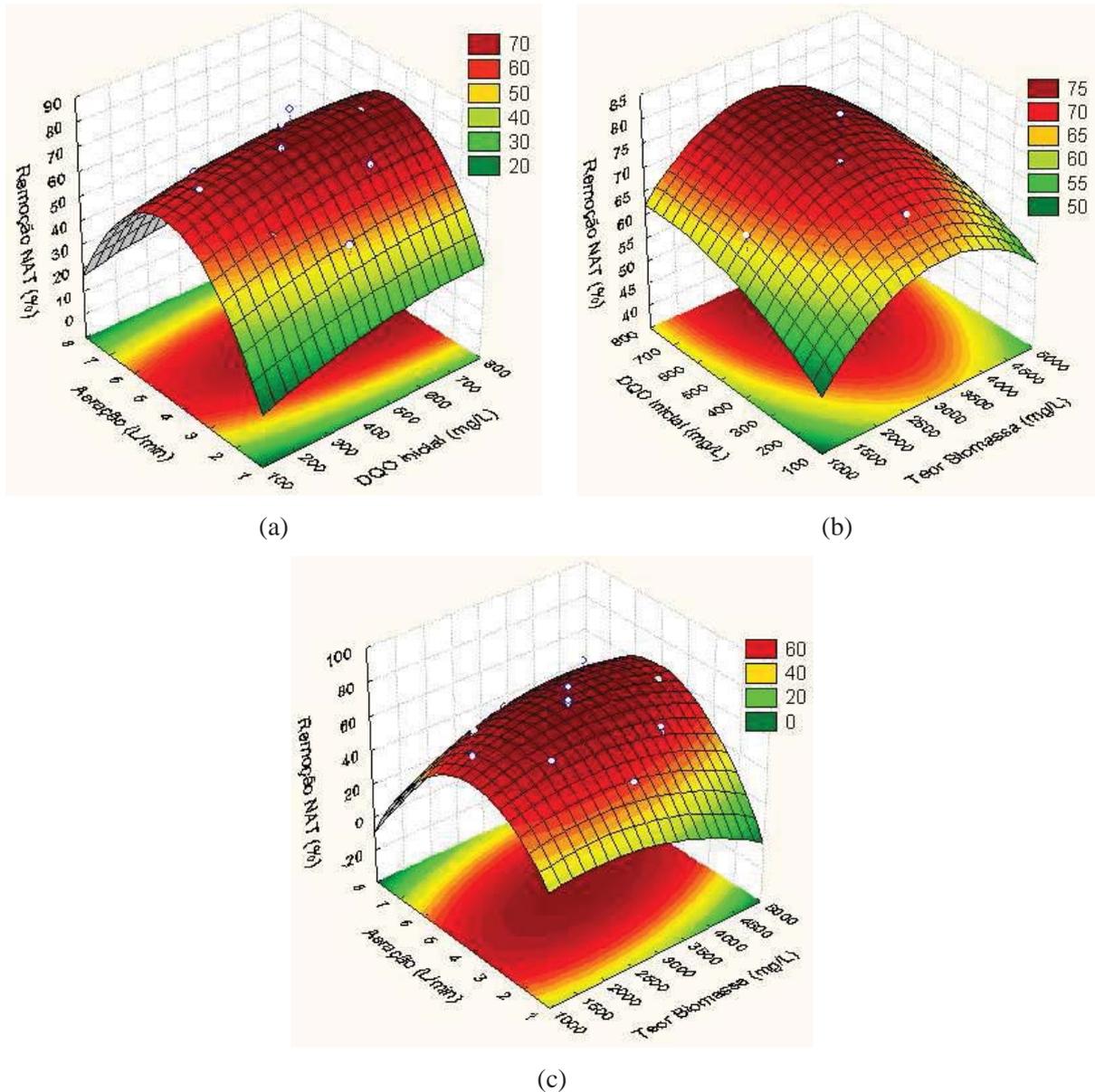


Figura 11: Superfície de resposta para remoção de NAT, utilizando as variáveis: (a) aeração e DQO inicial, (b) DQO inicial e teor de biomassa e (c) aeração e teor de biomassa.

Na figura 11 (a) pode-se observar que a remoção de NAT é maior com a aeração no ponto central, mas a DQO inicial não influenciou de forma significativa a remoção de NAT.

