

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**DISSERTAÇÃO:**

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES DE AQUACULTURA:  
A Recirculação como uma Alternativa Sustentável**

Cassiano Cauê Possas Porto

Orientador: Prof. Dr. Antônio Domingues Benetti

Co-orientadora: Profa. Dra. Silvia Maria Guimarães de Souza

MAIO DE 2010

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**Instituto de Pesquisas Hidráulicas**

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE**  
**EFLUENTES DE AQUACULTURA:**  
A Recirculação como uma Alternativa Sustentável

Cassiano Cauê Pôssas Porto

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (M.Sc.).

Orientador: Prof. Dr. Antônio Domingues Benetti

Co-orientadora: Profa. Dra. Silvia Maria Guimarães de Souza

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez

Departamento de Aquicultura - UFSC

Prof. Dr. Luís André Nassr de Sampaio

PPG em Aquicultura - FURG

Prof. Dr. Luiz Olinto Monteggia

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS

Porto Alegre, maio de 2010

Dedico este trabalho  
a minha esposa, amiga  
e companheira Karina

## APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no Laboratório de Aquacultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob a orientação do Prof. Antônio Domingues Benetti da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e co-orientação da Profa. Silvia Maria Guimarães de Souza da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a minha esposa, Karina, que participou ativamente do trabalho e ficou sempre ao meu lado.

Ao meu orientador Antônio D. Benetti pelos conhecimentos transmitidos e pelo apoio dado.

Aos estagiários Gabriela e Renato por toda dedicação, ajuda e amizade.

Ao professor Luiz A. Endres por permitir que assistisse às aulas de hidráulica, sem as quais jamais conseguiria ser aprovado na seleção do mestrado.

A todos os colegas do laboratório de Aquacultura, Leandro, André, Darci, Juliana, Raquel, Maira, Diego, Luís, Frederico, Kyrie, etc., por toda a ajuda. A minha co-orientadora Silvia e ao professor Danilo por gentilmente permitirem que eu desenvolvesse o trabalho no Laboratório de Aquacultura e por toda ajuda e apoio.

Aos técnicos do IPH Mara, Susan e principalmente ao Tiago, pela ajuda e ao último pelas longas horas de cromatografia.

À Nadir, sempre disposta a ajudar a conseguir recursos e a resolver os problemas.

Ao professor Cimélio Bayer por permitir que eu usasse o laboratório de análises.

Ao Tonho pela amizade e ajuda.

Esta pesquisa foi realizada com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Edital MCT/CNPq/SEAP-PR/CT-Agronegócio/CT-Verde Amarelo/CT Saúde/CT Hidro – nº7/2008, Projeto Sistema de Tratamento com Recirculação de Efluentes Aplicado à Aquacultura: uma alternativa sustentável, Processo 560.074/2008-5.

## RESUMO

O intenso desenvolvimento da aquacultura tem sido acompanhado de um aumento nos impactos ambientais causados por esta atividade. As descargas de efluentes da aquacultura em ecossistemas aquáticos são uma fonte de deterioração da qualidade ambiental e podem causar eutrofização. O presente trabalho investigou e avaliou o desempenho de um sistema de tratamento e recirculação de efluentes de aquacultura em relação à sua eficiência em manter e restaurar os parâmetros de qualidade da água em níveis adequados ao ciclo produtivo, considerando as implicações desta técnica na conservação dos recursos hídricos. O experimento foi conduzido em dois sistemas funcionando paralelamente, simulando situações com e sem tratamento e recirculação de efluentes. Os sistemas aquícolas, em escala experimental, foram compostos pelos tanques e pelas unidades de tratamento e recirculação. Os tanques de cultivo foram povoados com juvenis de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). Os sistemas sem recirculação e com recirculação receberam, respectivamente, 65 indivíduos (biomassa total inicial = 477g) e 64 indivíduos (biomassa total inicial = 491g). O sistema de tratamento e recirculação de efluentes foi composto por um filtro biológico de leito flutuante granular (*floating beads biofilter*) e duas colunas de aeração, com diferentes meios de preenchimento. Ao longo dos seis meses de experimento foram medidos os principais parâmetros de qualidade da água para a aquacultura e para a estimativa do funcionamento e desempenho do sistema de tratamento e recirculação de efluentes. O desempenho zootécnico obtido nos tanques foi também avaliado e comparado. Análise de variância (ANOVA) foi utilizada para comparar os dados. Na comparação entre a água de cultivo dos tanques, os seguintes parâmetros apresentaram um valor mais elevado ( $p < 0,05$ ) para o sistema com recirculação: nitrato, carbono orgânico total, fosfato, cloreto, sulfato e condutividade. A água de cultivo do tanque sem recirculação apresentou maiores valores de nitrogênio amoniacal, sólidos suspensos e turbidez ( $p < 0,05$ ). As duas colunas de aeração usadas no experimento não apresentaram diferenças significativa entre si ( $p > 0,05$ ), apresentando uma eficiência de aeração de 67%. O sistema com recirculação foi caracterizado por um uso semanal de água significativamente menor ( $p < 0,05$ ), utilizando apenas 36% do volume de água que foi necessário para o tanque sem recirculação. Índícios de nitrificação foram identificados em ambos os sistemas, porém este processo apresentou uma importância maior sobre a qualidade da água no sistema com recirculação e filtro biológico. O sistema com recirculação produziu efluentes (através da retrolavagem do filtro) mais concentrados ( $p < 0,05$ ) em relação a nitrato, alcalinidade, carbono orgânico total, fosfato, sólidos suspensos e dissolvidos, cloreto, sulfato,

condutividade. Em relação à carga de resíduos lançada ao ambiente, o sistema sem recirculação obteve valores maiores ( $p < 0,05$ ) de nitrogênio amoniacal, nitrato, carbono orgânico total, fosfato, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, fluoreto, cloreto e sulfato. Para os demais parâmetros, não houve diferenças significativas quanto à carga de resíduo do efluente produzido ( $p > 0,05$ ). Não houve diferenças significativas entre os dois sistemas comparados ( $p > 0,05$ ) quanto ao ganho de peso das tilápias durante o período de avaliação do desempenho zootécnico. A partir da biomassa total de peixes produzida nos dois tanques durante todo o período experimental calculou-se que o sistema sem recirculação fez uso de 4053 litros de água para cada kg (L/kg) de peixe produzido e o sistema com recirculação usou 1129 L/kg. O sistema de aquacultura com recirculação estudado, construído a partir de materiais nacionais e de baixo custo, obteve êxito como forma de criação de peixes, oferecendo uma significativa redução no volume de água usado e na carga de alguns resíduos em seus efluentes, quando comparado a técnicas convencionais de aquacultura. Apesar de haver significativas necessidades de aprimoramento do protótipo usado e de estudos complementares em relação ao assunto tendo em vista a realidade brasileira, principalmente contemplando a sua viabilidade econômica em diferentes cenários, o experimento conduzido oferece subsídios para o desenvolvimento da tecnologia de aquacultura com recirculação em âmbito nacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aquacultura com Recirculação; Filtro Biológico; Tratamento de Efluentes de Aquacultura; Produção Intensiva de Tilápias

## ABSTRACT

The active aquaculture growth that has been observed over the last few decades has been accompanied by important environmental impacts. One main concern is the discharge of aquaculture effluents in aquatic systems. Since these effluents contain nutrients, their discharge can contribute to the eutrophication of the receiving water bodies. The present work describes an investigation in which the aquaculture effluent was treated and recycled back to the system. The treatment process was evaluated with respect to its capability to remove contaminants and restore water quality to levels that were adequate to the fishing productive cycle. Such a system can contribute to the conservation of water resources by saving water and discarding fewer pollutants. The experiment was conducted in two pilot systems working in parallel, simulating fish culture processes with and without effluent treatment and recycling. The culture tanks were populated with Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The systems with and without recirculation were populated with 65 (initial total biomass = 477g) and 64 (initial total biomass = 491g) individuals, respectively. The effluent treatment and recirculation system were composed by a floating bead biofilter and two natural aeration columns, each filled with different media. The experiment was conducted along six months, during which the systems were monitored for water quality parameters and zootechnical performance. Analysis of variance (ANOVA) was used to compare data collected in the culture tanks. The following parameters presented a higher value ( $p < 0.05$ ) in the recirculation system: nitrate, total organic carbon, phosphate, chloride, sulfate and conductivity. Culture water without recirculation presented higher values for total ammonia nitrogen, suspended solids and turbidity ( $p < 0.05$ ). The two aeration columns used in the experiment had about 67% aeration efficiency. Water use in the recirculation system was significantly lower ( $p < 0.05$ ) than the system without recycling, using just 36% of the water needed by the latter. Nitrification occurred in both systems, but had greater importance in the process with recycling and biological filtration. Filter backwashing from the recirculating system produced effluent that was more concentrated ( $p < 0.05$ ) than the system without recycling with respect to nitrate, alkalinity, total organic carbon, phosphate, suspended and dissolved solids, chloride, sulfate and conductivity. On the contrary, the residue loads discharged from the system without recirculation were higher ( $p < 0.05$ ) for total ammonia nitrogen, nitrate, total organic carbon, phosphate, suspended and dissolved solids, fluoride, chloride and sulfate. For the remaining parameters, no significant difference in the residue loads of the two systems was observed ( $p > 0.05$ ). One important observation was that no significant difference occurred

between the two systems ( $p>0.05$ ) regarding tilapia weight gains in the experimental period. Based on the fish biomass growth and water use measured on both systems, it was calculated that the system without recirculation used 4053 liters of water per each kg of produced fish. On the other hand, the system with recirculation used 1129 liters per kg. Considering the outlined results, it was concluded that the recirculating aquaculture system, built with simple and low cost national material, was successful with respect to fish cultivation, water use reduction, and effluent residue load discharges when compared with the conventional aquaculture technique. Despite the required refinements of the tested prototype, especially regarding scale and economic viability in different scenarios, it offers subsidies to the advance of the recirculating aquaculture technology at the national level.

**KEYWORDS:** Recirculating Aquaculture; Biological Filter; Aquaculture Wastewater Treatment; Tilapias Intensive Production



## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 – OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 – Objetivo Geral.....	3
2.2—Objetivos Específicos .....	3
<b>3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
3.1 - Contexto Histórico-ambiental .....	4
3.2 - A Aquacultura Atual e suas Implicações Ambientais .....	4
3.3 - Parâmetros de Qualidade da Água na Aquacultura .....	8
3.3.1 - Oxigênio Dissolvido .....	9
3.3.2 - pH .....	9
3.3.3 - Alcalinidade.....	10
3.3.4 - Temperatura.....	11
3.3.5 - Salinidade .....	11
3.3.6 - Nitrogênio Amoniacal .....	12
3.3.7 - Nitrito e Nitrato .....	13
3.3.8 - Sólidos Suspensos e Dissolvidos .....	14
3.4 - Manutenção da Qualidade da Água.....	14
3.5 - Aquacultura com Recirculação .....	17
3.5.1 - Oxigenação e Dessorção de Gases.....	17
3.5.2 - Remoção de Amônia e Nitrito .....	18
3.5.3 – Remoção de Sólidos.....	20
3.5.4 - Demais Componentes .....	20
3.6 – Aquacultura com Recirculação: Tendências e Pesquisas Recentes.....	21
<b>4 - METODOLOGIA .....</b>	<b>23</b>
4.1 – Parâmetros de Projeto.....	24
4.1.1 – Produção Esperada de Nitrogênio Amoniacal .....	25
4.1.2 – Consumo Esperado de Oxigênio .....	26
4.1.3 – Produção Esperada de Sólidos .....	26
4.2 – Dimensionamento e Construção do Protótipo.....	27
4.2.1 – Tanques de Cultivo .....	27
4.2.2 – Colunas de Aeração .....	28
4.2.3 – Filtro Biológico .....	30
4.2.4 – Instalação Hidráulica.....	32
4.3 – Manutenção do Sistema.....	33
4.3.1 – Manutenção dos Tanques de Cultivo .....	33
4.3.2 – Manutenção das Unidades de Tratamento e Recirculação.....	34
4.4 – Monitoramento dos Parâmetros de Qualidade da Água.....	35
4.5 – Desempenho do Filtro Biológico .....	36
4.6 – Desempenho Zootécnico .....	37
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>39</b>
5.1 – Parâmetros de Qualidade da Água .....	39
5.1.1 - Temperatura.....	40

5.1.2 - pH .....	42
5.1.3 - Alcalinidade .....	43
5.1.4 – Turbidez .....	44
5.1.5 – Condutividade .....	46
5.1.6 – Sólidos Totais .....	47
5.1.7 – Sólidos Suspensos .....	49
5.1.8 – Sólidos Dissolvidos .....	50
5.1.9 – Oxigênio Dissolvido .....	52
5.1.10 – Nitrogênio Amoniacal Total .....	53
5.1.11 – Nitrito .....	55
5.1.12 – Nitrato .....	56
5.1.13 – Nitrogênio Orgânico .....	57
5.1.14 – Fosfato .....	59
5.1.15 – Carbono Orgânico Total .....	60
5.1.16 – Cloreto .....	62
5.1.17 – Sulfato .....	63
5.1.18 – Fluoreto .....	65
<b>5.2 – Controle dos Sistemas .....</b>	<b>66</b>
5.2.1 – Uso de Água .....	66
5.2.2 – Correção de Alcalinidade .....	69
<b>5.3 – Desempenho do Sistema com Recirculação .....</b>	<b>70</b>
5.3.1 – Desempenho do Filtro .....	70
5.3.2 – Balanço de Massas das Formas de Nitrogênio Inorgânico .....	74
5.3.3 – Colunas de Aeração .....	76
<b>5.4 – Carga dos Efluentes .....</b>	<b>77</b>
<b>5.5 – Eficiência Ambiental .....</b>	<b>78</b>
<b>5.6 – Desempenho Zootécnico .....</b>	<b>79</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>83</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>94</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1:</b> Fluxos de matéria e energia em sistemas de aquacultura .....	15
<b>Figura 4.1:</b> Tilápia-do-Nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ).....	23
<b>Figura 4.2:</b> Tanques de cultivo.....	23
<b>Figura 4.3:</b> Laboratório de aquacultura.....	27
<b>Figura 4.4:</b> <i>Stand-Pipe</i> .....	27
<b>Figura 4.5:</b> Tampas de garrafas PET.....	29
<b>Figura 4.6:</b> PALL-RING .....	29
<b>Figura 4.7:</b> Beads .....	30
<b>Figura 4.8:</b> Comparação .....	30
<b>Figura 4.9:</b> Representação interna do filtro biológico.....	31
<b>Figura 4.10:</b> Foto do filtro biológico.....	32
<b>Figura 4.11:</b> Vista interna do filtro biológico.....	32
<b>Figura 4.12:</b> Fluxograma do percurso da água no sistema de recirculação.....	33
<b>Figura 4.13:</b> Retrolavagem.....	35
<b>Figura 4.14:</b> Pontos de coleta .....	36
<b>Figura 4.15:</b> Microchip.....	37
<b>Figura 4.16:</b> Aplicação de microchips .....	37
<b>Figura 5.1:</b> Flutuações na temperatura dos tanques de cultivo. ....	41
<b>Figura 5.2:</b> Flutuações no pH dos tanques de cultivo. ....	42
<b>Figura 5.3:</b> Flutuações na alcalinidade dos tanques de cultivo .....	43
<b>Figura 5.4:</b> Flutuações na turbidez dos tanques de cultivo. ....	45
<b>Figura 5.5:</b> Flutuações na condutividade elétrica dos tanques de cultivo .....	46
<b>Figura 5.6:</b> Flutuações na concentração de sólidos totais dos tanques de cultivo.....	48
<b>Figura 5.7:</b> Flutuações na concentração de sólidos suspensos dos tanques de cultivo .....	49
<b>Figura 5.8:</b> Flutuações na concentração de sólidos dissolvidos dos tanques de cultivo .....	51
<b>Figura 5.9:</b> Flutuações na concentração de oxigênio dissolvido dos tanques de cultivo .....	52
<b>Figura 5.10:</b> Flutuações na concentração de nitrogênio amoniacal total dos tanques.....	53
<b>Figura 5.11:</b> Flutuações na concentração de nitrito dos tanques de cultivo.....	55
<b>Figura 5.12:</b> Flutuações na concentração de nitrato dos tanques de cultivo .....	56
<b>Figura 5.13:</b> Flutuações na concentração de nitrogênio orgânico dos tanques de cultivo .....	58
<b>Figura 5.14:</b> Flutuações na concentração de fosfato dos tanques de cultivo.....	59
<b>Figura 5.15:</b> Flutuações na concentração de COT dos tanques de cultivo .....	61
<b>Figura 5.16:</b> Flutuações na concentração de cloreto dos tanques de cultivo.....	62
<b>Figura 5.17:</b> Flutuações na concentração de sulfato dos tanques de cultivo.....	64
<b>Figura 5.18:</b> Flutuações na concentração de fluoreto dos tanques de cultivo.....	65
<b>Figura 5.19:</b> Uso de água semanal nos dois sistemas de cultivo.....	67
<b>Figura 5.20:</b> Uso de água semanal por retrolavagem no sistema com recirculação.....	68
<b>Figura 5.21:</b> Alcalinidade e aplicações de $\text{CaCO}_3$ nos dois sistemas de cultivo.....	69
<b>Figura 5.22:</b> Sucessão das formas de nitrogênio inorgânico no tanque sem recirculação. ....	71
<b>Figura 5.23:</b> Sucessão das formas de nitrogênio inorgânico no tanque com recirculação.....	72
<b>Figura 5.24:</b> Correlação exponencial do sistema sem recirculação. ....	73
<b>Figura 5.25:</b> Correlação exponencial do sistema com recirculação. ....	73
<b>Figura 5.26:</b> Destino do nitrogênio amoniacal - sistema sem recirculação .....	75
<b>Figura 5.27:</b> Destino do nitrogênio amoniacal - sistema com recirculação.....	75
<b>Figura 5.28:</b> Biomassa de peixes e uso de água. ....	79