A figura 11 (b) mostra que, mesmo sem influência significativa dos fatores estudados, a remoção de NAT é maior com a DQO inicial no nível superior e o teor de biomassa no ponto central. Isto pode ser explicado em função de que as remoções de NAT nos pontos estudados ficaram próximos a região de máxima remoção.

Na figura 11 (c), nota-se que a maior remoção de NAT foi alcançada quando o teor de biomassa e a aeração estavam no ponto central, indicando a otimização das condições de operação.

#### 4.6 Otimização das condições de operação do RBS

A otimização das condições de operação do RBS tem que levar em consideração as remoções de DQO e NAT conjuntamente. Sendo assim, deve-se considerar o seguinte:

a) Em relação à aeração, esta não foi significativa para remoção de DQO, mas influenciou de forma significativa na remoção de NAT. Para a remoção de NAT acontecer, é preciso que haja uma maior aeração em comparação à remoção de DQO, o que justifica a utilização de níveis superiores para a remoção conjunta de DQO e NAT em um mesmo RBS;

b) Em relação ao teor de biomassa, a remoção de DQO não foi significativamente influenciada pela sua variação, o que indica que não seria necessário um controle rigoroso no teor de biomassa para remoção de DQO. Para a remoção de NAT, o ponto ótimo foi alcançado no ponto central, embora este fator não tenha sido significativo ( $p < 0,1$ ), indicando a utilização do nível inferior de biomassa ( $2000 \text{ mg.L}^{-1}$ ), assim como para a remoção de DQO. Esse teor de biomassa está entre os valores indicados por Sperling, 1997, que diz que os valores típicos de biomassa no reator variam de  $1500 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $3500 \text{ mg.L}^{-1}$ .

c) Em relação à DQO inicial, percebe-se que, ao se utilizar DQO inicial no nível superior houve um aumento, tanto para a remoção de DQO, quanto para a remoção de NAT. Isto mostra que a presença de carbono nos níveis superiores do estudo não impediu a remoção de nitrogênio. Sendo assim, a utilização de DQO inicial em níveis superiores é preferida.

Assim, as condições otimizadas para remoção de DQO e NAT de efluente de indústria de vegetais congelados foram: DQO inicial de  $600 \text{ mg.L}^{-1}$ , aeração de  $4,5 \text{ L.min}^{-1}$  e teor de biomassa de  $2000 \text{ mg.L}^{-1}$ .

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi comprovado que o RBS é particularmente adequado para o tratamento de água residuária caracterizada por frequentes mudanças na composição, suprimindo a necessidade das indústrias de vegetais congelados em encontrar um sistema de tratamento adequado às grandes variações dos efluentes gerados. Neste contexto, esta pesquisa poderá contribuir para que as indústrias de vegetais congelados possam obter um efluente tratado que atenda aos padrões de lançamento recomendados pela legislação ambiental.

As vantagens apresentadas pelo RBS, como o mínimo espaço requerido e a possibilidade de modificações durante a fase experimental estimulam a utilização deste reator como alternativa a outros tipos de tratamento biológico de efluentes, como as lagoas de estabilização, que além de ocuparem grandes áreas, necessitam de impermeabilização, o que torna sua instalação economicamente inviável.

A utilização do reator em batelada sequencial é uma importante alternativa para agroindústrias, possibilitando a retirada de grandes concentrações de nutrientes dos efluentes. O RBS demonstrou ser de fácil operação e controle, além de apresentar um bom desempenho na remoção de DQO e NAT, com 88% e 74,9% de remoção, respectivamente, o que comprova sua aplicabilidade.

As condições otimizadas para remoção de DQO e NAT de efluente de indústria de vegetais congelados são: DQO inicial de  $600 \text{ mg.L}^{-1}$ , aeração de  $4,5 \text{ L.min}^{-1}$  e teor de biomassa de  $2000 \text{ mg.L}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20. ed. Washington: APHA, 2000.

AKIN, B. S.; UGURLU, A. Monitoring and control of biological nutrient removal in a Sequencing Batch Reactor. *Process Biochemistry*, v. 40, p. 2873-2878, 2005.

AL-REKABI, W. S.; QUIANG, H.; QUIANG W. W. Review on Sequencing Batch Reactors. *Pakistan Journal of Nutrition*, p. 11-19, 2007.

BOAVENTURA, K. M.; ROQUEIRO, N.; COELHO, M. A. Z., ARAÚJO, O. Q. F. State observers for a biological wastewater nitrogen removal process in a sequential batch reactor. *Biosource Technology*, v. 79, p. 1-14, 2001.

CARDENAS, C.; PERRUOLO, T.; TARRE, Y. Remoción de nutrientes em um reator discontinuo secuencial. *INCI*, v. 31, n. 11, p. 794-801, 2006.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Conama nº 357/2005. Disponível em: [www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf). Acesso em: 15/01/2009.

CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Consema nº 128/2006. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/pdf/Resolucao128Efluentes.pdf> >. Acesso em: 21 nov. 2008.

COSTA, Tatiana B. *Desempenho de reator em batelada sequencial (RBS) com enchimento escalonado no tratamento de esgoto sanitário doméstico*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

CYBIS, L. F.; PICKBRENNER, K. Uso de reator sequencial em batelada para pós tratamento de efluentes de tratamento anaeróbio. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre, 2000.

CYBIS, L. F. A.; SANTOS, A. V.; GEHLING, G. R. Eficiência do Reator Sequencial em Batelada (RBS) na remoção de nitrogênio no tratamento de esgoto doméstico com DQO baixa. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 260-264, jul./set. 2004.

DATTA, Tânia; LIU, Yanjie; GOEL, Ramesh. Evaluation of simultaneous nutrient removal and sludge reduction using laboratory scale sequencing batch reactors. *Chemosphere*, v. 76, p. 697-705, 2009.

DUTRA, A. J. B.; SOBRAL, L. G. S.; LEMOS, F. A.; SANTOS, F. H. S. S. O processo eletroquímico como alternativa para o tratamento de efluentes cianídricos. *Rev. Esc. Minas*, Ouro Preto, v. 55, n. 4, p. 267-272, out./dez. 2002.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Wastewater technology fact sheet: Sequencing batch reactors. Set. 1999.

FARIA, O. L. V.; KOETZ, P. R.; SANTOS, M. S.; NUNES, W. A. Remoção de fósforo de efluentes da parbolização de arroz por absorção biológica estimulada em Reator em Batelada Sequencial (RBS). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 26, n. 2, p. 309-317, abr./jun. 2006.

FREITAS, F.; TEMUDO, M. F.; CARVALHO, G.; OEHMEN, A.; REIS, M. A. M. Robustness of sludge enriched with short SBR cycles for biological nutrient removal. *Bioresource Technology*, v. 100, p. 1969-1976, 2009.

GIL, A. S. L.; HEMKEMEIER, M. Otimização do sistema de tratamento de efluentes de indústria de alimentos minimamente processados. Relatório Bitec, 2009.

GIL, A. S. L.; BONATTO, J.; TEDESCO, C.; GREGORI, A.; BETTO, T. L.; HEMKEMEIER, M.; KOETZ, P. R. Avaliação da eficiência de remoção de poluentes de uma estação de tratamento de efluentes de indústria de vegetais congelados da região norte do RS. In: SIMPÓSIO DE ALIMENTOS PARA A REGIÃO SUL, 6, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo, 2009.

GIL, A. S. L.; BONATTO, J.; TEDESCO, C.; GREGORI, A.; BETTO, T. L.; HEMKEMEIER, M.; KOETZ, P. R. Caracterização e eficiência de remoção da DQO de efluente de indústria de vegetais congelados. In: SIMPÓSIO DE ALIMENTOS PARA A REGIÃO SUL, 6, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo, 2009.

HARTMANN, Francine S. *Caracterização e proposta de tratamento de efluente de uma indústria de alimentos minimamente processados*. 2008. Monografia (Especialização em Tecnologia e Controle de Qualidade de Alimentos) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2008.

HONG, S. H.; LEE, M. W.; LEE, D. S.; PARK, J. M. Monitoring of sequencing batch reactor for nitrogen and phosphorus removal using neural networks. *Biochemical Engineering Journal*, v. 35, p. 365-370, 2007.

IAMAMOTO, Cristina Y. *Remoção de nitrogênio de águas residuárias com elevada concentração de nitrogênio amoniacal em reator contendo biomassa em suspensão operado em bateladas sequenciais e sob aeração intermitente*. 2006. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

KARGI, F.; UYGUR, A. Nutrient removal performance of a sequencing batch reactor as a function of the sludge age. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 31, p. 842-847, 2002.