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1:</b> Composição típica das rações utilizadas no experimento .....	25
<b>Tabela 5.1:</b> Características da água de reposição .....	41
<b>Tabela 5.2:</b> Médias e desvio padrão para temperatura.....	41
<b>Tabela 5.3:</b> Médias e desvio padrão para pH .....	42
<b>Tabela 5.4:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para alcalinidade.....	44
<b>Tabela 5.5:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para turbidez .....	45
<b>Tabela 5.6:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para condutividade elétrica.....	47
<b>Tabela 5.7:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para sólidos totais .....	48
<b>Tabela 5.8:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para sólidos suspensos.....	49
<b>Tabela 5.9:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para sólidos dissolvidos.....	51
<b>Tabela 5.10:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para oxigênio dissolvido.....	52
<b>Tabela 5.11:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para nitrogênio amoniacal total .....	54
<b>Tabela 5.12:</b> Médias e desvio padrão para nitrito .....	56
<b>Tabela 5.13:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para nitrato.....	57
<b>Tabela 5.14:</b> Médias e desvio padrão para nitrogênio orgânico .....	58
<b>Tabela 5.15:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para fosfato .....	60
<b>Tabela 5.16:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para COT .....	61
<b>Tabela 5.17:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para cloreto .....	63
<b>Tabela 5.18:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para sulfato .....	64
<b>Tabela 5.19:</b> Médias e desvio padrão para fluoreto.....	65
<b>Tabela 5.20:</b> Teste de contraste de médias de Tukey para uso de água .....	68
<b>Tabela 5.21:</b> Redução de carga de poluentes.....	77
<b>Tabela 5.22:</b> Uso de água e terra em diferentes sistemas aquícolas.....	78
<b>Tabela 5.23:</b> Desempenho zootécnico do sistema com recirculação .....	80
<b>Tabela 5.24:</b> Desempenho zootécnico do sistema sem recirculação.....	80
<b>Tabela 5.25:</b> TCE e TEP para sistema com recirculação .....	80
<b>Tabela 5.26:</b> TCE e TEP para sistema sem recirculação.....	80
<b>Tabela 5.27:</b> Comprimento total - sistema com recirculação.....	80
<b>Tabela 5.28:</b> Comprimento total - sistema sem recirculação .....	81
<b>Tabela 5.29:</b> Altura - sistema com recirculação .....	81
<b>Tabela 5.30:</b> Altura - sistema sem recirculação.....	81
<b>Tabela 5.31:</b> Largura - sistema com recirculação.....	81
<b>Tabela 5.32:</b> Largura - sistema sem recirculação .....	81
<b>Tabela 5.33:</b> Comprimento da cabeça - sistema com recirculação .....	80
<b>Tabela 5.34:</b> Comprimento da cabeça - sistema sem recirculação.....	80
<b>Tabela 8.1:</b> Valores encontrados de temperatura .....	94
<b>Tabela 8.2:</b> Valores encontrados de pH.....	95
<b>Tabela 8.3:</b> Valores encontrados de alcalinidade .....	96
<b>Tabela 8.4:</b> Valores encontrados de turbidez .....	97
<b>Tabela 8.5:</b> Valores encontrados de condutividade elétrica .....	98
<b>Tabela 8.6:</b> Valores encontrados de para sólidos totais.....	99
<b>Tabela 8.7:</b> Valores encontrados de sólidos suspensos .....	100
<b>Tabela 8.8:</b> Valores encontrados de sólidos dissolvidos .....	101
<b>Tabela 8.9:</b> Valores encontrados de oxigênio dissolvido .....	102
<b>Tabela 8.10:</b> Valores encontrados de nitrogênio amoniacal total.....	103
<b>Tabela 8.11:</b> Valores encontrados de para nitrito.....	104
<b>Tabela 8.12:</b> Valores encontrados de nitrato .....	105
<b>Tabela 8.13:</b> Valores encontrados de nitrogênio orgânico .....	106

<b>Tabela 8.14:</b> Valores encontrados de fosfato .....	107
<b>Tabela 8.15:</b> Valores encontrados de COT.....	108
<b>Tabela 8.16:</b> Valores encontrados de cloreto .....	109
<b>Tabela 8.17:</b> Valores encontrados de sulfato.....	110
<b>Tabela 8.18:</b> Valores encontrados de fluoreto.....	111
<b>Tabela 8.19:</b> Uso de água .....	112
<b>Tabela 8.20:</b> Valores de biomassa dos peixes .....	113
<b>Tabela 8.21:</b> Peso dos peixes do sistema com recirculação .....	113
<b>Tabela 8.22:</b> Peso dos peixes do sistema sem recirculação.....	113
<b>Tabela 8.23:</b> Comprimento total dos peixes do sistema com recirculação .....	114
<b>Tabela 8.24:</b> Comprimento total dos peixes do sistema sem recirculação.....	114
<b>Tabela 8.25:</b> Altura dos peixes do sistema com recirculação.....	115
<b>Tabela 8.26:</b> Altura dos peixes do sistema sem recirculação .....	115
<b>Tabela 8.27:</b> Largura dos peixes do sistema com recirculação .....	116
<b>Tabela 8.28:</b> Largura dos peixes do sistema sem recirculação.....	116
<b>Tabela 8.29:</b> Comprimento da cabeça dos peixes do sistema com recirculação.....	117
<b>Tabela 8.30:</b> Comprimento da cabeça dos peixes do sistema sem recirculação .....	117

## LISTA DE ABREVIATURAS

- ANOVA – Análise de Variância
- APHA – American Public Health Association
- BI – Ponto de Coleta da Saída do Biofiltro
- CAA – Conversão Alimentar Aparente
- COT – Carbono Orgânico Total
- CP – Conteúdo Protéico do Alimento
- CR - Ponto de Coleta do Tanque de Cultivo com Recirculação
- DBC – Delineamento em Blocos Casualizados
- DIDAQ – Diretoria de Desenvolvimento da Aqüicultura da Secretária Especial da Aqüicultura e Pesca
- EAA – Abordagem Ecológica da Aqüicultura
- FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
- FCA – Fator de Conversão Alimentar
- G – Ganho de Peso
- ICAD – Índice de Consumo Alimentar Diário
- IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas
- NAT – Nitrogênio Amomiacal Total
- NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez
- OD – Oxigênio Dissolvido
- ONU - Organização das Nações Unidas
- PA – Ponto de Coleta da Saída da Coluna de Aeração com PALL-RING
- PE - Ponto de Coleta da Saída da Coluna de Aeração com Tampa de Garrafa PET
- PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
- PET – Politereftalato de Etila
- PVC – Cloreto de Polivinila
- Q – Vazão
- RAS – Sistema de Aquicultura com Recirculação
- RBC – Reator Biológico de Contato
- RL – Ponto de Coleta da Saída da Retrolavagem
- SD – Sólidos Dissolvidos
- SR – Ponto de Coleta do Tanque de Cultivo sem Recirculação
- SS – Sólidos Suspensos

ST – Sólidos Totais

REVIZEE - Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na  
Zona Econômica Exclusiva

TA – Taxa de Alimentação Diária

TCE – Taxa de Crescimento Específico

TEP – Taxa de Eficiência Protéica

TVC – Taxa Volumétrica de Conversão

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UV – Ultravioleta

## 1 - INTRODUÇÃO

A aquicultura, originada na Ásia como um sistema de produção de alimentos em água doce, atualmente está presente em todos os continentes, contemplando os mais variados ambientes aquáticos e utilizando uma ampla gama de espécies. A produção global de alimentos através da aquicultura vem crescendo rapidamente, sendo atualmente responsável pela produção de mais da metade (54%) dos peixes e dos outros animais aquáticos consumidos no mundo. No panorama mundial, o pescado chega a representar 35% do consumo geral de carnes (CARVALHO & LEMOS, 2009).

A América Latina e o Caribe têm despontado nas últimas décadas como a região de maior crescimento da aquicultura (com uma taxa média anual de 22%), segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimento (FAO, 2008). O Brasil é atualmente um dos países de maior potencial para o desenvolvimento desse setor e está como o quarto país de maior taxa de crescimento anual da aquicultura (DIDAQ, 2007).

O intenso desenvolvimento da aquicultura tem sido acompanhado de um aumento nos impactos ambientais causados por esta atividade. As descargas de efluentes da aquicultura - ricos em nutrientes e matéria orgânica, e que raramente recebem algum tipo de tratamento - em ecossistemas aquáticos causam deterioração da qualidade ambiental e trazem riscos de eutrofização (BARAK *et al.*, 2003; TACON & FOSTER, 2003; VALENTI *et al.*, 2000). Além disso, devem ser considerados os impactos decorrentes da transformação de ecossistemas, como, por exemplo, a substituição de manguezais por viveiros de cultivo de espécies marinhas (ARANA, 1999; BOYD, 2003).

Desta forma, estão sendo feitos esforços globais buscando manejar os impactos sócio-ambientais relacionados à aquicultura, no sentido de integrar esta atividade aos ecossistemas e sociedades em que está inserida. A *Aquaculture Service and Conservation Service* – FAO/ONU – iniciou em 2006 um esforço no sentido do desenvolvimento e aplicação de uma “Abordagem Ecológica da Aquicultura” (*Ecosystem Approach for Aquaculture – EAA*). Uma abordagem ecológica da aquicultura é uma estratégia para a integração da atividade no seu ecossistema de forma que esta promova o desenvolvimento sustentável, a equidade e resiliência dos sistemas sociais e ecológicos interconectados (FAO, 2008).

Neste contexto, verifica-se um interesse mundial no desenvolvimento de técnicas sustentáveis de manejo e produção aquícola. Em termos ambientais, visa-se otimizar a eficiência no uso de recursos naturais, evitando a emissão de matéria e energia em desacordo com a capacidade suporte dos ecossistemas. Para tanto, é necessário o desenvolvimento da



ciência e técnica da aquacultura, vista aqui como uma forma de manipulação localizada do ambiente, que busca incrementar a produtividade aquática em relação ao organismo de interesse enquanto faz a manutenção dos parâmetros da água em níveis apropriados para a sobrevivência dos organismos cultivados e o sucesso da atividade.

O presente estudo investigou o tratamento de efluentes de aquacultura para uso em um sistema com recirculação interna. O sistema de aquacultura com recirculação (RAS – do inglês *Recirculating Aquaculture System*) é uma tecnologia que se apresenta como uma alternativa promissora, no sentido de aliar produtividade a uma maior eficiência no uso da água, através de seu condicionamento e reuso, além de proporcionar uma menor emissão de poluentes (FOCARDI *et al.*, 2005; GOLDBURG *et al.*, 2001; PIEDRAHITA, 2003; SINDILARIU, 2007; TAL *et al.*, 2009; VAN RIJN, 1996; WIK *et al.*, 2009).

Pretende-se, dessa forma, oferecer informações e subsídios para o desenvolvimento da tecnologia de recirculação na aquacultura brasileira. As dificuldades quanto à disponibilidade de água em qualidade e quantidade satisfatória para a aquacultura em algumas regiões, assim como a necessidade imperativa da preservação dos mananciais imposta pela realidade atual, justificam ações no sentido de minimizar o uso da água e o impacto sobre os recursos hídricos. O tratamento e recirculação da água, investigados neste projeto, refletem esta preocupação e comprometimento com o uso racional dos recursos naturais.

Com este objetivo, foi construído um protótipo de aquacultura com recirculação, visando estudar seu desempenho dentro da realidade nacional. Também foi comparado o uso de materiais alternativos e de baixo custo com os materiais específicos para este tipo de sistema.

## 2 – OBJETIVOS

### 2.1 – Objetivo Geral

- Estudar o desempenho de um sistema de tratamento e recirculação de efluentes de aquicultura, construído com materiais nacionais e de baixo custo, em relação à sua eficiência na manutenção e restauração dos parâmetros de qualidade da água em níveis adequados ao ciclo produtivo, considerando as implicações desta técnica na conservação dos recursos hídricos.

### 2.2—Objetivos Específicos

- Identificar e comparar os processos de transformação das formas de resíduos nitrogenados nos sistemas com e sem recirculação;
- Estudar, ao longo do tempo de experimento, a evolução de parâmetros de qualidade da água relevantes à produção nos tanques de cultivo;
- Avaliar o desempenho do sistema de recirculação construído em relação aos aspectos quantitativo e qualitativo do uso da água, comparando-o a um sistema sem recirculação;
- Identificar e quantificar os resíduos gerados nesta modalidade produtiva, procurando inferir seu potencial impacto ambiental em comparação às técnicas mais tradicionais de produção aquícola.
- Comparar o desempenho zootécnico dos peixes entre os sistemas com e sem recirculação.

### **3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 - Contexto Histórico-Ambiental**

A realidade do início do século XXI impõe novos desafios à humanidade. No curso da História, diversos grupos humanos se depararam com crises ambientais localizadas, como escassez de recursos, secas prolongadas, contaminação de mananciais, perda de fertilidade do solo e pragas agrícolas. Estas situações críticas culminaram muitas vezes na necessidade de uma alteração drástica do modo de vida da população, imigração para outras regiões e até mesmo no colapso de culturas e populações humanas (DIAMOND, 2005).

Em grande parte, portanto, o aspecto inédito dos desafios ambientais da atualidade é a sua escala. A taxa de crescimento sem precedentes da população humana nos últimos séculos e os novos hábitos adotados criaram as condições para o surgimento de crises ambientais em escala global. Os recursos naturais do planeta simplesmente não são suficientes para suprir tamanha demanda a longo prazo e tampouco os ecossistemas podem suportar o descarte indiscriminado da carga de resíduos gerada (DORST, 1973; ODUM, 1983).

Ao lidar com crises globais, não é possível adotar algumas estratégias utilizadas no passado, como o deslocamento para outras regiões com melhores condições. Resta apenas tentar solucionar os problemas, identificando as mudanças necessárias e pondo-as em prática. A melhor ferramenta da espécie humana nesta tarefa é a sua capacidade de reflexão, raciocínio crítico e criatividade. Esta ótica indica que a tecnologia, como fruto da inventividade humana, pode ser uma aliada nesta empreitada. O presente trabalho foi concebido sob esta filosofia, a qual orienta os estudos na área de engenharia ambiental.

#### **3.2 - A Aquicultura Atual e suas Implicações Ambientais**

Um dos desafios ambientais, de proporções globais, que atualmente preocupa a humanidade é a escassez de recursos pesqueiros. Segundo dados da FAO (2008), a captura mundial de pescado encontra-se estagnada e não se espera que venha a crescer. O Programa REVIZEE, através de um extenso trabalho de prospecção no litoral brasileiro realizado entre os anos de 1995 e 2004, concluiu que em relação aos principais recursos pesqueiros já explorados, na maior parte dos casos, não há possibilidade de aumento da produção, a partir

da intensificação do esforço de pesca (BRASIL, 2006). Em muitos desses casos, os estoques de peixes vêm decrescendo devido à sobrepesca (PAULY *et al.*, 2002).

Como a demanda por proteína na alimentação de uma população humana em constante crescimento precisa ser suprida, há um problema a ser resolvido. Se for considerado que a demanda por pescado chega a representar 35% do consumo geral de carne no planeta (CARVALHO & LEMOS, 2009), verificam-se as condições para o impulso do crescimento da aquacultura.

A aquacultura, ao criar animais aquáticos em cativeiro, promete reduzir a pressão sobre as populações naturais de pescado (FOCARDI *et al.*, 2005), já tendo inclusive suplantado em produção a quantidade de pescado capturado em nível global (CARVALHO & LEMOS, 2009). Isto é particularmente relevante quando se trata de espécies já ameaçadas em seu ambiente natural, devido à sua exploração excessiva (BALDISSEROTO & GOMES, 2005). Entretanto, a sustentabilidade ambiental da aquacultura não é um ponto de consenso entre os pesquisadores da área.

De fato, a aquacultura recebe fortes críticas em relação a sua promessa de ser uma atividade supostamente sustentável. Segundo Pauly *et al.* (2002), as práticas modernas de aquacultura em nível mundial são amplamente insustentáveis, consumindo recursos naturais a uma alta taxa e sendo fontes potenciais de poluição e disseminação de doenças a organismos aquáticos. Além disto, é destacado o impacto que esta atividade pode exercer sobre habitats costeiros e comunidades humanas, ao se estabelecer sobre ecossistemas chave para a produtividade natural (PAULY *et al.*, 2002) ou lançar efluentes não tratados no ambiente (RUIZ-FERNÁNDEZ & PÁEZ-OSUNA, 2004).

Naylor *et al.* (2000) destacaram que alguns tipos de aquacultura, como a criação de peixes carnívoros, requerem a captura de grandes quantidades de peixes selvagens para a sua alimentação, não sendo, portanto, uma prática que alivia a pressão sobre as populações naturais. Segundo esta autora, a aquacultura, no balanço global, ainda representa uma adição ao suprimento de pescados. Porém, para sustentar esta contribuição deve-se reduzir a incorporação de peixes selvagens na produção de ração e adotar práticas ambientalmente responsáveis (NAYLOR *et al.*, 2000).

Efluentes aquícolas sem tratamento, se continuamente lançados no ambiente aquático, podem resultar em uma elevação considerável da matéria orgânica presente no corpo d'água, o que pode inclusive afetar outros usos do recurso hídrico e causar impactos econômicos (CAO *et al.*, 2007; VALENTI *et al.*, 2000). A maior parte da matéria orgânica e/ou inorgânica dissolvida e/ou suspensa contida nos efluentes de sistemas intensivos de aquacultura é

derivada da entrada de ração/alimento, seja diretamente na forma de produtos-finais da digestão e metabolismo ou como alimento não consumido, ou indiretamente através da eutrofização e conseqüente aumento da produtividade natural (TACON & FOSTER, 2003).

Diversos outros componentes podem estar presentes em efluentes da aquacultura e afetar adversamente o corpo receptor. Nutrientes limitantes para a produtividade natural dos ecossistemas aquáticos (como fósforo e nitrogênio) são comumente encontrados nestes efluentes representando um risco de eutrofização do corpo receptor e de *blooms* de algas e bactérias nocivas (FOCARDI *et al.*, 2005). Há registros de processos de eutrofização resultantes de atividades aquícolas que afetaram significativamente a comunidade natural de um rio mesmo a 2km à jusante do ponto de lançamento de efluentes (SINDILARIU, 2007).

Alguns tipos de manejos aquícolas fazem uso de substâncias terapêuticas, como antibióticos, que podem entrar no ambiente e criar condições para a dispersão de microorganismos resistentes, também podendo afetar a produtividade aquícola ou a saúde humana (CABELLO, 2006; FOCARDI *et al.*, 2005). Até mesmo alguns feromônios produzidos pelos animais cultivados em altas densidades e lançados no ambiente aquático através do efluente podem prejudicar as comunidades naturais à jusante, influenciando sua fisiologia de diversas formas (KAMPS & NEILL, 1999).

Buscando limitar os impactos ambientais negativos causados pelos efluentes de aquacultura, diversas medidas foram adotadas em países com alta produção aquícola. Entre estas medidas, Tacon e Foster (2003) citam: (1) exigência do tratamento dos efluentes ao invés do seu simples descarte, através do uso de decantadores, filtros, sistemas de tratamento de efluentes, etc; (2) estabelecimento de um limite para a concentração de um nutriente ou poluente específico no efluente; (3) estabelecimento de um limite para uma quantidade máxima de lançamento de um nutriente em um período fixo de tempo (p.ex. carga de nitrogênio ou fósforo); (4) estabelecimento de um limite para o número de licenças concedidas de acordo com a capacidade suporte do ecossistema aquático; (5) exigência do cumprimento de regras de Boas Práticas de Manejo, incluindo a gestão ambiental das fazendas; (6) exigência do desenvolvimento de uma estratégia adequada de manejo dos resíduos e sedimentos gerados e (7) exigência da implementação de um programa de monitoramento ambiental.

As inquietações em relação ao impacto do desenvolvimento da aquacultura no mundo frequentemente são reflexos de uma preocupação ainda maior, despertada por outra crise ambiental de proporções globais, desta vez envolvendo os recursos hídricos. Ao longo de toda a história da humanidade, a água tem sido usada para lavar impurezas e diluir poluentes,

porém a carga de poluentes tem aumentado nos últimos tempos, ocasionando a degradação de muitos rios, lagos e mares costeiros. A escassez de água e o comprometimento da qualidade da água estão ligados, pois sua contaminação reduz o suprimento prontamente disponível para certos usos e aumenta significativamente os custos de seu tratamento para os outros usos. A prevenção da poluição está entre os meios com melhor relação custo-benefício para o aumento do suprimento de água (CARPENTER, 1998). E é justamente a progressiva escassez de suprimento de água em quantidade e qualidade adequadas que vem despertando preocupações.