KIM, Y. H.; YOO, C. K.; LEE, I. B. Optimization of biological nutrient removal in a SBR using simulation-based iterative dynamic programming. *Chemical Engineering Journal*, v. 139, p. 11-19, 2008.

KREUTZ, Cristiane. *Avaliação do consumo e das potencialidades de reuso da água de processo em uma agroindústria de vegetais*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

LI, J.; XING, X. H.; WANG, B. Z. Characteristics of phosphorus removal from wastewater by biofilm sequencing batch reactor (SBR). *Biochemical Engineering Journal*, v. 16, p. 279-285, 2003.

LI, J. P.; HEALY, M. G.; ZHAN, X. M.; RODGERS, M. Nutrient removal from slaughterhouse wastewater in an intermittently aerated sequencing batch reactor. *Biosource Technology*, v. 99, p. 7644-7650, 2008.

MOAWA A.; MAHMOUD, M. A.; EL-KHATEEB, E.; EL-MOLLA. Coupling of sequencing batch reactor and UASB reactor for domestic wastewater treatment. *Desalination*, v. 242, p. 325-335, 2009.

NI, B. J.; XIE, W. M.; LIU, S. G.; YU, H. Q.; WANG, Y. Z.; WANG, G.; DAI, X. L. Granulation of activated sludge in a pilot-scale sequencing batch reactor for the treatment of low-strength municipal wastewater. *Water Research*, v. 43, p. 751-761, 2009.

RAMJEAWON, T. Cleaner production in Mauritian cane-sugar factories. *Journal of Cleaner Production*, v.8, p. 503-510, 2000.

SANTOS, Vanessa R. *Reator em Batelada Sequencial (RBS) para o tratamento de efluentes de pequenas e médias indústrias de Laticínios*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.

SOUZA, S. M.; ARAÚJO, O. Q. F.; COELHO, M. A. Z. Model-based optimization of a sequencing batch reactor for biological nitrogen removal. *Biosource Technology*, v. 99, p. 3213-3223, 2008.

SPERLING, Marcos Von. **Lodos Ativados**. v.4. Belo Horizonte: UFMG, 1997.

SPERLING, Marcos Von. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: PROSAB**, 2001. Disponível em: < [http://www.finep.gov.br/prosab/pos\\_tratamento.htm](http://www.finep.gov.br/prosab/pos_tratamento.htm)>. Acesso em 30 jul. 2009.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento biológico**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

SREBERNICH, Silvana M. Utilização do dióxido de cloro e do ácido peracético como substitutos do hipoclorito de sódio na sanitização do cheiro-verde minimamente processado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, p. 744-750, out.-dez. 2007.

SURAMPALLI, R. Y.; TYAGI, R. D.; SCHEIBLE, O. K.; HEIDMAN, J. A. Nitrification, denitrification and phosphorus removal in sequential batch reactors. *Biosource Technology*, Grã Bretanha, v. 61, p. 151-157, 1997.

WANG, F.; LU, S.; WEI, Y.; JI, M. Characteristics of aerobic granule and nitrogen and phosphorus removal in a SBR. *Journal of Hazardous Materials*, v. 164, p. 1223-1227, 2009.

WIMBERGER, D.; VERDE, C. Fault diagnosticability for an aerobic batch wastewater treatment process. *Control Engineering Practice*, v. 16, p. 1344-1353, 2008.

## APÊNDICES

## APÊNDICE 1 – ALEATORIZAÇÃO

Ordem corrida	Teor de biomassa (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO inicial (mg.L <sup>-1</sup> )	Quantidade de ar (L.min <sup>-1</sup> )
1	2000	600	6
2	2000	300	3
3	2000	300	3
4	2000	600	6
5	2000	600	3
6	3000	450	4,5
7	2000	300	6
8	2000	600	3
9	2000	300	6
10	2000	300	3
11	2000	600	6
12	2000	300	6
13	2000	300	6
14	3000	450	4,5
15	4000	600	3
16	4000	300	3
17	4000	600	3
18	4000	600	6
19	3000	450	4,5
20	4000	600	3
21	4000	600	3
22	4000	300	6
23	4000	600	6
24	4000	300	3
25	4000	300	3
26	4000	300	6
27	4000	600	6
28	4700	450	4,5
29	3000	200	4,5
30	3000	450	7
31	3000	450	2
32	3000	700	4,5
33	1300	450	4,5

Quadro 3: Aleatorização dos experimentos realizados.