A aquicultura, assim como outras atividades produtivas, tem enfrentado desafios criados pelo crescimento populacional e pela conseqüente competição por água, terra e outros recursos naturais (PIEDRAHITA, 2003). Em alguns casos, como resposta a estes desafios, busca-se a intensificação da atividade produtiva. A tendência à intensificação nestes casos é uma tentativa de obter maiores ganhos para um dado recurso limitado (PIEDRAHITA, 2003).

Em alguns países já foram atingidos os limites de expansão de fazendas, de forma que o incremento de sua produção aquícola se dá através da intensificação da produção. Isto vem ocorrendo, inicialmente, em alguns países da Europa (como Dinamarca, Alemanha, Holanda e Noruega), na América do Norte e em outros países industrializados (como Japão, Taiwan e Israel) (VAN RIJN, 1996).

Em certos casos, o recurso limitante pode ser a água, seja quantitativamente ou qualitativamente, e o aquicultor visa um incremento em termos de biomassa de organismos aquíticos produzida por volume de água utilizado (p. ex. kg/L). Em outros casos, quando a disponibilidade de espaço é limitante, a intensificação pode ocorrer quanto à biomassa produzida por área por tempo (p. ex. kg/ha ano) (PIEDRAHITA, 2003).

Esta maior biomassa produzida em sistemas intensivos pode aumentar o risco de impacto adverso para o ambiente devido à maior produção de resíduos. Embora a intensificação crie o potencial para maiores descargas de poluentes no ambiente, também gera condições mais propícias para o tratamento do efluente produzido, resultando em descargas substancialmente menores por unidade de biomassa produzida quando comparada a sistemas de menor intensidade (PIEDRAHITA, 2003). Os sistemas de aquicultura com recirculação em que o efluente é tratado biologicamente e reciclado de volta aos tanques de cultivo, podem se tornar uma solução-chave para a produção aquícola ecologicamente sustentável (FOCARDI *et al.*, 2005; GOLDBURG *et al.*, 2001; SINDILARIU, 2007; TAL *et al.*, 2009; VAN RIJN, 1996; WIK *et al.*, 2009).

Desta forma, os benefícios ambientais dos sistemas de aquacultura com recirculação, usualmente associados a sistemas intensivos de produção, são em grande parte responsáveis pelo crescimento da popularidade desta modalidade de cultivo (PIEDRAHITA, 2003). De fato, devido à crescente exigência pública quanto aos padrões de efluentes lançados no ambiente (TACON & FOSTER, 2003) e à progressiva escassez quantitativa e qualitativa de recursos hídricos, as iniciativas do setor da aquacultura vêm se voltando para o tratamento de seus efluentes e à recirculação dentro do próprio sistema (TIMMONS *et al.*, 2002).

A taxa de renovação de água dentro dos sistemas aquícolas vem decrescendo, em direção à troca zero, já praticada comercialmente em alguns países, em que só é reposta a quantidade de água perdida por evaporação durante o processo produtivo. A tecnologia de recirculação pode não só reduzir a demanda de água e o lançamento de efluentes, através do condicionamento da água (GOLDBURG *et al.*, 2001), como possuir outras vantagens como conservação da temperatura da água, parâmetros de qualidade da água mais estáveis (VAN RIJN, 1996), um melhor controle da entrada de patógenos no sistema, eliminação do risco de escape de espécies exóticas no ambiente, e a possibilidade de realização da atividade aquícola próxima aos centros consumidores, ainda que estes estejam distantes de fontes apropriadas de água naturais (WIK *et al.*, 2009).

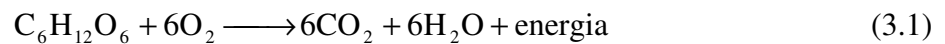
De acordo com Cao *et al.* (2007), ainda são necessários estudos para o melhoramento e a otimização dos métodos atuais de tratamentos e reuso de efluentes em aquacultura, considerando a viabilidade de sua plena e ampla implementação em sistemas comerciais de produção. Gutierrez-Wing e Malone (2006) afirmaram que o uso de sistemas de aquacultura com recirculação continuará a crescer no mundo, originando uma demanda por filtros biológicos com uma boa relação custo-benefício.

### **3.3 - Parâmetros de Qualidade da Água na Aquacultura**

A qualidade da água na aquacultura afeta o crescimento, a reprodução, a saúde, a sobrevivência e até mesmo a qualidade dos organismos cultivados como alimentos (KUBITZA, 2003). Portanto, para o sucesso da atividade aquícola, é necessário o conhecimento das necessidades dos organismos cultivados em relação à qualidade da água, assim como de que forma os metabólitos produzidos nos tanques de cultivo podem influenciar estes parâmetros (BARNABÉ, 1991). A seguir são descritos alguns dos principais parâmetros de qualidade da água de interesse para a aquacultura.

### 3.3.1 - Oxigênio Dissolvido

A presença de oxigênio dissolvido na água (OD) é essencial para a sobrevivência de uma ampla gama de animais aquáticos, que respiram por meio de brânquias, como peixes, crustáceos e moluscos. O OD é utilizado na oxidação do alimento que libera energia para todas as atividades vitais destes organismos, aqui ilustrada (equação 3.1) pela reação da oxidação da glicose (LEHNINGER, 2000):



Também se beneficiam desta forma de oxigênio inúmeros microorganismos de metabolismo aeróbio e facultativo, que desempenham papéis importantes na transformação e na ciclagem de nutrientes (MADIGAN & MARTINKO, 2006). Desta forma, o oxigênio dissolvido no tanque de cultivo é um dos principais parâmetros monitorados na aquacultura.

Embora os peixes possam sobreviver, dentro de certo limite, a baixas concentrações de OD, a exposição prolongada a esta situação é prejudicial (BOYD, 1979). De uma maneira geral, para o cultivo de peixes e camarões, as concentrações de oxigênio dissolvido devem ser mantidas acima de 60% da saturação (KUBITZA, 2003). Porém, pode haver grandes variações em relação à concentração necessária de OD, de acordo com a espécie considerada, o estágio de desenvolvimento (ovos, larvas ou adultos) ou entre diferentes atividades (alimentação, repouso ou reprodução) (ALABASTER & LLOYD, 1982). Para os peixes salmonídeos, por exemplo, podem ser necessários 9 mg/L de oxigênio dissolvido (HUET, 1998).

### 3.3.2 - pH

O pH expressa a intensidade da condição ácida ou alcalina de uma solução, considerando a concentração de íons de hidrogênio, de acordo com o seguinte termo (equação 3.2):

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad (3.2)$$



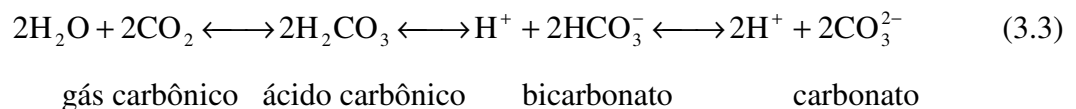
A escala do pH é usualmente representada variando de 0 a 14, com o pH 7 a 25°C sendo o neutro absoluto. Valores abaixo e acima de 7 indicam características ácidas e alcalinas respectivamente (SAWYER *et al.*, 2003).

Trata-se de um parâmetro particularmente relevante em ambientes aquáticos, podendo influenciar muitos fenômenos químicos e biológicos ou ser influenciado por eles. É, portanto, um parâmetro importante a ser considerado em aquicultura, já que apresenta um efeito direto profundo sobre o metabolismo e sobre os processos fisiológicos de todos os organismos aquáticos (ARANA, 2004), bem como efeitos indiretos, através da alteração do equilíbrio químico das reações que ocorrem na água de cultivo (BARNABÉ, 1991; SAWYER *et al.*, 2003).

As águas com valores de pH que compreendem a faixa de 6,5 a 9,0 normalmente são mais adequadas para a produção de peixes em geral (ARANA, 2004). Porém, conforme a espécie considerada, estágio de desenvolvimento ou período de aclimação pode haver variações na resistência a valores extremos de pH (ALABASTER & LLOYD, 1982).

### 3.3.3 - Alcalinidade

A alcalinidade da água representa a sua capacidade de neutralização de ácidos, que pode ser expressa em termos de equivalentes de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Em águas naturais se deve principalmente a hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos, embora muitas substâncias possam influenciar esta propriedade (SAWYER *et al.*, 2003). Este grupo de carbonatos relaciona-se em um equilíbrio químico reversível, conforme a equação 3.3 (BARNABÉ, 1991):



A partir desta equação é possível perceber que as formas de alcalinidade estão interligadas de tal forma que uma mudança na concentração de algum de seus membros irá afetar o pH, ao alterar o equilíbrio químico da reação. Da mesma forma, uma mudança de pH afeta as relações entre os componentes do sistema (SAWYER *et al.*, 2003).

É uma medida particularmente importante em sistemas de águas naturais, ou que se aproximam destes, onde o CO<sub>2</sub> é capturado da água pelo fitoplâncton durante a fotossíntese, o

que tende a elevar o pH no período diurno. Uma alcalinidade apropriada (normalmente acima de 30 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ) evita estas mudanças bruscas diárias de pH (KUBITZA, 2003).

Substâncias que oferecem resistência a mudanças de pH são conhecidas como tampões (REYNOLDS & RICHARDS, 1996). Desta forma, águas com alta alcalinidade são mais fortemente tamponadas do que águas com baixa alcalinidade (BOYD, 1979). Esta estabilidade é importante, pois a maioria dos organismos aquáticos está adaptada a um valor médio de pH e suportam mal as variações bruscas (HUET, 1998).

#### 3.3.4 - Temperatura

O metabolismo dos animais de interesse na aquicultura é afetado fortemente pela temperatura ambiental, pois, em sua maioria, são seres que não conseguem regulá-la internamente. No caso destes animais, chamados ectotermos, a troca de calor com o ambiente é muito mais importante que a produção metabólica para se determinar a temperatura corporal (ECKERT, 2000).

Portanto, a temperatura da água influi no crescimento, no comportamento e na reprodução. Além disso, a temperatura da água está diretamente relacionada com a cinética de reações e solubilidade de gases, afetando, por exemplo, o valor de concentração de saturação de oxigênio dissolvido (HUET, 1998). Os invertebrados aquáticos e os peixes apresentam uma zona restrita de tolerância térmica, variando conforme a espécie, que pode sofrer alterações por meio de aclimações experimentais ou pela adaptação em longo prazo a ambientes com diferentes limites térmicos (ARANA, 2004). Como algumas espécies estão adaptadas a variações sazonais de temperatura na natureza (do verão para o inverno), a mudança lenta e gradual da temperatura do meio é consideravelmente melhor suportada que uma mudança drástica, que seria incomum em meio natural (ALABASTER & LLOYD, 1982).

#### 3.3.5 - Salinidade

A concentração total de íons dissolvidos na água, ou salinidade, é de grande relevância para a aquicultura, afetando a solubilidade do oxigênio na água e a escolha de espécies para o cultivo. Podem ser criados organismos adaptados à água do mar ( $> 30$  g/L de sais), à água doce ( $\leq 0,5$  g/L de sais) ou a ambientes de água salobra ou polihalina (0,5-30 g/L de sais) (BARNABÉ, 1991; ESTEVES, 1998). Quando a concentração do meio varia, os animais

aquáticos podem responder de duas maneiras: não controlando ativamente a concentração osmótica de seu sangue, de forma que esta acompanha a concentração do meio (chamados osmoconformadores); ou regular ativamente a concentração osmótica do sangue independentemente da concentração do ambiente (osmorreguladores) (BALDISSEROTO, 2002). Esta última categoria enquadra praticamente todos os peixes de uso na aquicultura (teleosteos). A faixa de variação da concentração osmótica do ambiente à qual as espécies estão adaptadas pode ser restrita (pouco tolerantes à variação na concentração osmótica do ambiente, denominadas espécies estenoalinas) ou relativamente mais ampla (sobrevivendo, por exemplo, tanto em água marinha com em água doce - espécies eurialinas) (ECKERT, 2000).

### 3.3.6 - Nitrogênio Amoniacal

O principal produto de excreção dos organismos aquáticos é a amônia (animais amoniotéticos), resultante do catabolismo das proteínas (ECKERT, 2000). A amonificação também pode ocorrer a partir da degradação das proteínas presentes nas fezes e nos restos de ração, resultantes da atividade microbiana. Desta forma, podem ocorrer problemas com a toxidez desta substância em todos os tipos de sistemas de cultivo (ARANA, 2004). A amônia na água pode ser encontrada na forma do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) ou na forma de amônia não-ionizada ( $\text{NH}_3$ ), em uma reação de equilíbrio dependente principalmente do pH, além de ser afetada pela temperatura e salinidade (KUBITZA, 2003).

A amônia não-ionizada ( $\text{NH}_3$ ) é de natureza lipofílica, ou seja, possui afinidade por gorduras e, por isso difunde-se facilmente através das membranas respiratórias, sendo a forma mais tóxica para os organismos aquáticos (ARANA, 2004). Com base no pH da água, a concentração de amônia não-ionizada pode ser estimada pela equação 3.4 (COLT, 2006):

$$[\text{NH}_3 - \text{N}] = \frac{[\text{NAT}]}{1 + 10^{(\text{pK}_a - \text{pH})}} \quad (3.4)$$

Onde,

$[\text{NH}_3 - \text{N}]$  = Concentração de amônia não-ionizada (mg/L);

$[\text{NAT}]$  = Nitrogênio amoniacal total (mg/L);

$\text{pK}_a$  = Constante de acidez da reação (9,40 a 20°C)

$\text{pH}$  = Valor de pH medido na solução.

Para a forma da amônia não-ionizada, concentrações da ordem de 0,01mg/L de NH<sub>3</sub>-N já podem ser prejudiciais para espécies mais sensíveis, como o caso da truta-arco-íris (KUBITZA, 2003). Para a maior parte das espécies, aconselha-se a manutenção da amônia não-ionizada em concentrações abaixo de 0,05mg/L de NH<sub>3</sub>-N (TIMMONS *et al.*, 2002).

A amônia presente na água de cultivo é oxidada a nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e, posteriormente, a nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) através da atividade de microorganismos quimioautotróficos. Esta etapa do ciclo do nitrogênio, denominada nitrificação, é desempenhada por diferentes grupos de bactérias: aquelas que realizam a oxidação da amônia têm como prefixo *Nitroso-* em seu gênero, enquanto as responsáveis pela oxidação do nitrito portam no gênero o prefixo *Nitro-* (BRENNER *et al.*, 2005).

### 3.3.7 - Nitrito e Nitrato

O nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) é a forma não ionizada do ácido nitroso (HNO<sub>2</sub>). A concentração de ácido nitroso pode ser computada de acordo com a seguinte equação (COLT, 2006):

$$[\text{HNO}_2 - \text{N}] = \frac{[\text{NT}]}{1 + 10^{(\text{pH} - \text{pK}_a)}} \quad (3.5)$$

Onde,

[NT]= Concentração de nitrito total (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+ HNO<sub>2</sub> - N) (mg/L);

[HNO<sub>2</sub> - N]= Concentração de ácido nitroso (mg/L);

pK<sub>a</sub>= Constante de acidez da reação (3,38 a 20°C)

pH= Valor de pH medido na solução.

Em pHs normais de cultivo (>6,00), muito pouco ácido nitroso está presente. O ácido nitroso difunde-se livremente pelas membranas das brânquias, ao contrário do nitrito. Porém, o nitrito, por sua vez, pode ser transportado ativamente pelas membranas, pelo mecanismo que normalmente transporta cloreto para dentro das células. A adição de íons de cloreto (sob a forma de NaCl) é utilizada como uma forma de proteger os peixes da toxicidade do nitrito, pois atua competindo pelo transportador de membrana. Porém, se há uma queda acentuada no pH, a toxicidade da concentração de nitrito total (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+ HNO<sub>2</sub>) pode ser um problema relevante, mesmo com a incorporação de cloreto (COLT, 2006). O efeito mais importante do

nitrito dentro do organismo dos peixes é a sua capacidade de oxidar a hemoglobina sanguínea, convertendo-a em uma molécula incapaz de transportar oxigênio (ARANA, 2004).

Para peixes de água doce, a toxicidade do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é muito baixa (96 h LC50s >1000 mg/L as N), podendo estar relacionada a problemas osmorregulatórios. No caso de organismos marinhos as concentrações de nitrato normalmente devem permanecer abaixo de 500mg/L. Em alguns casos a concentração de tolerância a esta substância é sensivelmente reduzida para 50 mg/L (para cultivo de lulas) ou 20 mg/L (peixe-palhaço - *Amphiprion ocellaris*) (COLT, 2006).

De forma geral, o nitrito, assim como a amônia, pode ser tóxico aos peixes em baixas concentrações, em alguns casos mesmo abaixo de 1 mg/L de  $\text{NO}_2^-$  (ARANA, 2004), enquanto o nitrato, na maioria dos casos, só se torna tóxico em altas concentrações (BALDISSEROTO, 2002).

### 3.3.8 - Sólidos Suspensos e Dissolvidos

A definição usual de sólidos refere-se à matéria que permanece como resíduo após evaporação e secagem a 103-105°C. Os sólidos totais em uma amostra líquida são classificados como sólidos totais dissolvidos e sólidos totais suspensos. Os sólidos totais dissolvidos são materiais que passam por um filtro com poro igual ou menor que 1,2µm. O material retido pelo filtro é chamado de sólidos suspensos (SAWYER *et al.*, 2003).

A produção e o acúmulo de resíduos sólidos em sistemas de aquacultura provem de alimento não consumido, matéria orgânica fecal, fito e zooplâncton, biofilme despreendido e bioflocos. Os sólidos suspensos impactam adversamente todos os aspectos de um sistema de cultivo, especialmente em aquacultura com recirculação. O acúmulo de sólidos influencia a eficiência de todas as outras unidades de tratamento de um sistema com recirculação e pode afetar diretamente a saúde dos organismos cultivados, prejudicando suas brânquias e fornecendo nutrientes a organismos patogênicos. O limite superior recomendado para peixes de água doce é de 25mg/L de sólidos suspensos totais (TIMMONS *et al.*, 2002).

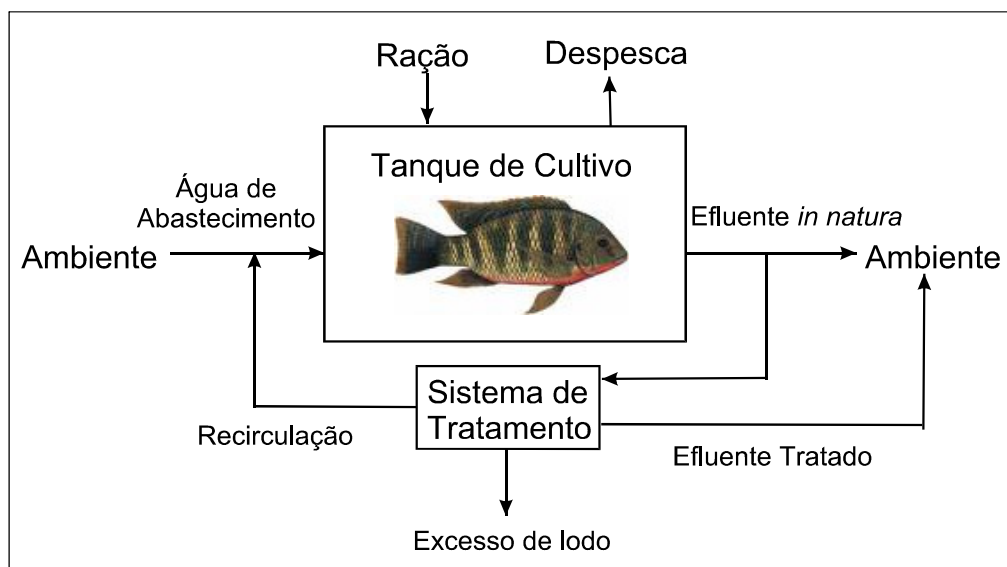
## **3.4 - Manutenção da Qualidade da Água**

São recomendadas diversas práticas para a manutenção da qualidade da água dos tanques de cultivo, como, por exemplo, a aplicação de calcário para a correção do pH e

manutenção do sistema de tampão; modificações na taxa de alimentação ou de incorporação de fertilizantes, visando reduzir a carga de nutrientes; aeração mecânica para a manutenção dos níveis de oxigênio dissolvido e renovação da água dos viveiros utilizando-se dos mananciais naturais. Esta última é vista como uma ferramenta para o alívio dos problemas de qualidade de água e diluição de substâncias tóxicas como a amônia, o nitrito e o gás sulfídrico e ajustes na salinidade e temperatura da água (KUBITZA, 2003). É devido principalmente a esta prática que são gerados os efluentes aquícolas, que são lançados aos ambientes aquáticos comumente sem nenhum tipo de tratamento (ARANA, 2004).

As estratégias para o manejo da qualidade da água em níveis apropriados dependem, principalmente, do método de cultivo. Os métodos de produção podem diferir quanto à intensidade do uso de água e área ocupada pela atividade, uso de ração ou alimentação natural, além da produtividade potencial e densidade de estocagem dos tanques (expressa em kg de organismo cultivado por hectare ou por metro cúbico).

De uma forma geral, as unidades de cultivo podem ter fluxos de água abertos ou fechados (figura 3.1). O primeiro tipo é encontrado em cultivos realizados no próprio ambiente aquático, como é o caso do cultivo em cercos, tanques-rede, lanternas, etc.; e naqueles realizados em tanques de fibra de vidro ou concreto ou viveiros escavados, este último sendo o mais utilizado no Brasil (ARANA, 2004). O segundo tipo envolve o tratamento e recirculação da água utilizada no cultivo, e é abordado com mais detalhes neste trabalho.



**Figura 3.1:** Fluxos de matéria e energia em sistemas de aquacultura (Adaptado de ARANA, 2004; TIMMONS *et al.*, 2002; WIK *et al.*, 2009).

A maioria das atividades aquícolas não pode ser conduzida sem descargas de efluentes (BOYD, 2003). Os efluentes da aquicultura são produzidos principalmente como consequência do manejo da qualidade da água nos tanques de cultivo. Sua produção está associada a sistemas de fluxo aberto (podendo ou não receber tratamento antes de seu lançamento no ambiente) e a sistemas com recirculação (o efluente passa por um processo de tratamento e retorna aos tanques de cultivo). Num sistema de aquicultura com recirculação comumente se utiliza menos de 10% da água que é necessária em cultivos tradicionais extensivos para produzir a mesma quantidade de pescado (TIMMONS *et al.*, 2002).

As características do efluente oriundo dos tanques de cultivo dependem de diversos fatores como o manejo aquícola, a região em que fazenda está inserida, a intensidade do uso da água, a densidade de povoamento, a composição da ração, a taxa de arraçoamento e a espécie cultivada (CAO *et al.*, 2007; SINDILARIU, 2007). Pode-se dizer que o fornecimento de alimento (como ração) é a principal fonte direta e indireta de produção de poluentes na aquicultura. Os peixes retêm apenas uma parcela do nitrogênio e do fósforo da ração consumida (cerca de 30% para salmonídeos), sendo que o restante não é aproveitado, gerando resíduos ricos em nutrientes (VIADERO Jr. *et al.*, 2005).

O lançamento contínuo de efluentes derivados da atividade aquícola pode resultar em um aumento da matéria orgânica presente na água, tendo como consequência a depleção dos níveis de oxigênio dissolvido, causada pela oxidação microbiana. Além disso, estes efluentes podem conter uma concentração elevada de sólidos suspensos, impactando de forma significativa o ambiente a jusante (CAO *et al.*, 2007; VALENTI *et al.*, 2000). Concentrações elevadas de fósforo e nitrogênio, nutrientes limitantes para a produtividade natural dos ecossistemas aquáticos, são encontradas nestes efluentes representando um risco de eutrofização do corpo receptor e de *blooms* de algas e bactérias nocivas (FOCARDI *et al.*, 2005).

O conhecimento da composição típica dos efluentes da aquicultura é importante não só para a identificação do seu potencial como fator de poluição ambiental, como também para a sua caracterização como afluente às unidades de tratamento e o desenvolvimento de tecnologias adequadas para que sejam atingidos os parâmetros pretendidos de qualidade de água. No caso da aquicultura de fluxo aberto, estes parâmetros podem ser especificados legalmente pelos órgãos de regulação ambiental. Já na aquicultura com recirculação, os parâmetros a serem atingidos após o tratamento são aqueles indicados para o abastecimento dos tanques de cultivo. Isto normalmente significa padrões mais rigorosos do que aqueles exigidos para estações de tratamento de efluentes (AVNIMELECH, 2006).

### 3.5 - Aquacultura com Recirculação

Para o aproveitamento total das vantagens dos sistemas de aquacultura com recirculação (RAS), em relação a suas características ecologicamente sustentáveis, a troca de água deve ser a mínima possível. Isto implica uma alta demanda ao sistema de tratamento da água, que deve sustentar uma eficiência adequada na remoção de sólidos e matéria orgânica, nitrificação e em alguns casos desnitrificação e desinfecção (WIK *et al.*, 2009).

O tratamento de efluentes domésticos já vem sendo estudado há muito mais tempo que o tratamento de efluentes aquícolas, tendo sido uma importante base de conhecimentos. Porém as plantas de estações de tratamento de efluentes domésticos não são apropriadas para aplicação na aquacultura devido às características comparativamente peculiares do tipo de efluente gerado, com baixas concentrações de poluentes, altas taxas de vazão, variação na distribuição de nutrientes e flutuações na qualidade dos efluentes (SINDILARIU, 2007).

De fato, a dinâmica de um RAS é particularmente complexa devido às interações entre o tratamento de água, os organismos cultivados e a taxa de alimentação, que estão continuamente em evolução dentro de um processo de *feedback* (circuito fechado). Desta forma, sendo um sistema com propriedades dinâmicas, sua previsão depende de modelos matemáticos não-triviais (WIK *et al.*, 2009).

#### 3.5.1 - Oxigenação e Dessorção de Gases

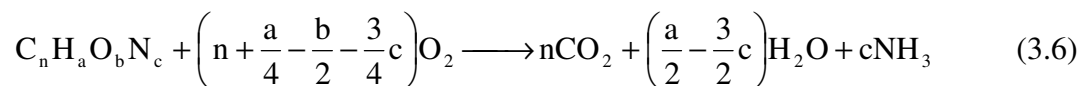
A disponibilidade de oxigênio dissolvido comumente é o primeiro fator que estabelece limites à intensificação da produção em sistemas de aquacultura de recirculação. Somente através de aeração como meio de prover oxigênio dissolvido, um sistema pode suportar cerca de 40kg de peixe por metro cúbico, porém, com o uso de oxigênio puro e unidades de transferência de gases de alta eficiência para aumentar a quantidade de oxigênio dissolvido na coluna d'água as densidades de estoque podem superar 120kg por metro cúbico (TIMMONS *et al.*, 2002).

Os sistemas de aeração, que realizam a transferência de gases através do contato da água com o ar atmosférico, dependem de sopradores, bombas de ar e compressores associados a pedras porosas que atuam como difusoras de bolhas. Ainda podem ser usados aeradores de superfície, aeradores por gravidade e outros dispositivos. Os sistemas de oxigenação incluem diversos aparatos, tais como colunas para aeração, tubos em U e cones de aeração. Quanto ao



dióxido de carbono, podem ser utilizadas colunas projetadas para realizar a dessorção deste gás.

A concentração de oxigênio dissolvido resultante em um sistema onde a produtividade primária natural é insignificante (p.ex. produção intensiva coberta) é influenciada por: (1) concentração de OD presente na água captada; (2) suprimento de oxigênio fornecido através do sistema de aeração ou oxigenação, (3) consumo de oxigênio dos organismos cultivados; (4) consumo pela biomassa bacteriana heterotrófica e (5) consumo dos microorganismos nitrificantes (SINDILARIU, 2007). Existe uma relação quantitativa entre a quantidade de oxigênio requerida para converter uma quantidade definida de um dado composto orgânico a dióxido de carbono, água, e amônia, que pode ser representada pela equação 3.6 (SAWYER *et al.*, 2003).



Em sistemas de aquacultura operando com altas densidades de estoque, baixas taxas de trocas d'água, pH baixo e oxigenação com pouca aeração, há o risco de acúmulo de dióxido de carbono dissolvido, podendo alcançar níveis tóxicos para os peixes e à comunidade microbiana dos filtros biológicos (TIMMONS *et al.*, 2002). Dessa forma, foram criados dispositivos de dessorção destes gases do sistema, que podem estar associados a culturas intensivas.

### 3.5.2 - Remoção de Amônia e Nitrito

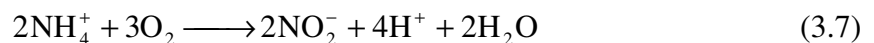
Como em muitos casos de tratamento de efluentes industriais, agrícolas e urbanos (METCALF & EDDY, 2003), o tratamento biológico dos efluentes de sistemas de produção intensiva de aquacultura tem se revelado o método mais economicamente viável (VAN RIJN, 1996).

Na aquacultura com recirculação é particularmente importante a redução da concentração de amônia (e nitrito) na água, devido à sua produção constante como um resíduo metabólico por parte dos peixes, e conseqüente tendência à acumulação deste composto tóxico no sistema. O processo biológico de remoção de amônia da coluna, através de filtros biológicos (nitrificação) ou flocos microbianos (assimilação biológica), são os métodos mais utilizados em aquacultura. Existem outras possibilidades de métodos para a remoção de

amônia, como dessorção, cloração ao ponto de quebra, filtração com membrana e adição de ozônio, porém não são comumente usados na aquacultura (AVNIMELECH, 2006; LEKANG, 2007).

Um dos processos de tratamento usados em aquacultura é a filtração biológica. O propósito principal deste processo é criar condições e uma superfície adequada para o desenvolvimento de um biofilme, no qual crescem microorganismos nitrificantes em quantidade suficiente para oxidação do nitrogênio amoniacal produzido. A nitrificação é composta por duas etapas: a oxidação da amônia a nitrito e a oxidação do nitrito a nitrato. Cada uma desta etapa é desempenhada por diferentes grupos de organismos (equações 3.7, 3.8 e 3.9), em especial bactérias de acordo com a reação (METCALF & EDDY, 2003):

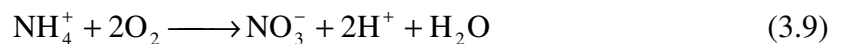
- Oxidação da amônia (especialmente bactérias de gênero *Nitroso*-):



- Oxidação do nitrito (especialmente bactérias de gênero *Nitro*-):



- Reação Total de Nitrificação:



Trata-se, portanto, de um processo que ocorre em condições aeróbias, de forma que os processos biológicos empregados para esta função devem considerar a necessidade da existência de oxigênio dissolvido em concentrações adequadas. TIMMONS *et al.* (2002) recomendam uma concentração mínima de oxigênio dissolvido de 2mg/L para assegurar a nitrificação.

Existem consideráveis debates em relação à qual tipo de filtro biológico seria mais apropriado para aplicação em sistemas intensivos de aquacultura. No entanto cada sistema de filtração biológica tem vantagens e desvantagens associadas e sua área própria de aplicação onde se adapta melhor (TIMMONS *et al.*, 2002). Sistemas comerciais de recirculação em larga escala vêm usando filtros granulares (como de leito expandido, de leito fluidizado e de leito com grânulos flutuantes), porém há diversos tipos de filtros comumente usados em sistemas de aquacultura com recirculação, como biofiltros aerados submersos (RUSTEN *et al.*, 2006), filtros com meio fibroso (SESUK *et al.*, 2009), filtros percoladores (EDING *et al.*, 2006; LEKANG & KLEPPE, 2000) e Reator Biológico de Contato – RBC (BRAZIL, 2006).

### 3.5.3 – Remoção de Sólidos

Entre as unidades mais importantes em um sistema de aquacultura com recirculação, destacam-se aquelas projetadas para a remoção dos sólidos suspensos da água. Estes sólidos são produzidos pelos organismos aquáticos cultivados (fezes), pela biomassa microbiana (biofilmes e bioflocos), ou derivados diretamente do manejo aquícola (por exemplo, sobras de ração). O acúmulo destes sólidos prejudica o sistema como um todo.

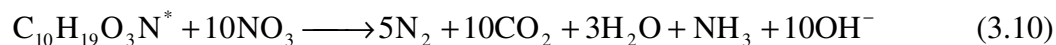
Os três métodos mais usados para remover sólidos suspensos de tanques de peixes são: separação por gravidade, filtração e flotação (TIMMONS *et al.*, 2002). A separação de sólidos por gravidade funciona através do princípio da sedimentação, e compreende clarificadores (tanques e tubos de sedimentação) e hidrociclones (DAVIDSON & SUMMERFELT, 2005; PARK *et al.*, 2008). A remoção também pode ser realizada por filtração. Este processo pode ser realizado por filtros de membrana e filtros com meio granular ou poroso, também podendo ser flutuante (STEICKE *et al.*, 2007). Nos processos por flotação, as partículas aderidas a bolhas de ar são separadas da água (TIMMONS *et al.*, 2002).

No caso de ausência ou insuficiência no sistema de tratamento de efluentes, o lançamento de sólidos suspensos totais (SST) pode afetar o ambiente aquático, prejudicando o substrato ao saturá-lo com material particulado, que também fornece as condições para o desenvolvimento de microorganismos heterotróficos e conseqüente depleção dos níveis de oxigênio dissolvido (SINDILARIU, 2007).

### 3.5.4 - Demais Componentes

Um sistema de aquacultura com recirculação pode ser composto de diversas unidades de tratamento visando atender diferentes tipos de função. As unidades de tratamento podem incluir desinfecção por radiação ultravioleta (UV) ou ozônio visando a remoção de patógenos da água circulante no sistema ou da água de abastecimento (SUMMERFELT *et al.*, 2009).

Podem estar presentes unidades para desnitrificação que promovem diminuição da concentração do nitrato da água, realizando a sua redução biológica a nitrogênio atmosférico (BOLEY *et al.*, 2000; LEKANG, 2007; KLAS *et al.*, 2006; SINGER *et al.*, 2008). A desnitrificação (equação 3.10) é um processo biológico pelo qual o nitrato ou o nitrito (ao invés do oxigênio) são utilizados como aceptores de elétrons para oxidação de substratos orgânicos, em condições anóxicas (METCALF & EDDY, 2003):



\* O termo  $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_3\text{N}$  é usualmente usado para representar a matéria orgânica biodegradável em efluentes.

Também vêm sendo estudadas unidades para remoção biológica de fósforo em sistemas de aquacultura, através da incorporação de um estágio anaeróbico de tratamento. Neste processo o fósforo tende acumular no excesso de lodo, podendo ser removido da coluna d'água (BARAK *et al.*, 2003).

A remoção de nitrogênio e fósforo vem despertando interesse na aquacultura com recirculação pois pode haver acúmulo destes compostos em níveis deletérios para a produção. Além disso, há interesse sob o ponto de vista ambiental, considerando que estas técnicas podem promover a remoção completa destes nutrientes do meio líquido, onde são promotores de processos de eutrofização (METCALF & EDDY, 2003).

### 3.6 – Aquacultura com Recirculação: Tendências e Pesquisas Recentes

Os estudos desenvolvidos neste campo visam uma melhor compreensão dos processos atuantes nas unidades de tratamento e dos fatores que atuam sobre seu funcionamento de forma integrada com o ciclo produtivo. Busca-se, assim, aprimorar a eficiência desta tecnologia, sob o ponto de vista ambiental e econômico. A aquacultura com recirculação vem sendo estudada em relação:

- ao tipo e características estruturais do filtro e demais unidades usadas (BOLEY *et al.*, 2000; BRAZIL, 2006; DAVIDSON & SUMMERFELT, 2005; DUPLA *et al.*, 2006; GREINER & TIMMONS, 1998; LEKANG & KLEPPE, 2000; MATOS *et al.* 2009; SESUK *et al.*, 2009; SINGER *et al.*, 2008; SINGH *et al.*, 1999; STEICKE *et al.*, 2007);
- à performance do sistema de tratamento e de produção (BARAK & VAN RIJN, 2000; BOOPATHY, 2009; D'ORBCASTEL *et al.*, 2009; MASTERS *et al.*, 2008; NAGADOMI *et al.*, 1999; PARK *et al.*, 2008; SANDU *et al.*, 2008; SASTRY *et al.*, 1999; SCHNEIDER *et al.*, 2007a; SHNEL *et al.*, 2002; SUMMERFELT *et al.*, 2000; SUZUKI *et al.*, 2003; VAN RIJN *et al.*, 2006);

- à previsibilidade e modelagem matemática dos sistemas (COLT *et al.*, 2009; KLAS *et al.*, 2006; WIK *et al.*, 2009);
- à relação dos sistemas com os ciclos de nutrientes (NEORI *et al.*, 2007; RAFIEE & SAAD, 2005);
- ao efeito da qualidade da água e da exposição a diferentes cargas orgânicas sobre as unidades de tratamento (CHEN *et al.*, 2006; FONTENOT *et al.*, 2007; LING & CHEN, 2005; LYSSSENKO & WHEATON, 2006; MICHAUD *et al.*, 2006; PEDERSEN *et al.*, 2007; SHAN & OBBARD, 2001; ZHU & CHEN, 2002);
- às características hidráulicas do escoamento através dos filtros e tempo de retenção (SANDU *et al.*, 2002; SCHNEIDER *et al.*, 2007b; SEO *et al.*, 2001; ZHU & CHEN, 2001);
- à comunidade microbiana atuante no sistema (HWANG *et al.*, 2007; ITOI *et al.*, 2007; TAL *et al.*, 2003; TOKUYAMA *et al.*, 2004).

Também são desenvolvidos estudos visando a associação da aquacultura com recirculação a outras modalidades produtivas, como a aquaponia, que integra a aquacultura com a hidroponia (LENNARD & LEONARD, 2006; TOKUYAMA *et al.*, 2004). São ainda investigados sistemas de tratamento de efluentes aquícolas através do uso de algas (COPERTINO *et al.*, 2009; MARINHO-SORIANO *et al.*, 2009; METAXA, 2006; WANG *et al.*, 2007) e banhados construídos (TILLEY *et al.*, 2002; ZACHRITZ II *et al.*, 2008); além da possibilidade de aproveitamento dos resíduos gerados em outras atividades produtivas (MARSH *et al.*, 2005).

#### 4 - METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Laboratório de Aquacultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Nesta estrutura foram operados os tanques de cultivo e a unidade de tratamento e recirculação. As análises dos parâmetros de qualidade da água foram realizadas junto aos laboratórios de Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) e do Departamento de Zootecnia desta universidade.