## APÊNDICE 2 – CURVA PADRÃO SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS

TABELA 17: Análise de Sólidos Suspensos Totais do lodo utilizado no RBS

Amostra Lodo (Concentração)	Papel	m amostra	SST
<b>Branco</b>	0,5925	0,593	10
<b>1000</b>	0,5079	0,5718	1278
<b>1500</b>	0,4685	0,5635	1900
<b>2000</b>	0,5966	0,7296	2660
<b>2500</b>	0,542	0,721	3580
<b>3000</b>	0,466	0,6685	4050
<b>3500</b>	0,6117	0,8486	4738
<b>4000</b>	0,7921	1,0675	5508

TABELA 18: Leitura do lodo em espectrofotômetro a 600 nm.

Curva padrão Sólidos Suspensos Totais (SST) - 600 nm						
Concentração	Conc. Real	Diluição	Abs1	Abs2	Abs 3	Abs média
1000	<b>1278</b>	5x	0,352	0,310	0,304	0,322
1500	<b>1900</b>	5x	0,450	0,457	0,449	0,452
2000	<b>2660</b>	5x	0,575	0,578	0,569	0,574
2500	<b>3580</b>	5x	0,699	0,712	0,712	0,708
3000	<b>4050</b>	5x	0,827	0,857	0,860	0,848
3500	<b>4738</b>	5x	0,917	0,971	0,963	0,950
4000	<b>5508</b>	5x	1,076	1,076	1,092	1,081

Obs.: A Concentração corresponde às soluções preparadas e a Concentração real corresponde a concentração obtida pela análise de SST (centrifugação).

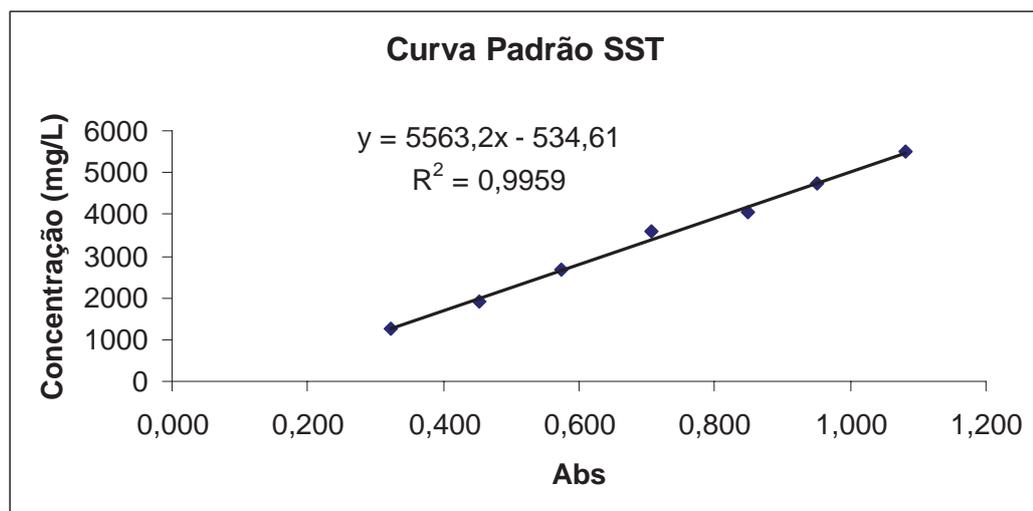


Figura 12: Curva Padrão de SST do lodo utilizado no reator

### APÊNDICE 3 – RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS COM RBS

TABELA 19: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
20/5/2009	Bruto	600	0	0,03	0	34,4	0			
	Inicial	484	19	0,13	-298,0	35,8	-4,3	2568	716	186
	Final	162,0	73,0	0,14	-333,4	17,9	47,8	2482	678	322

TABELA 20: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
21/5/2009	Bruto	300	0	0,02	0	18,5	0			
	Inicial	211	30	0,04	-117,2	24,6	-33,1	1857	955	215
	Final	0	100	0,04	-137,6	10,1	45,5	3339	2305	185

TABELA 21: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
22/5/2009	Bruto	300	0	0,02	0	18,5	0			
	Inicial	324	-8	0,03	-56,1	23,5	-27,1	846	-120	484
	Final	103,7	65,4	0,03	-54,9	5,6	69,7	890	-146	831

TABELA 22: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
26/5/2009	Bruto	300	0	0,02	0	18,5	0			
	Inicial	219	27	0,04	-153,5	19,0	-2,9	426	-146	775
	Final	99,8	66,7	0,05	-193,1	10,1	45,5	239	-423	1257

TABELA 23: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
27/5/2009	Bruto	300	0	0,02	0	18,5	0			
	Inicial	366	-22	0,05	-214,1	17,9	3,2	171	-689	2275
	Final	95,3	68,2	0,06	-349,2	7,8	57,6	453	-343	1081

TABELA 24: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
28/5/2009	Bruto	300	0	0,02	0	18,5	0			
	Inicial	309	-3	0,04	-159,2	17,9	3,2	477	-309	902
	Final	94,5	68,5	0,04	-126,3	9,0	51,6	141	-671	3486

TABELA 25: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
30/6/2009	Bruto	600	0	0,22	0	44,1	0			
	Inicial	696	-16	0,27	-22,4	34,7	21,4	884	12	678
	Final	142,3	76,3	0,28	-28,3	19	56,9	906	864	883

TABELA 26: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
1/7/2009	Bruto	600	0	0,22	0	44,1	0			
	Inicial	612	-2	0,27	-21,7	35,8	18,8	973	257	647
	Final	110,7	81,5	0,25	-13,0	16,8	61,9	1219	351	524

TABELA 27: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
2/7/2009	Bruto	600	0	0,22	0	44,1	0			
	Inicial	697	-16	0,26	-20,3	32,5	26,4	508	-40	492
	Final	11,4	98,1	0,23	-7,4	15,7	64,5	961	-	343

TABELA 28: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
8/7/2009	Bruto	600	0	0,22	0	53,6	0			
	Inicial	747	-24	0,29	-8,1	34,7	35,3	836	72	813
	Final	42,0	93,0	0,28	-5,2	19	64,5	1295	381	633

TABELA 29: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
9/7/2009	Bruto	300	0	0,13	0	26,8	0			
	Inicial	367	-22	0,21	-62,7	21,3	20,6	983	305	620
	Final	84,5	71,8	0,16	-22,8	11,2	58,2	956	332	638

TABELA 30: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 2000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
10/7/2009	Bruto	600	0	0,26	0	53,6	0			
	Inicial	762	-27	0,28	-5,3	33,6	37,4	1175	449	570
	Final	93,7	84,4	0,25	6,5	11,2	79,1	1302	578	621

TABELA 31: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 450 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
14/7/2009	Bruto	450	0	0,2	0	40,2	0			
	Inicial	385	15	0,28	-43,3	23,5	41,5	2405	619	170
	Final	85,9	80,9	0,26	-30,4	13,4	66,6	2747	823	294

TABELA 32: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 450 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
16/7/2009	Bruto	450	0	0,22	0	45,9	0			
	Inicial	589	-31	0,24	-8,8	29,1	36,6	720	-336	541
	Final	92,8	79,4	0,23	-7,5	12,3	73,2	688	-466	784

TABELA 33: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 450 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
17/7/2009	Bruto	450	0	0,22	0	45,9	0			
	Inicial	660	-47	0,25	-13,9	30,2	34,2	350	-292	1456
	Final	85,1	81,1	0,23	-6	7,8	82,9	1054	498	540

TABELA 34: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
18/8/2009	Bruto	600	0	0,29	0	61,3	0			
	Inicial	704	-17	0,3	-4,4	43,7	28,7	1323	358	438
	Final	179,4	70,1	0,32	-11	32,5	47	1354	336	591

TABELA 35: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
19/8/2009	Bruto	300	0	0,12	0	28,4	0			
	Inicial	313	-4	0,25	-102,3	23,5	17,1	1405	683	363
	Final	95,1	68,3	0,26	-108,5	16,8	40,8	1018	312	628

TABELA 36: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
20/8/2009	Bruto	600	0	0,24	0	56,7	0			
	Inicial	803	-34	0,31	-26,6	40,3	28,9	1482	688	344
	Final	62,7	89,6	0,25	-3,1	13,4	76,3	1347	573	520

TABELA 37: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
21/8/2009	Bruto	600	0	0,24	0	56,7	0			
	Inicial	752	-25	0,3	-20,4	33,6	40,8	1192	515	394
	Final	33,2	94,5	0,27	-8,3	15,7	72,4	1625	1002	369