O estudo foi desenvolvido em dois sistemas funcionando paralelamente, buscando representar situações com e sem tratamento e recirculação de efluentes. Os tanques de cultivo foram povoados com tilápias-do-Nilo - *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) - (figura 4.1) em estágio juvenil inicial. Ao longo de 25 semanas de experimento (entre 03/06/2008 e 18/11/2008) foram realizados acompanhamentos dos principais parâmetros de qualidade da água para a aquacultura e para a estimativa do funcionamento e desempenho do sistema de tratamento e recirculação de efluentes. Os valores de qualidade da água levantados foram contrastados mediante análise de variância (ANOVA), utilizando Delineamento em Blocos Casualizados (DBC com o tempo como fator de bloco) (QUINN & KEOUGH, 2007) e Análise de Correlação com nível de significância de 5%. Dessa forma, as repetições das coletas nos mesmos pontos, ao longo do tempo, foram consideradas como blocos amostrais, evitando assim a necessidade de construção de múltiplas réplicas da unidade de aquacultura com recirculação.



**Figura 4.1:** Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*)  
(Fonte: World Fish Center)



**Figura 4.2:** Tanques de cultivo

#### 4.1 – Parâmetros de Projeto

Com o intuito de representar uma situação de cultivo intensivo, foi feito o dimensionamento do sistema para uma densidade final de  $30\text{kg/m}^3$  de tilápias. Como a despesca deste peixe costuma ocorrer quando o animal atinge cerca de 600g (KUBITZA, 2003), eram esperados 50 indivíduos com este peso para cada tanque de 1000L ao término do experimento. Tendo em vista uma taxa natural de mortalidade esperada, os tanques sem recirculação e com recirculação foram povoados respectivamente com 65 indivíduos (biomassa total inicial = 477g) e 64 indivíduos (biomassa total inicial = 491g).

Toda produção de poluente dentro de um sistema de aquacultura com recirculação, ou o consumo de alguma substância, pode ser relacionada proporcionalmente à taxa de alimentação dos peixes. Em princípio, se o sistema não está sendo alimentado (significando um *input* de matéria e energia), não há poluição (TIMMONS *et al.*, 2002). Dessa forma, ao determinar a taxa de alimentação necessária é possível fazer uma estimativa da produção de poluentes (como nitrogênio amoniacal e sólidos totais) e do consumo de substâncias (como oxigênio dissolvido e alcalinidade) em um dado momento.

O sistema com recirculação construído foi dimensionado de forma a cumprir sua função na situação mais crítica que se espera atingir sob o ponto de vista da qualidade da água, ou seja, o dia anterior à despesca em que seria atingida biomassa máxima teórica ( $30\text{kg/m}^3$ ) e quando há o maior aporte de matéria orgânica ao sistema sob a forma do fornecimento diário de ração.

Com base em valores encontrados em estudos anteriores (TIMMONS *et al.*, 2002), considerando o potencial de taxa de crescimento da tilápia em temperaturas normais de cultivo para esta espécie ( $28^\circ\text{C}$ ), esperou-se obter um incremento de 5,7g no peso de cada indivíduo no último dia de cultivo, quando seria atingido o peso final de 600g por indivíduo. Considerando que são esperados 50 indivíduos por tanque na despesca, estimou-se um ganho de biomassa de 285g por tanque no último dia. Assumindo um Fator de Conversão Alimentar (FCA) de 1,3 para a espécie cultivada (TIMMONS *et al.*, 2002), ou seja, para o incremento de 1kg de biomassa de peixe é necessário 1,3kg de ração, deduziu-se que seriam necessários 370g de ração para cada tanque para o último dia de cultivo. Este valor serviu como referência para o dimensionamento do sistema de tratamento e recirculação construído para o experimento.

Para a alimentação das tilápias foram utilizados dois tipos de rações extrusadas durante o período experimental, de acordo com evolução da necessidade nutricional dos

peixes. A ração Supra Juvenil Gaiola<sup>®</sup> foi administrada para os juvenis no período inicial do experimento (da 1<sup>a</sup> até a 12<sup>a</sup> semana experimental) e a ração Supra Tilápia Gaiola<sup>®</sup> foi usada para os indivíduos adultos (entre a 13<sup>a</sup> e a 25<sup>a</sup> semana de experimento). A tabela 4.1 apresenta a composição típica destes produtos.

**Tabela 4.1:** Composição típica das rações utilizadas no experimento (Fonte: Site ALISUL/SUPRA<sup>®</sup>, 2009).

Níveis de Garantia	Supra Juvenil Gaiola <sup>®</sup>	Supra Tilápia Gaiola <sup>®</sup>
Umidade (Max.):	12%	12%
Energia digestível:	3.800 Kcal/kg	3.500 Kcal/kg
Proteína Bruta (Min.):	42%	32%
Extrato etéreo (Min.):	9%	7,0%
Cálcio (Max.):	3%	2%
Fósforo (Min.):	1,5%	1%
Vitamina C:	500mg/kg	300mg/kg

#### 4.1.1 – Produção Esperada de Nitrogênio Amoniacal

Para o caso de cultivo de peixes, Timmons *et al.* (2002), sugerem o uso do seguinte cálculo na estimativa da produção de nitrogênio amoniacal total (equação 4.1):

$$P_{\text{NAT}} = \text{TA} \times \text{CP} \times 0,092 \quad (4.1)$$

Onde,

$P_{\text{NAT}}$  = Produção de Nitrogênio Amoniacal Total (g/dia)

TA = Taxa de Alimentação diária (g/dia)

CP = Conteúdo Protéico do alimento (gramas de proteína/gramas de alimento)

A constante na equação 4.1 é baseada nas seguintes aproximações (equação 4.2), segundo Timmons *et al.* (2002):

$$0,092 = 0,16 \times 0,80 \times 0,80 \times 0,90 \quad (4.2)$$

Assumindo que:

- 16% da proteína é nitrogênio
- 80% do nitrogênio é assimilado



- 80% do nitrogênio assimilado é excretado
- 90% do nitrogênio é excretado como nitrogênio amoniacal e 10% como uréia

Desta forma, para a condição final de maior densidade de estoque projetada, foi esperada uma produção máxima de nitrogênio amoniacal total de 11 gramas por dia para cada tanque, considerando uma taxa final de alimentação de 370g por dia de uma ração com 32% de proteína (Supra Tilápia Gaiola<sup>®</sup> - usada na parte final do experimento).

#### 4.1.2 – Consumo Esperado de Oxigênio

O consumo de oxigênio (equação 4.3) da mesma forma, é estimado com base na taxa de alimentação (TIMMONS *et al.*, 2002):

$$C_{O_2} = TA \times 0,37 \quad (4.3)$$

Onde,

$C_{O_2}$  = Consumo de  $O_2$  (g/dia)

TA = Taxa de Alimentação diária (g/dia)

Valor originado das seguintes estimativas:

- 0,25kg de  $O_2$  são consumidos pelos peixes para cada kg de alimento;
- 0,12kg de  $O_2$  são consumidos pela biomassa bacteriana para cada kg de alimento;
- Total = 0,37kg de  $O_2$  (0,25+0,12) são consumidos para cada kg de alimento fornecido ao sistema (incluindo a biomassa microbiana)

Portanto, para 370g de ração, esperou-se obter um pico de consumo de oxigênio dissolvido de 137g  $O_2$ /dia para cada tanque.

#### 4.1.3 – Produção Esperada de Sólidos

A produção de sólidos é estimada com base na equação 4.4 (TIMMONS *et al.*, 2002):

$$P_{SST} = TA \times 0,25 \quad (4.4)$$

Onde,

$P_{SST}$  = Produção de Sólidos Suspensos Totais (g/dia – peso seco)

TA = Taxa de Alimentação diária (g/dia)

Para uma taxa de alimentação 370g de ração diária, houve uma expectativa máxima de produção de 92,5g de sólidos suspensos totais por dia para cada tanque.

## 4.2 – Dimensionamento e Construção do Protótipo

Os sistemas de cultivo aquícola, em escala experimental, foram compostos pelos tanques e pelas unidades de tratamento e recirculação.

### 4.2.1 – Tanques de Cultivo

Os tanques de cultivo compreenderam duas caixas-d'água de fibrocimento com capacidade para 1000L. Foram instaladas em uma área coberta adjacente ao Laboratório de Aquicultura. O local onde os tanques foram instalados recebe incidência indireta de luz solar, através de janelas cobertas com plástico transparente, criando um ambiente similar a uma estufa (figura 4.3). Cada tanque foi equipado com dois aquecedores de 300W, regulados para a manutenção da temperatura da água entre 24°C e 28°C, por meio de um termostato.



**Figura 4.3:** Laboratório de Aquicultura  
- Área dos Tanques



**Figura 4.4:** *Stand-Pipe*

O tanque sem sistema de recirculação recebeu aeração através de uma bomba de ar eletromagnética de 18W com 4 saídas totalizando 30L de ar/min (modelo ACO-001)

conectada a pedras porosas submersas. Como a eficiência de transferência de gases destes tipos de aeradores fica em torno de 3 a 7% (TIMMONS *et al.*, 2002) (conservadoramente, optou-se por considerar 3%) foi prevista uma transferência de 0,9L/min de ar atmosférico para a coluna d'água como gases dissolvidos. A pressão parcial do oxigênio atmosférico é de 21% (METCALF & EDDY, 2003). Seriam, portanto, transferidos 189mL de oxigênio por minuto para a água, ou 272L de O<sub>2</sub> por dia. Pela lei dos gases ideais, 272L de um gás são 12,15 mols deste gás (SAWYER *et al.*, 2003). No caso do O<sub>2</sub> (32g/mol), isto significa a transferência de 357g de O<sub>2</sub>/dia. Este valor é superior àquele calculado como o consumo máximo esperado de oxigênio (137g O<sub>2</sub>/dia), de forma que se concluiu que a bomba de ar deveria atender a demanda.

O tanque com recirculação foi conectado às unidades de tratamento e aeração externas por meio de uma tubulação associada a uma bomba hidráulica. A saída de água do tanque com recirculação foi dada por uma estrutura denominada *stand-pipe*, que tinha por objetivo manter o nível de água no tanque caso houvesse um vazamento em algum ponto do sistema. O *stand-pipe* foi construído de forma a promover a saída de água junto ao fundo do tanque, garantindo que fossem capturados os sólidos sedimentados no tanque (figura 4.4).

#### 4.2.2 – Colunas de Aeração

A oxigenação da água no tanque com recirculação, necessária aos peixes e microorganismos do sistema, foi proporcionada por duas colunas de aeração (*packed column aerator*) funcionando paralelamente. Tratava-se de estruturas construídas em tubulação de PVC com 1,10m de altura de 0,20m de diâmetro, preenchidas com meios inertes de grande área superficial específica, por onde a água passava em fluxo descendente. O objetivo era favorecer uma alta área de contato entre o ar atmosférico e a água de cultivo, oxigenando a água e liberando o excesso de dióxido de carbono através da lei de Henry de equilíbrio dos gases dissolvidos em meio líquido. As colunas foram preenchidas por diferentes meios de percolação: em uma delas foi utilizado um material plástico específico para este tipo de uso (*pall-rings*) (figura 4.6) e na outra foram utilizadas tampas de garrafas plásticas tipo PET (figura 4.5).



**Figura 4.5:** Tampas de garrafas PET



**Figura 4.6:** PALL-RING

As cargas hidráulicas recomendadas para colunas de aeração ficam entre  $7\text{L/m}^2\text{s}$  e  $48\text{L/m}^2\text{s}$  (TIMMONS *et al.*, 2002). A eficiência de transferência oxigenação (E) para este tipo de aerador pode ser descrita pela equação 4.5:

$$E = \left( \frac{\text{OD}_{\text{out}} - \text{OD}_{\text{in}}}{C_s - \text{OD}_{\text{in}}} \right) \times 100 \quad (4.5)$$

Onde,

E= Eficiência de oxigenação (%)

$\text{OD}_{\text{out}}$ = Concentração de oxigênio dissolvido na saída da coluna;

$\text{OD}_{\text{in}}$ = Concentração de oxigênio dissolvido na entrada da coluna;

$C_s$ = Concentração de saturação de oxigênio dissolvido

A concentração de oxigênio dissolvido nas entradas das colunas ( $\text{OD}_{\text{in}}$ ) devia ser igual àquela do tanque de cultivo, determinada, portanto, conforme a necessidade da espécie cultivada. Para o caso deste projeto, determinou-se que o  $\text{OD}_{\text{in}}$  deveria ser de pelo menos  $5,00\text{ mg/L}$ . Para uma situação limite de  $28^\circ\text{C}$  a  $C_s = 7,8\text{ mg de O}_2/\text{L}$  e assumindo uma eficiência teórica de oxigenação de 85% (TIMMONS *et al.*, 2002 – valor médio para unidades semelhantes - a ser investigado neste estudo) o  $\text{OD}_{\text{out}}$  deve ser de  $7,38\text{ mg de O}_2/\text{L}$ .

O sistema produz uma demanda de  $137\text{g O}_2/\text{dia}$  e as colunas devem incrementar a concentração de  $\text{O}_2$  em  $2,38\text{ g/m}^3$  ( $7,38\text{ g/m}^3 - 5,00\text{ g/m}^3$ ). Para atender esta demanda seria necessária uma vazão de  $57,56\text{ m}^3/\text{dia}$  ( $\approx 40\text{L/min}$ ).

#### 4.2.3 – Filtro Biológico

O filtro biológico de leito flutuante (*floating beads biofilter*) utilizado para o tanque com sistema de recirculação foi projetado para cumprir as funções de nitrificação e remoção de sólidos, conforme Malone & Beecher (2000). Trata-se de um processo de tratamento biológico em um reator de fluxo ascendente com crescimento microbiano em biofilme aderido submerso, semelhante ao processo Biostyr® (METCALF & EDDY, 2003).

O filtro foi construído com uma bombona plástica de 50L, preenchida com grânulos de polietileno de baixa densidade (PEBD) derivados de reciclagem (figuras 4.7 e 4.8). Estes grânulos (ou *beads*) flutuam na água ( $d= 0,91$ ) e serviram como meio suporte para a formação de biofilme, cuja composição microbiana deve ser competente para a promoção da nitrificação. Possuem dimensões médias de 5x3x2mm, tendo a propriedade de apresentar uma alta área superficial específica quando em conjunto ( $1150-1475 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) (TIMMONS *et al.*, 2002).

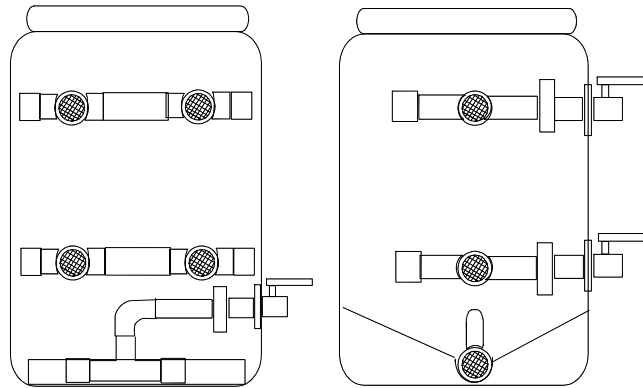


**Figura 4.7:** Beads



**Figura 4.8:** Comparação

Internamente ao filtro, em sua parte inferior, foi instalada uma calha fabricada com acrílico, que teve por objetivo concentrar os sólidos sedimentados no interior do filtro durante sua retro-lavagem (figura 4.9). A existência desta calha reduziu o volume útil do filtro para 48L.



**Figura 4.9:** Representação interna do filtro biológico

De acordo com Malone & Beecher (2000), em estudos feitos para filtros biológicos de leito flutuante granular (*floating beads biofilters*), a taxa de conversão do nitrogênio amoniacal por volume de meio filtrante fica entre 140g e 350g de Nitrogênio Amoniacal Total (NAT)/m<sup>3</sup>dia. Assumindo uma taxa volumétrica média de conversão do nitrogênio amoniacal de 222g NAT/m<sup>3</sup>dia (média geométrica), pode-se calcular o volume necessário de meio filtrante para a taxa de conversão de NAT pretendida (equação 4.6), que deve ser, ao menos, equivalente à produção máxima esperada de nitrogênio amoniacal (ou 11g de NAT/dia):

$$\text{Volume}_{\text{beads}} = (1,0 - I_s) \times \frac{P_{\text{NAT}}}{\text{TVC}_{\text{NAT}}} \quad (4.6)$$

Onde,

$\text{Volume}_{\text{beads}}$  = volume necessário de meio granular flutuante (“*beads*”) (m<sup>3</sup>);

$I_s$  = fração de nitrificação *In Situ*,

$P_{\text{NAT}}$  = produção de nitrogênio amoniacal total (g/dia);

$\text{TVC}_{\text{NAT}}$  = taxa volumétrica de conversão do nitrogênio amoniacal total (g/m<sup>3</sup>dia).

O valor de  $I_s$ , ou fração de nitrificação *In Situ*, reconhece o efeito da nitrificação que ocorre nas paredes do tanque e nos encanamentos do sistema. Um valor de  $I_s=0,3$  normalmente é usado conservadoramente (TIMMONS *et al.*, 2002).

Para o filtro construído, assumindo um valor de  $I_s= 0,3$ ,  $\text{TVC}_{\text{NAT}}= 222\text{g NAT/m}^3\text{dia}$  e  $P_{\text{NAT}}= 11\text{g/dia}$  são necessários aproximadamente 34L de meio granular flutuante (*beads*) como preenchimento para o filtro: este foi o volume utilizado no filtro construído.

O filtro biológico possui fluxo ascendente, com uma entrada em sua parte inferior e uma saída em sua porção superior. Há ainda uma saída inferior para o escoamento do efluente



da retrolavagem do filtro que ocorreu de forma periódica (ver adiante em “Manutenção do Sistema”). Todas as saídas e entradas do filtro são protegidas por uma tela de malha menor que as dimensões dos *beads*, de forma a impedir sua saída do filtro (figura 4.10 e 4.11).



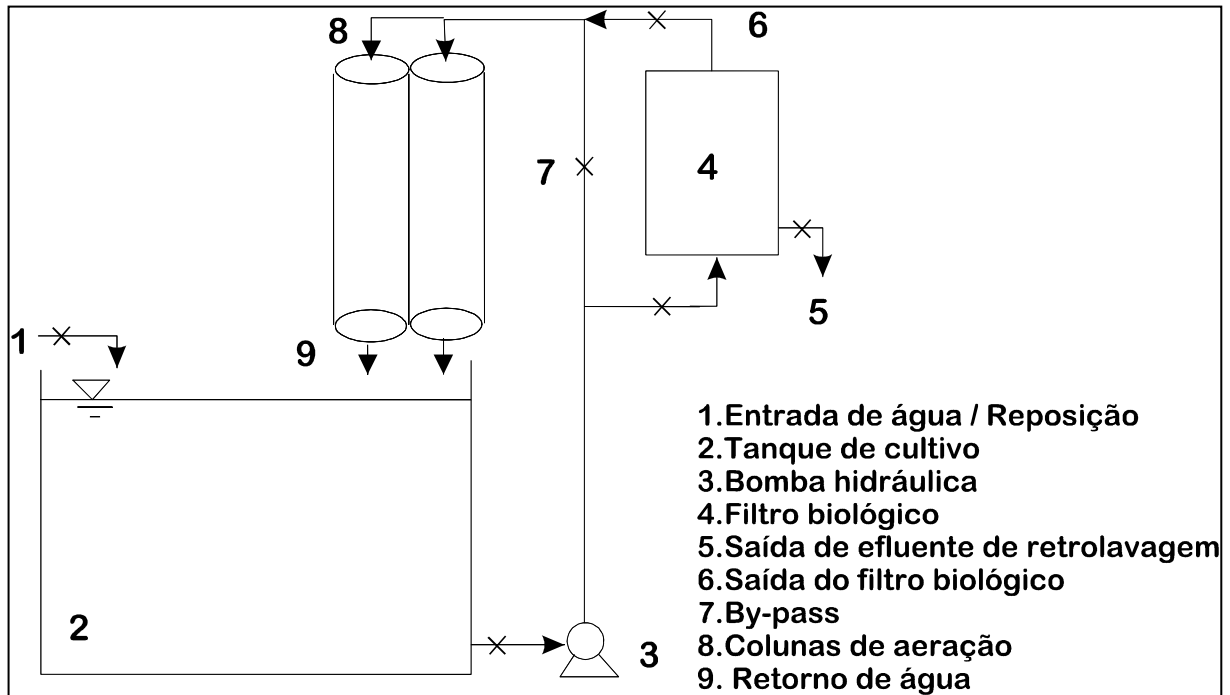
**Figura 4.10:** Foto do filtro biológico



**Figura 4.11:** Vista interna do filtro biológico

#### 4.2.4 – Instalação Hidráulica

A instalação hidráulica foi montada com canalizações de 32mm e conexões de PVC comuns de uso para água fria predial. O bombeamento necessário ao funcionamento do sistema de recirculação foi dado por uma bomba hidráulica elétrica de ½ hp, funcionando em tensão de 120V. Esta bomba tem capacidade máxima de fornecimento de uma vazão de 40 L/min e recalque hidráulico de 50m. Devido à elevada perda de carga hidráulica do sistema, a vazão utilizada foi de 20 L/min de forma a evitar problemas com excesso de pressão nos encanamentos e no filtro biológico. Foi feito um sistema de *by-pass* paralelo ao filtro, de forma que a vazão para as colunas de aeração não precise ser interrompida durante a retrolavagem ou manutenções do filtro (figura 4.12). Com uma vazão final instalada de 20L/min, o tempo de detenção hidráulico no filtro foi de 42 segundos (a cada passagem).



**Figura 4.12:** Fluxograma do percurso da água no sistema de recirculação

### 4.3 – Manutenção do Sistema

#### 4.3.1 – Manutenção dos Tanques de Cultivo

O tanque sem recirculação sofreu trocas diárias de água (em torno de 20% ao dia), através de sifonamento e reposição, de forma a manter a qualidade da água em níveis apropriados. Para este controle, além do acompanhamento da evolução dos parâmetros de qualidade da água, foi considerada a taxa de alimentação fornecida (e a conseqüente produção esperada de nitrogênio amoniacal). Dessa forma, foi possível estimar as trocas de água necessárias para a manutenção deste parâmetro em níveis aceitáveis.

No tanque com recirculação, durante o período de aclimação do filtro biológico (formação de biofilme competente), também foram feitas trocas periódicas de água de forma a evitar a deterioração da qualidade da água a níveis perigosos (4 primeiras semanas de experimento). Após este período, somente foram repostas as quantidades necessárias para compensar as perdas de água associadas às retrolavagens do filtro, vazamentos e à evaporação.

A reposição da água foi feita com água da rede de abastecimento da Universidade, sendo necessária a remoção do cloro residual, que pode ser fatal para os peixes. A remoção do



cloro residual da água foi feita com uma solução de tiosulfato de sódio a 5% aplicada na dose de 0,11mL para cada litro de água reposta.

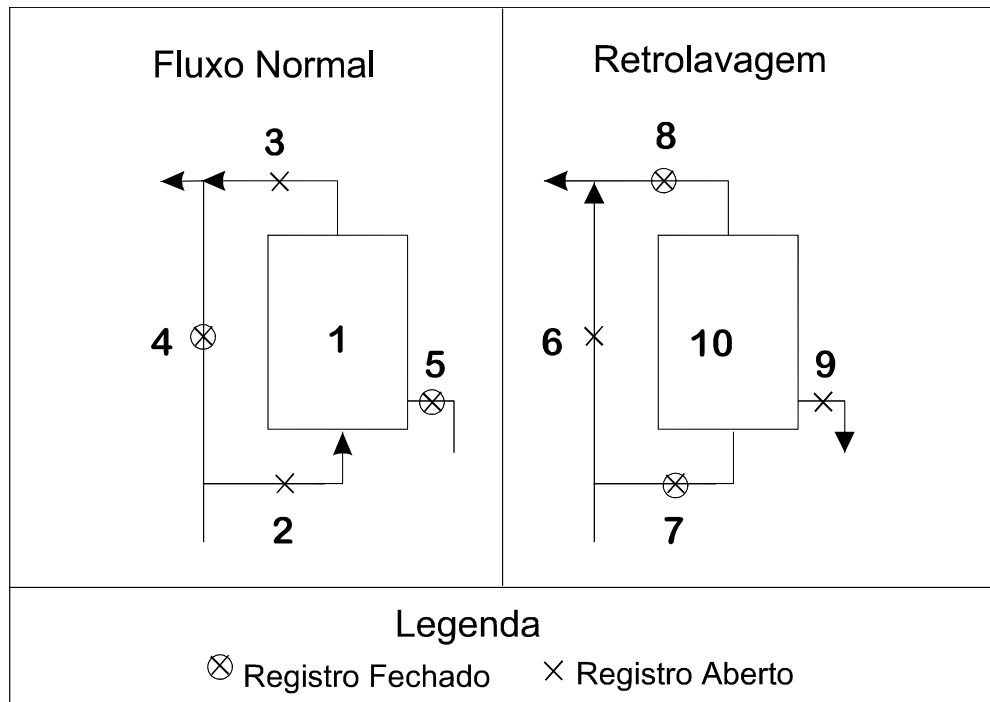
A decomposição de matéria orgânica através da respiração aeróbia, com liberação de CO<sub>2</sub> para a coluna d'água e o próprio processo de nitrificação consomem a alcalinidade da água e tendem a diminuir o pH (ESTEVEES, 1998). A correção necessária de pH e alcalinidade dos tanques foi feita com incorporação de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Como regra geral, é recomendada a incorporação de 0,25g de bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) para cada grama de ração fornecida (TIMMONS *et al.*, 2002). Fazendo a conversão em equivalentes, isto significa a incorporação de cerca de 15% do peso da ração fornecida como carbonato de cálcio, para manutenção da alcalinidade da água.

Foi registrada diariamente toda manutenção realizada nos tanques de cultivo, anotando-se as freqüências e volumes de trocas de água, quantidades de ração fornecida e a incorporação de carbonato de cálcio.

#### 4.3.2 – Manutenção das Unidades de Tratamento e Recirculação

O filtro biológico utilizado (*floating beads biofilter*) foi projetado para a remoção conjunta de nitrogênio amoniacal e sólidos. Para que sua função e eficiência fossem cumpridas foram necessárias retro-lavagens (*backwashing*) diárias visando à remoção do excesso de sólidos e biofilme acumulados no interior do filtro. Além disso, pretendeu-se com este manejo que fosse mantida uma massa apropriada de bactérias nitrificantes residentes no filtro (MALONE & BEECHER, 2000). Conforme Matsuda *et al.* (1988) e Zhang *et al.* (1995), citados por Malone & Beecher (2000), os sólidos orgânicos que tendem a acumular no interior do filtro não só podem se decompor e produzir amônia, como encorajam o crescimento de bactérias heterotróficas que competem por espaço e nutrientes com as bactérias nitrificantes.

A retro-lavagem remove o excesso de bactérias heterotróficas, sólidos e possivelmente também bactérias nitrificantes. Se o intervalo entre as retro-lavagens for muito curto, as nitrificantes não terão tempo suficiente para o restabelecimento de suas populações, reduzindo a taxa de nitrificação do filtro. Há, portanto, a necessidade de um equilíbrio entre evitar o acúmulo de sólidos e biomassa heterotrófica e fornecer tempo necessário para o crescimento das nitrificantes, determinado pela freqüência de retro-lavagens (MALONE & BEECHER, 2000). Para o sistema estudado procurou-se realizar uma retro-lavagem diária de 20L. A figura 4.13 apresenta os fluxos de água durante o processo de retrolavagem.



**Figura 4.13:** Fluxo Normal: (1) Filtro biológico em funcionamento normal, com fluxo ascendente; (2) Registro de entrada aberto; (3) Registro de saída aberto; (4) By-pass fechado; (5) Registro de retrolavagem fechado.

Processo para Retrolavagem: (6) Abertura do by-pass; (7) Fechamento do registro de entrada; (8) Fechamento do registro de saída (podendo ser aberto para controle da retrolavagem); (9) Abertura do registro de retrolavagem; (10) Filtro Biológico com fluxo descendente (com agitação dos *beads* e liberação de sólidos).

#### 4.4 – Monitoramento dos Parâmetros de Qualidade da Água

Foram acompanhados parâmetros para avaliar o desempenho do sistema de tratamento e a adequação da qualidade da água para o desenvolvimento dos organismos cultivados. As amostras de água foram coletadas semanalmente nas entradas e saídas de cada unidade de tratamento, assim como nos tanques de cultivo e no efluente da retro-lavagem periódica do filtro biológico ao longo do período experimental de 25 semanas. No total, seis pontos foram analisados semanalmente para 18 parâmetros de qualidade da água: temperatura, pH, alcalinidade, oxigênio dissolvido, condutividade, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, carbono orgânico total, sulfato, fosfato, fluoreto e cloreto (figura 4.14).

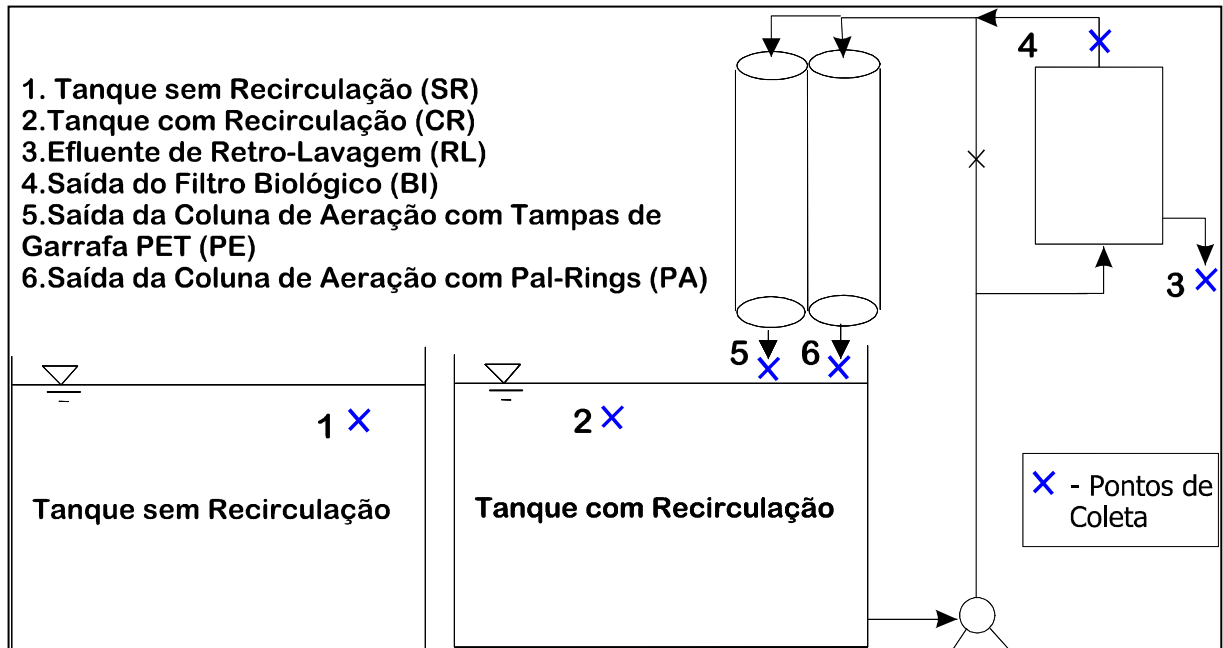


Figura 4.14: Pontos de Coleta

As análises de pH e temperatura foram feitas com o auxílio de um pHmetro (Denver<sup>®</sup> - Ultrabasic) e um termômetro. A condutividade e salinidade foram medidas com um condutivímetro (YSI<sup>®</sup> - modelo 33) e a turbidez foi avaliada com um turbidímetro (Micronal<sup>®</sup> - B250). As análises de nitrito, nitrato, sulfato, fosfato, fluoreto e cloreto foram realizadas em um cromatógrafo iônico (Dionex<sup>®</sup> - DX120). Para o carbono orgânico total (COT) foi utilizado o analisador de carbono total (Shimatzu<sup>®</sup> - TOC-V CSH). As análises foram realizadas conforme o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 1998): Alcalinidade (método 2320), Oxigênio Dissolvido (Winkler modificado por Azida Sódica- método 4500), Nitrogênio Amoniacal (método 4500-NH<sub>3</sub>), Nitrogênio Orgânico (método 4500-N<sub>org</sub>) e Sólidos Totais, Suspensos e Dissolvidos (método 2540).

#### 4.5 – Desempenho do Filtro Biológico

A avaliação do desempenho e da eficiência do filtro biológico na remoção de resíduos nitrogenados e sólidos foi calculada com base nos dados obtidos ao longo do experimento, de acordo com as equações 4.7 a 4.9 (AL-HAFEDH *et al.*, 2003):

$$\text{Carga de Resíduo (g/dia)} = C_i \times Q \quad (4.7)$$

$$\text{Carga de Remoção do Resíduo (g/dia)} = (C_i - C_e) \times Q \quad (4.8)$$

$$\text{Eficiência de Remoção (E)} = \frac{\text{Carga de Remoção do Resíduo} \times 100}{\text{Carga de Resíduo}} \quad (4.9)$$

Onde,

$C_i$  = Concentração do resíduo na entrada do filtro ( $\text{g/m}^3$ );

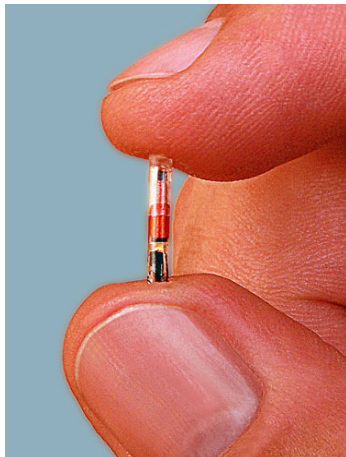
$C_e$  = Concentração do resíduo no efluente do filtro ( $\text{g/m}^3$ );

$Q$  = Vazão de água ( $\text{m}^3/\text{dia}$ ).

#### 4.6 – Desempenho Zootécnico

O desempenho zootécnico dos peixes nos dois sistemas de cultivo, com e sem recirculação foi avaliado em três biometrias realizadas em 11/09/2008, 16/10/2008 e 20/11/2008. Nestas ocasiões foram registrados os pesos dos animais, comprimento total, altura, largura e comprimento da cabeça.

Para a avaliação do desempenho individual, 12 peixes de cada tanque foram identificados com implantes de *microchips* na região ventral (figura 4.15). A aplicação do implante foi feita após o anestesiamento dos peixes com uma solução com eugenol (óleo de cravo) (figura 4.16). Cada peixe desta forma foi tratado como uma unidade experimental, que poderia ser identificado através de um leitor de *microchip*.



**Figura 4.15:** Microchip



**Figura 4.16:** Aplicação de microchips

Para a avaliação do desempenho zootécnico foram estimados os seguintes índices: ICAD= índice de consumo alimentar diário, G= ganho de peso, TCE= taxa de crescimento específico, CAA= conversão alimentar aparente, TEP= taxa de eficiência protéica, calculados conforme as equações 4.10 a 4.14 (SALHI *et al*, 2004):

$$\text{ICAD (g)} = \text{Consumo de ração} / \text{n dias} \quad (4.10)$$

$$\text{G (g)} = \text{Peso final} - \text{Peso inicial} \quad (4.11)$$

$$\text{TCE} = ((\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso inicial}) / \text{n dias}) \times 100 \quad (4.12)$$

$$\text{CAA} = \text{Consumo de ração} / \text{G} \quad (4.13)$$

$$\text{TEP} = \text{G} / \text{Proteína ingerida} \quad (4.14)$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 – Parâmetros de Qualidade da Água

A seguir apresentam-se os dados de qualidade da água dos pontos amostrados durante o período experimental caracterizando:

- O tanque de cultivo do sistema **Sem Recirculação (SR)**;
- O tanque de cultivo do sistema **Com Recirculação (CR)**;
- A saída do filtro **BIológico (BI)**;
- A saída da coluna de aeração preenchida com **PA**ll-rings (PA);
- A saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas **PET (PE)**;
- O efluente gerado pela **Retro-Lavagem (RL)**.

Com o intuito de comparar os dois sistemas estudados, primeiramente são apresentadas informações sobre as flutuações de cada parâmetro analisado dentro dos tanques, de forma a contrastar as condições de cultivo.

A retro-lavagem do filtro biológico (RL) foi considerada como o efluente típico gerado pelo sistema com recirculação. Este ponto foi comparado com SR, ou seja, as condições do tanque sem recirculação que também representa as características do efluente gerado por este sistema, no caso de uma mistura completa.

A comparação entre CR e BI foi usada como medida da eficiência do filtro biológico, assim como o contraste entre BI e PA ou PE indicou sobre o papel das colunas de aeração. Ainda, a diferença entre os valores encontrados para CR e RL foi usada como indicativo da capacidade de acúmulo de resíduos do filtro biológico, que são posteriormente descartados de forma concentrada durante as retro-lavagens.

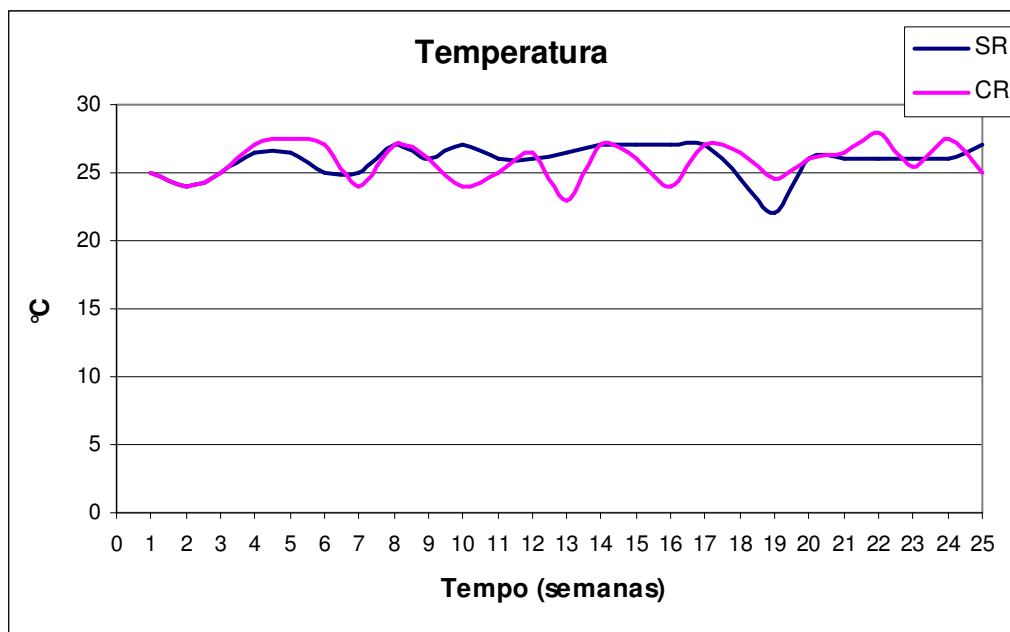
A reposição de água necessária para os dois sistemas comparados foi feita através da água proveniente da rede de distribuição local, sendo assim foram necessárias aplicações de tiosulfato de sódio para a remoção do cloro residual. A tabela 5.1 apresenta os resultados da análise referente aos parâmetros de interesse neste estudo.