TABELA 38: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
26/8/2009	Bruto	600	0	0,25	0	41,2	0			
	Inicial	740	-23	0,33	-30,4	25,8	37,5	1597	968	288
	Final	0	100	0,3	-20,1	17,4	57,9	1530	829	386

TABELA 39: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
27/8/2009	Bruto	300	0	0,12	0	20,6	0			
	Inicial	196	35	0,26	-107,5	18,5	10,3	1426	743	358
	Final	92,2	69,3	0,26	-110,8	7,3	64,7	1327	693	482

TABELA 40: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
28/8/2009	Bruto	300	0	0,12	0	20,6	0			
	Inicial	266	11	0,22	-74,2	15,7	23,9	1947	1268	277
	Final	93,8	68,7	0,25	-99	6,2	70,1	1659	993	410

TABELA 41: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
1/9/2009	Bruto	600	0	0,25	0	41,2	0			
	Inicial	532	11	0,3	-21,1	21,8	47	1306	706	375
	Final	91,8	84,7	0,32	-26,6	10,6	74,2	1759	1018	392

TABELA 42: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 3,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
2/9/2009	Bruto	300	0	0,14	0	21,9	0			
	Inicial	369	-23	0,27	-92,7	16,8	23,4	1597	874	269
	Final	88,8	70,4	0,27	-92,6	7,8	64,3	1425	779	386

TABELA 43: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
3/9/2009	Bruto	300	0	0,14	0	21,9	0			
	Inicial	286	5	0,23	-62,2	21,3	3,0	1582	907	386
	Final	84,3	71,9	0,25	-76,4	10,6	51,5	1438	738	438

TABELA 44: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 300 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
4/9/2009	Bruto	300	0	0,14	0	21,9	0			
	Inicial	387	-29	0,20	-40,7	27,4	-25,1	1636	1037	324
	Final	88,7	70,4	0,25	-74,8	7,8	64,3	1493	878	449

TABELA 45: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 600 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 6,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
8/9/2009	Bruto	600	0	0,28	0	43,9	0			
	Inicial	676	-13	0,29	-2,9	29,7	32,4	1392	855	460
	Final	91,3	84,8	0,30	-6,5	14,0	68,1	1424	858	499

TABELA 46: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 4700 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 450 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
9/9/2009	Bruto	450	0	0,21	0	32,9	0			
	Inicial	403	10	0,29	-34,8	23,0	30,2	2429	1512	243
	Final	90,0	80,0	0,27	-27,2	11,8	64,3	2074	1062	395

TABELA 47: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 200 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
10/9/2009	Bruto	200	0	0,07	0	13,4	0			
	Inicial	214	-7	0,19	-158,0	15,1	-12,7	881	381	363
	Final	86,4	56,8	0,20	-169,2	3,9	70,8	864	418	509

TABELA 48: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 450 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 7,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
11/9/2009	Bruto	450	0	0,17	0	30,2	0			
	Inicial	483	-7	0,24	-45,5	23,5	22,1	825	344	449
	Final	93,7	79,2	0,25	-54,5	15,7	48,0	858	387	454

TABELA 49: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 450 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 2,0 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
14/9/2009	Bruto	450	0	0,17	0	30,2	0			
	Inicial	468	-4	0,27	-61,4	26,3	12,8	876	452	354
	Final	95,8	78,7	0,26	-58,0	14,6	51,7	943	531	488

TABELA 50: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 3000 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 700 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
15/9/2009	Bruto	700	0	0,26	0	46,9	0			
	Inicial	776	-11	0,3	-16,8	35,8	23,6	879	75	375
	Final	94,0	86,6	0,27	-6,1	11,8	74,9	954	-18	472

TABELA 51: Resultados do experimento com as variáveis teor de biomassa = 1300 mg.L<sup>-1</sup>, DQO inicial = 450 mg.L<sup>-1</sup> e quantidade de ar = 4,5 L.min<sup>-1</sup>

DATA	Amostra	Conc. DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. PT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Conc. NAT (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	SST	SSV	IVL
16/9/2009	Bruto	450	0	0,18	0	35,0	0			
	Inicial	631	-40	0,27	-45,8	28,6	18,4	133	-31	1200
	Final	93,9	79,1	0,23	-25,4	11,8	66,4	58	-100	2602