**Tabela 5.1:** Características da água de reposição usada nos dois sistemas comparados no experimento.

<b>Água da Torneira</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>Valor</b>
1- Temperatura	17°C
2- pH	6,9
3- Alcalinidade	20 mg/L de CaCO <sub>3</sub>
4- Turbidez	0,5 NTU
5- Condutividade	125 µMHOs
6- Sólidos Totais	0,0 mg/L
7- Sólidos Suspensos	0,0 mg/L
8- Sólidos Dissolvidos	0,0 mg/L
9- Oxigênio Dissolvido	4,5 mg/L
10- Nitrogênio Amoniacal	0,0 mg/L
11- Nitrito	0,0 mg/L
12- Nitrato	1,7 mg/L
13- Nitrogênio Orgânico	0,7 mg/L
14- Fosfato	0,01 mg/L
15- Carbono Orgânico Total	0,3 mg/L
16- Cloreto	19,9 mg/L
17- Sulfato	23,6 mg/L
18- Fluoreto	1,5 mg/L

### 5.1.1 - Temperatura

As variações de temperatura da água durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.1:



**Figura 5.1:** Temperatura da água nos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Não foram encontradas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as medidas de temperatura da água dos dois tanques de cultivo (SR e CR). Os dados obtidos estão resumidos na tabela 5.2.

**Tabela 5.2:** Médias e desvio padrão para temperatura da água nos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental..

<b>Temperatura</b>		
<b>Ponto de Coleta</b>	<b>n</b>	<b>Média (<math>\pm</math> dp) em °C</b>
SR	25	25,9 ( $\pm$ 1,18)
CR	25	25,8 ( $\pm$ 1,36)

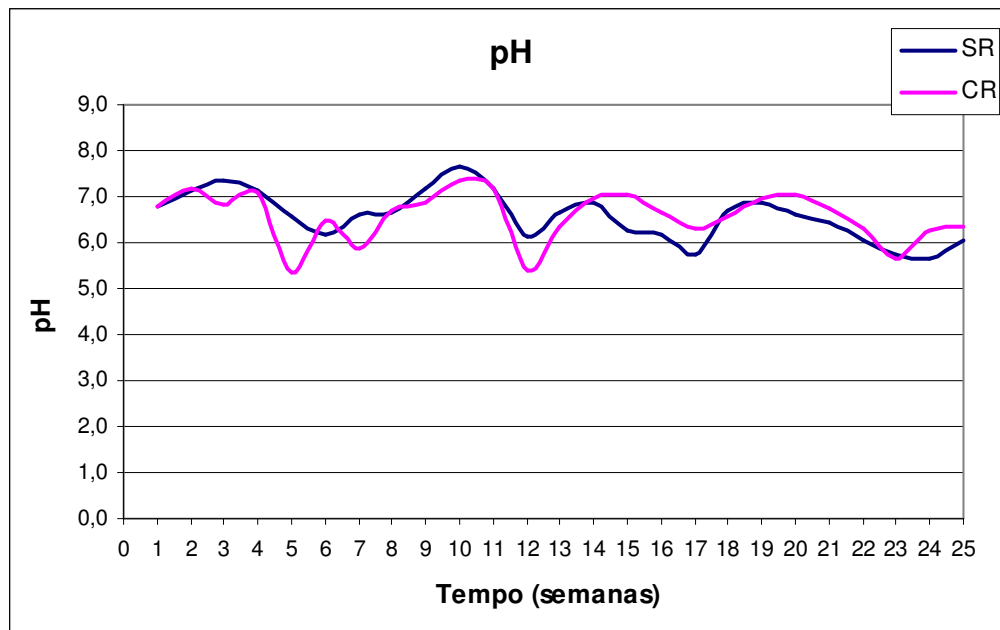
Os resultados sugerem que, ao longo do experimento, os dois tanques de cultivo apresentaram condições semelhantes de temperatura, parâmetro importante para o metabolismo dos peixes e microorganismos atuantes no sistema. Este equilíbrio térmico foi proporcionado principalmente pelo uso de termostatos e aquecedores nos dois tanques.

Foi observado que o tanque do sistema com recirculação, durante a maior parte do experimento, só necessitou de um aquecedor (300W) para manter-se em uma temperatura próxima àquela mantida pelo sistema sem recirculação, onde foram necessários dois aquecedores (600W). Dessa forma, identificou-se uma maior capacidade de conservação do calor no sistema com recirculação, quando em comparação ao sistema aberto, em que as trocas d'água durante os dias mais frios implicavam em uma maior perda de calor para o ambiente.



### 5.1.2 - pH

As variações de pH durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.2:



**Figura 5.2:** Valores de pH da água nos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Não foram encontradas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as medidas de pH dos seis pontos amostrados ao longo do experimento (SR, CR, BI, PA, PE e RL). Os dados obtidos estão resumidos na tabela 5.3:

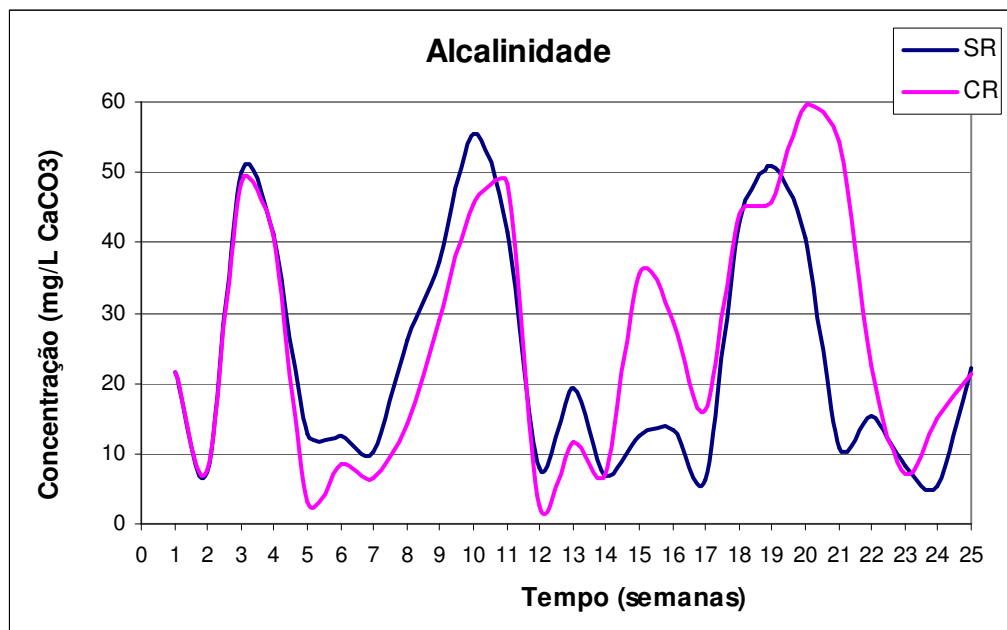
**Tabela 5.3:** Médias e desvio padrão para pH da água durante o período experimental nos pontos de coleta: SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem.

pH		
Ponto de Coleta	n	Médias (desvio padrão)
PE	22	6,6 ( $\pm 0,6$ )
BI	22	6,5 ( $\pm 0,6$ )
CR	22	6,5 ( $\pm 0,6$ )
SR	22	6,5 ( $\pm 0,5$ )
RL	22	6,5 ( $\pm 0,6$ )
PA	22	6,4 ( $\pm 0,7$ )

O pH apresentou flutuações similares ao longo do experimento nos seis pontos de coleta, que se devem em parte à correção da alcalinidade feita através da aplicação simultânea de carbonato de cálcio. A ausência de diferença significativa entre os pontos indica que houve condições equivalentes nos ambientes de cultivo (SR e CR) quanto ao pH, parâmetro relevante em relação à sobrevivência dos peixes, atividade microbiana e equilíbrio das reações químicas na água. Da mesma forma, não foi possível identificar alguma influência sobre o pH das unidades e processos associados ao sistema com recirculação (BI, PA, PE e RL).

### 5.1.3 - Alcalinidade

As variações de alcalinidade durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.3:



**Figura 5.3:** Alcalinidade da água nos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Apesar de não ter sido encontrada diferença significativa entre SR e CR ( $p > 0,05$ ), foram encontradas diferenças ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de alcalinidade dos demais pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.4:

**Tabela 5.4:** Teste de contraste de médias de Tukey para alcalinidade dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

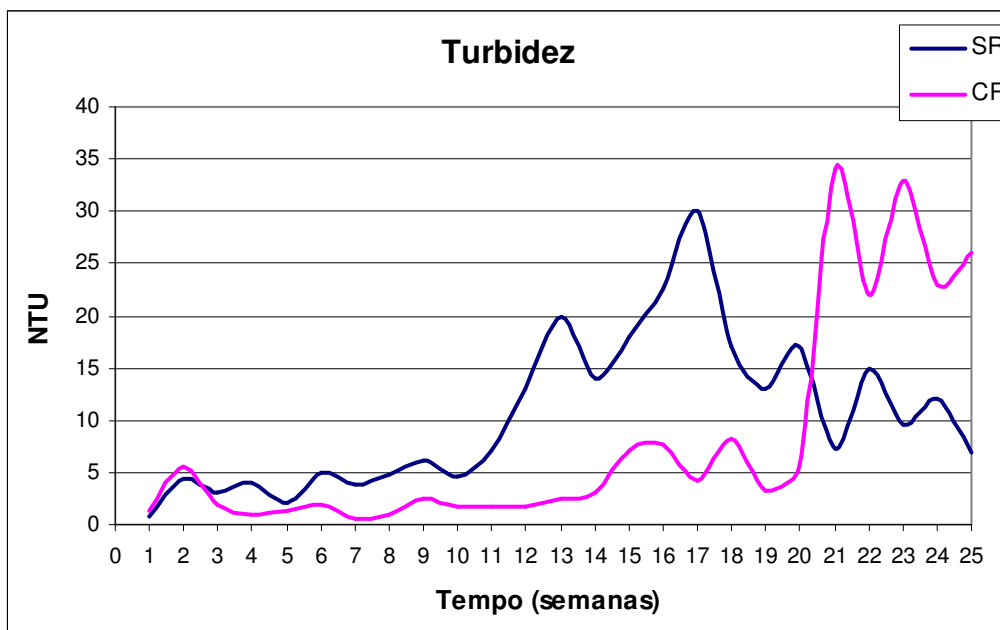
<b>Alcalinidade</b>			
<b>Ponto de Coleta</b>	<b>n</b>	<b>Médias (desvio padrão) em mg/L de CaCO<sub>3</sub></b>	
RL	22	33,1 ( $\pm 22,2$ )	<b>a</b>
BI	22	26,5 ( $\pm 17,9$ )	<b>ab</b>
PE	22	25,8 ( $\pm 18,3$ )	<b>b</b>
CR	22	25,8 ( $\pm 18,1$ )	<b>b</b>
PA	22	22,8 ( $\pm 18,0$ )	<b>b</b>
SR	22	22,7 ( $\pm 16,2$ )	<b>b</b>

Assim como o pH, a alcalinidade também apresentou flutuações similares ao longo do experimento nos seis pontos de coleta, devendo-se em parte à correção feita com aplicação simultânea de carbonato de cálcio nos tanques de cultivo. A aplicação de carbonato de cálcio em sistemas de aquacultura é necessária devido ao consumo de alcalinidade associado principalmente à nitrificação (BOLEY *et al.*, 2000; TIMMONS *et al.*, 2002; VAN RIJN, 2006). O efluente da retrolavagem (RL) apresentou uma alcalinidade maior que os demais pontos analisados, à exceção da saída do filtro biológico (BI).

Quanto às características do efluente produzido, a retro-lavagem do sistema com recirculação apresentou uma alcalinidade média 46% maior do que o encontrado para o efluente do sistema sem recirculação (SR – se considerado uma mistura completa). Quando em comparação ao tanque de cultivo com recirculação (CR), a retro-lavagem proporcionou um incremento de 28% em relação à alcalinidade.

#### 5.1.4 – Turbidez

As variações na turbidez durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.4:



**Figura 5.4:** Turbidez da água nos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de turbidez dos pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.5:

**Tabela 5.5:** Teste de contraste de médias de Tukey para turbidez dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

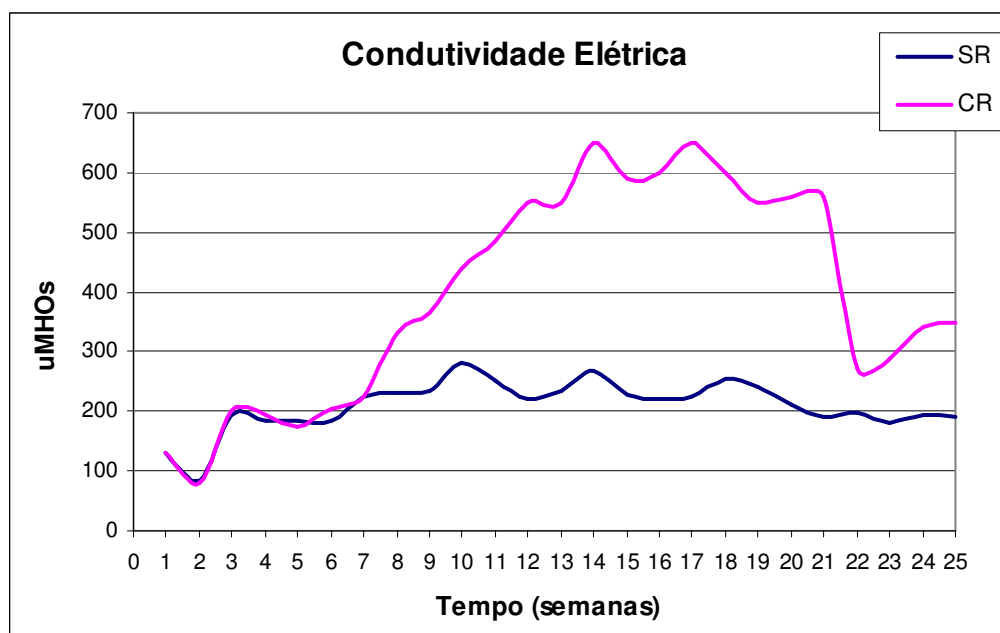
<b>Turbidez</b>			
<b>Ponto de Coleta</b>	<b>n</b>	<b>Médias (desvio padrão) em NTU</b>	
RL	22	23,8 ( $\pm 17,7$ )	<b>a</b>
SR	22	11,5 ( $\pm 7,2$ )	<b>a</b>
BI	22	10,3 ( $\pm 13,2$ )	<b>b</b>
PE	22	9,0 ( $\pm 11,1$ )	<b>b</b>
CR	22	8,7 ( $\pm 10,9$ )	<b>b</b>
PA	22	8,5 ( $\pm 10,4$ )	<b>b</b>

Os pontos SR e RL apresentaram valores de turbidez significativamente superiores aos demais pontos, associados a concentrações altas de compostos orgânicos (carbono e nitrogênio orgânico) e sólidos suspensos, como será visto posteriormente. Como são compostos que tenderam a se acumular nos sistemas ao longo do tempo, observa-se um aumento acentuado na turbidez na segunda metade do período experimental.

O sistema com recirculação (CR) obteve uma redução de 24% na média da turbidez medida na água do tanque de cultivo, em comparação ao sem recirculação (SR). Esta diferença na turbidez da água dos tanques de cultivos era facilmente perceptível, particularmente até a 20ª semana do experimento, em que o tanque com recirculação apresentava água translúcida. Como será visto posteriormente, próximo à 20ª semana do experimento, o sistema sem recirculação apresentou alterações significativas de alguns parâmetros medidos, sendo que além da turbidez, houve um aumento nas concentrações de sólidos suspensos e picos nas concentrações de nitrogênio orgânico, carbono orgânico total, fosfato, sulfato e cloreto. O efluente da retrolavagem (RL) apresentou uma turbidez em média 173% superior à registrada para água de cultivo do sistema (CR), como era esperado.

#### 5.1.5 – Condutividade

As variações na condutividade elétrica durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.5:



**Figura 5.5:** Condutividade elétrica da água nos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de condutividade dos pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.6:

**Tabela 5.6:** Teste de contraste de médias de Tukey para condutividade elétrica dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

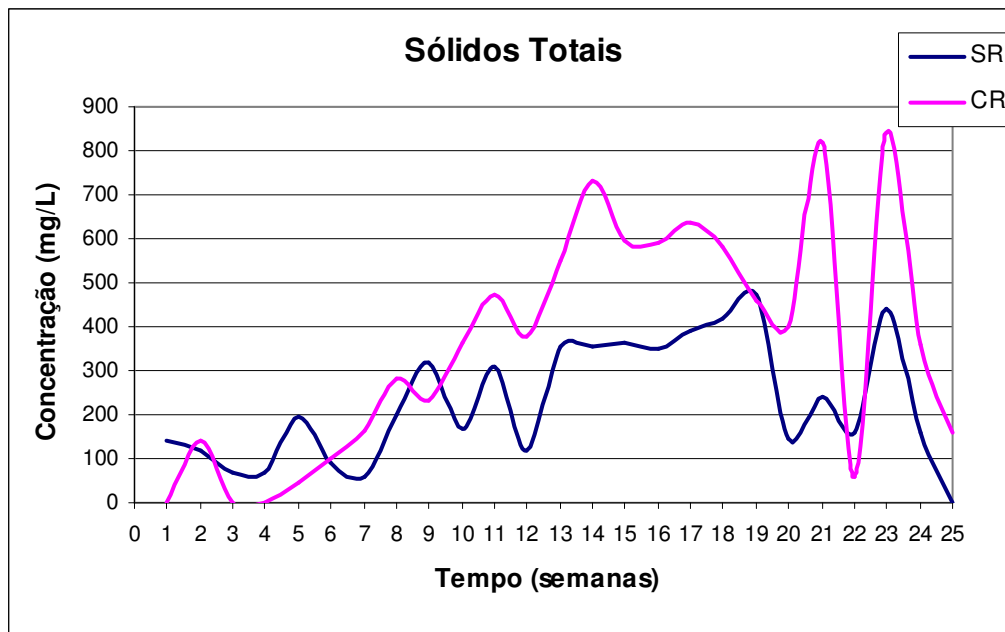
<b>Condutividade Elétrica</b>			
<b>Ponto de Coleta</b>	<b>n</b>	<b>Médias (desvio padrão) em <math>\mu\text{MHOs}</math></b>	
BI	22	437 ( $\pm 160$ )	<b>a</b>
RL	22	436 ( $\pm 161$ )	<b>a</b>
PA	22	435 ( $\pm 157$ )	<b>a</b>
PE	22	434 ( $\pm 157$ )	<b>a</b>
CR	22	433 ( $\pm 161$ )	<b>a</b>
SR	22	220 ( $\pm 29$ )	<b>b</b>

O ponto SR apresentou valores de condutividade significativamente inferiores aos demais pontos. Como será discutido adiante, os altos valores de condutividades atingidos pelos pontos do sistema de recirculação (CR, BI, PA, PE e RL) estão associados a concentrações altas de íons (como cloreto e nitrato), que tenderam a se acumular ao longo do experimento neste sistema. A diminuição na condutividade em CR no período final do experimento pode estar associada às renovações de água mais intensas que foram necessárias para os dois sistemas a partir da 18ª semana (como será visto posteriormente).

O sistema com recirculação (CR) aumentou em 97% a média da condutividade aferida na água do tanque de cultivo, em comparação ao sem recirculação (SR). A maior taxa de renovação de água em SR proporciona uma maior diluição dos íons, derivados do metabolismo e incorporação de matéria nos sistemas (ração e carbonato de cálcio). Os íons, por outro lado, tendem a se acumulam em CR, elevando a condutividade elétrica. Da mesma forma, o efluente da retrolavagem (RL) apresentou uma condutividade em média 99% superior à registrada para o efluente do sistema sem recirculação (SR).

#### 5.1.6 – Sólidos Totais

As variações na concentração de sólidos totais durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.6:



**Figura 5.6:** Concentração de sólidos totais na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Apesar de não ter sido encontrada diferença significativa entre SR e CR ( $p > 0,05$ ), foram encontradas diferenças ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de sólidos totais dos demais pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.7:

**Tabela 5.7:** Teste de contraste de médias de Tukey para concentração de sólidos totais dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

<b>Sólidos Totais</b>			
<b>Ponto de Coleta</b>	<b>n</b>	<b>Médias (desvio padrão) em mg/L</b>	
RL	22	614 ( $\pm 350$ )	<b>a</b>
BI	22	454 ( $\pm 237$ )	<b>a</b>
PE	22	452 ( $\pm 229$ )	<b>ab</b>
PA	22	426 ( $\pm 202$ )	<b>ab</b>
CR	22	401 ( $\pm 251$ )	<b>ab</b>
SR	22	244 ( $\pm 138$ )	<b>b</b>

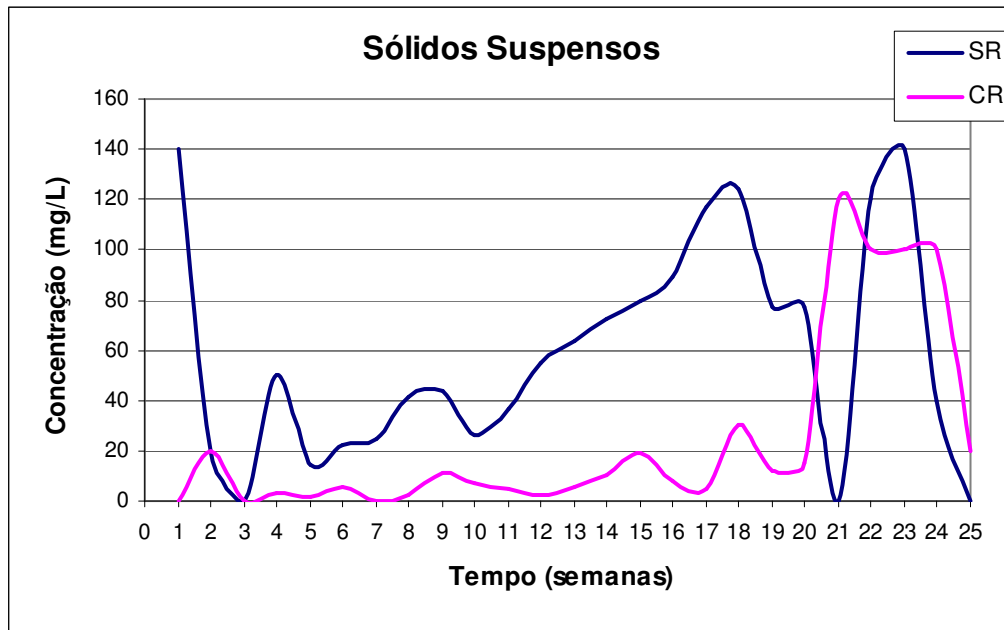
Assim como para outros parâmetros avaliados, a concentração de sólidos totais apresentou ampla flutuação durante o experimento, tendendo a apresentar valores progressivamente maiores para todos os pontos de coleta.

O efluente gerado pela retrolavagem do sistema de recirculação (RL) apresentou uma concentração de sólidos totais em média 151% maior do que o efluente gerado pelo sistema

sem recirculação (SR), se este último for considerado como um sistema com mistura completa.

### 5.1.7 – Sólidos Suspensos

As variações na concentração de sólidos suspensos durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.7:



**Figura 5.7:** Concentração de sólidos suspensos na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de sólidos suspensos dos pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.8:

**Tabela 5.8:** Teste de contraste de médias de Tukey para concentração de sólidos suspensos dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

Sólidos Suspensos			
Ponto de Coleta	n	Médias (desvio padrão) em mg/L	
RL	22	195 ( $\pm 171$ )	<b>a</b>
SR	22	60 ( $\pm 40$ )	<b>b</b>
BI	22	40 ( $\pm 60$ )	<b>bc</b>
CR	22	26 ( $\pm 39$ )	<b>c</b>
PE	22	25 ( $\pm 35$ )	<b>c</b>
PA	22	23 ( $\pm 31$ )	<b>c</b>



Foi possível identificar um aumento progressivo na concentração de sólidos suspensos ao longo do período experimental, estando relacionado ao aumento na turbidez detectado para todos os pontos de coleta.

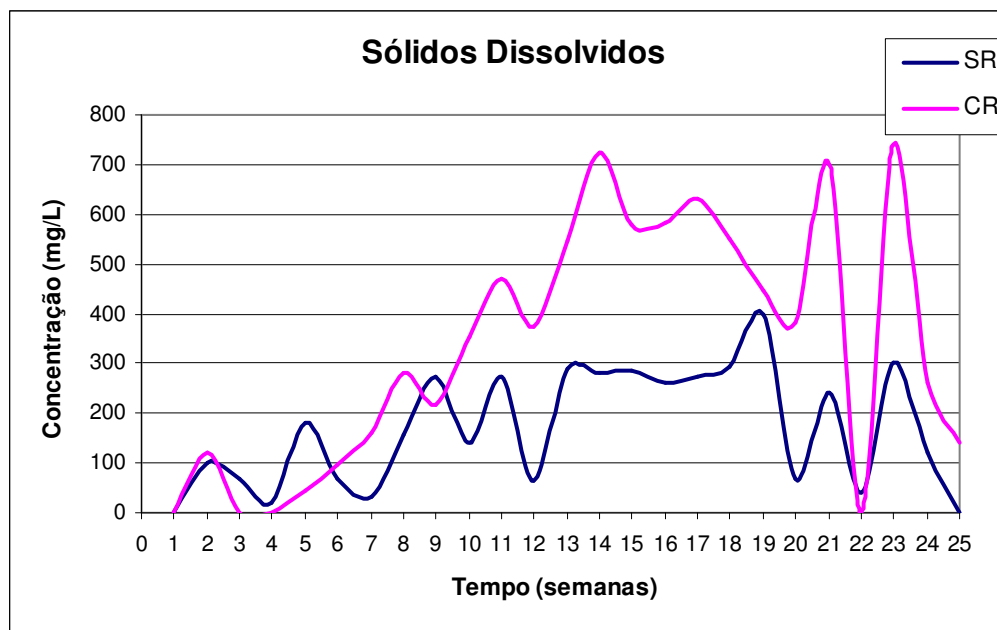
A água do tanque de cultivo associado ao sistema de recirculação (CR) apresentou uma redução média de 56% na concentração de sólidos suspensos em comparação ao ambiente do tanque sem recirculação (SR). Complementarmente foi detectada na retrolavagem (RL) uma concentração média de sólidos suspensos 636% maior que aquela existente no tanque de cultivo (CR). Estes resultados sugerem que o filtro usado no sistema de recirculação apresentou uma alta eficiência na remoção mecânica de sólidos suspensos, que eram descartados de forma concentrada durante a retrolavagem. O filtro de leito flutuante (*floating beads filter*) usado no experimento possui este diferencial de promover filtração biológica e mecânica (MALONE & BEECHER, 2000).

Dessa forma, os menores valores de sólidos suspensos em CR (em comparação a SR) sugerem que a capacidade do RAS em concentrar e remover estas partículas foi mais eficiente no controle dos sólidos suspensos da água de cultivo do que a intensa renovação de água promovida em SR.

O efluente gerado como retrolavagem (RL) possuiu uma concentração média de sólidos suspensos 226% maior que o efluente que seria gerado pelo sistema aberto (SR).

#### 5.1.8 – Sólidos Dissolvidos

As variações na concentração de sólidos dissolvidos durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.8:



**Figura 5.8:** Concentração de sólidos dissolvidos na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Apesar de não ter sido encontrada diferença significativa entre SR e CR ( $p > 0,05$ ), foram encontradas diferenças ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de sólidos dissolvidos dos demais pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.9:

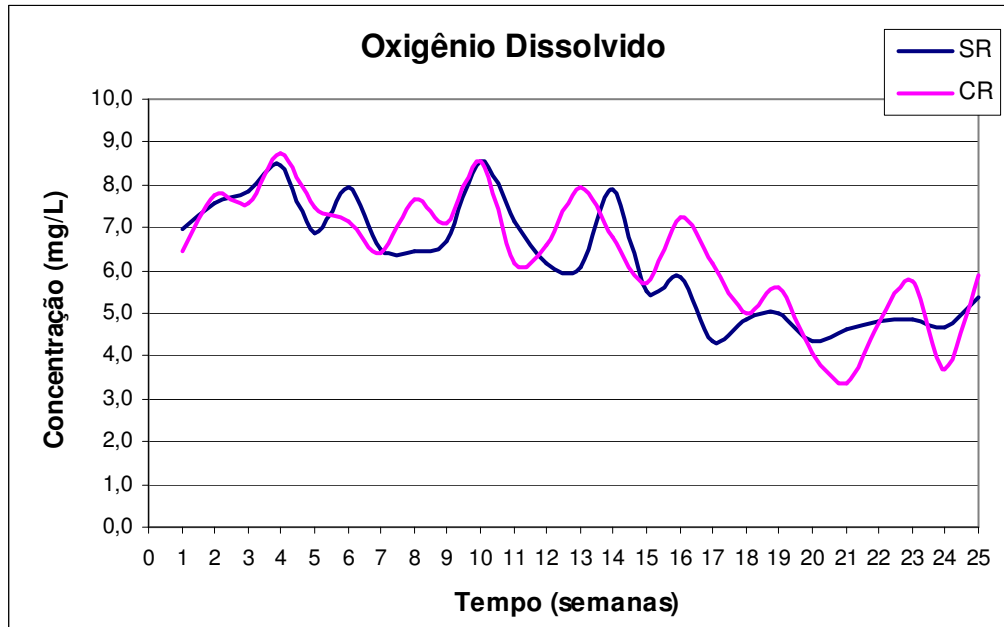
**Tabela 5.9:** Teste de contraste de médias de Tukey para concentração de sólidos dissolvidos dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

Sólidos Dissolvidos			
Ponto de Coleta	n	Médias (desvio padrão) em mg/L	
PE	22	427 ( $\pm 228$ )	<b>a</b>
RL	22	419 ( $\pm 271$ )	<b>a</b>
BI	22	415 ( $\pm 227$ )	<b>a</b>
PA	22	403 ( $\pm 195$ )	<b>a</b>
CR	22	376 ( $\pm 239$ )	<b>ab</b>
SR	22	184 ( $\pm 117$ )	<b>b</b>

Assim como observado para os demais valores de sólidos, condutividade e turbidez, os sólidos dissolvidos apresentam uma tendência inicial de aumento ao longo do tempo do experimento. Da mesma forma encontrada para outros parâmetros, a retrolavagem (RL) é mais concentrada (em média 127%) do que a água de cultivo do tanque sem recirculação (SR), que é descartada diariamente como efluente.

### 5.1.9 – Oxigênio Dissolvido

As variações na concentração de oxigênio dissolvido durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.9:



**Figura 5.9:** Concentração de oxigênio dissolvido na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Não foram encontradas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) na concentração de oxigênio dissolvido entre os tanques de cultivo (SR e CR). Porém, foram encontradas diferenças ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de oxigênio dissolvido dos demais pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.10:

**Tabela 5.10:** Teste de contraste de médias de Tukey para concentração de oxigênio dissolvido dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

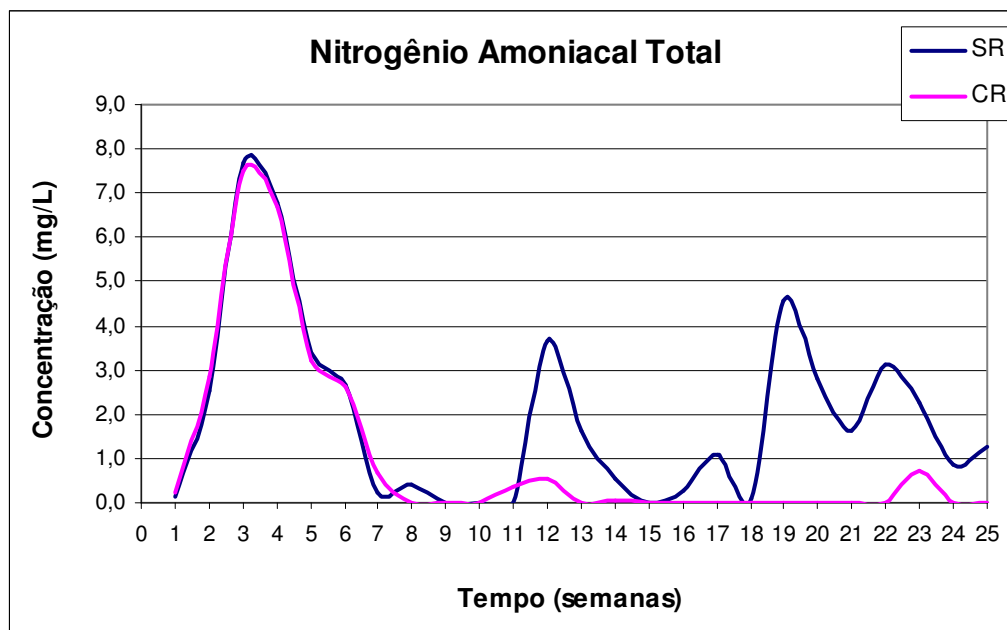
Oxigênio Dissolvido			
Ponto de Coleta	n	Médias (desvio padrão) em mg/L	
PA	22	7,4 ( $\pm 0,9$ )	<b>a</b>
PE	22	7,4 ( $\pm 0,7$ )	<b>a</b>
CR	22	6,3 ( $\pm 1,5$ )	<b>b</b>
SR	22	6,1 ( $\pm 1,3$ )	<b>b</b>
BI	22	6,1 ( $\pm 1,3$ )	<b>b</b>
RL	22	5,6 ( $\pm 1,5$ )	<b>b</b>

Uma análise do gráfico da variação na concentração de oxigênio dissolvido nos ambientes de cultivo (figura 5.9) revela que houve uma tendência a uma diminuição na sua concentração com o avanço do tempo. Esta tendência à diminuição no OD está relacionada ao aumento progressivo na concentração de matéria orgânica nos sistemas, como carbono e nitrogênio orgânico. A oxidação biológica destes compostos cria uma demanda de oxigênio, que tende a diminuir sua concentração na coluna d'água conforme mais matéria orgânica biodegradável é incorporada ao meio aquático.

Os pontos de saída das colunas de aeração (PA e PE) apresentaram concentrações de oxigênio dissolvido (OD) superiores aos demais pontos analisados. A eficiência de oxigenação atingida para as duas colunas foi de 67%. Para o cálculo foi considerando o ponto BI como a condição de entrada na coluna, e um valor de saturação ao nível do mar e 26°C de 8,1 mg/L de oxigênio dissolvido. Não foram encontradas diferenças significativas entre as concentrações de OD da saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafa PET (PE) e a coluna preenchida com *pall-rings* (PA).

#### 5.1.10 – Nitrogênio Amoniacal Total

As variações na concentração de nitrogênio amoniacal total durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.10:



**Figura 5.10:** Concentração de nitrogênio amoniacal total na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de nitrogênio amoniacal dos pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.11:

**Tabela 5.11:** Teste de contraste de médias de Tukey para concentração de nitrogênio amoniacal total dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

<b>Nitrogênio Amoniacal Total</b>			
<b>Ponto de Coleta</b>	<b>n</b>	<b>Médias (desvio padrão) em mg/L</b>	
SR	22	1,69 ( $\pm 1,80$ )	<b>a</b>
RL	22	0,72 ( $\pm 1,77$ )	<b>b</b>
CR	22	0,68 ( $\pm 1,60$ )	<b>b</b>
BI	22	0,63 ( $\pm 1,59$ )	<b>b</b>
PA	22	0,61 ( $\pm 1,52$ )	<b>b</b>
PE	22	0,59 ( $\pm 1,51$ )	<b>b</b>

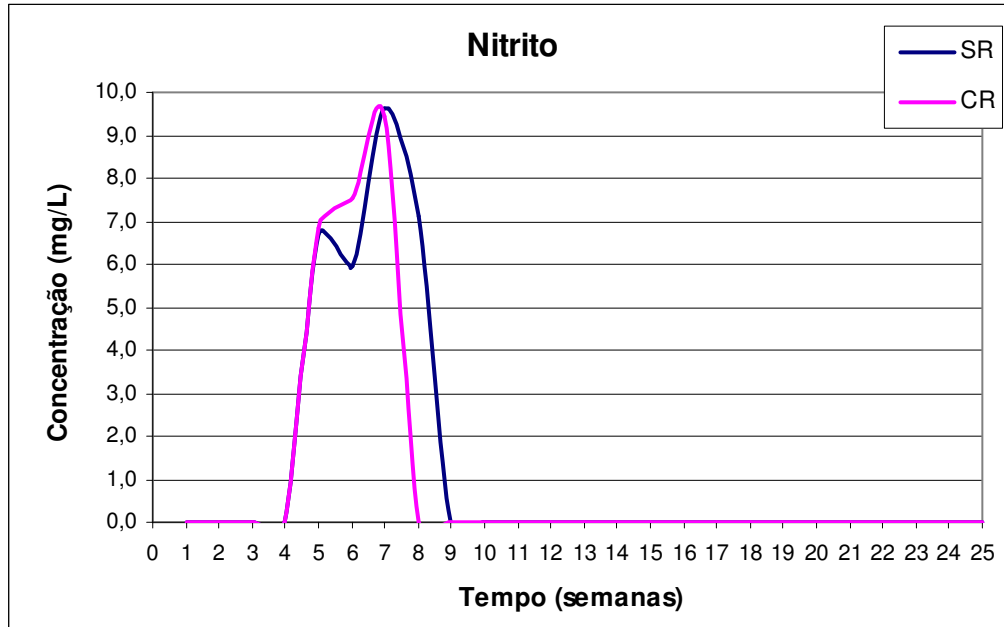
A concentração de nitrogênio amoniacal ( $N-NH_3$ ) medida nos dois tanques (SR e CR) de cultivo atingiu seu pico na 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> semana do experimento, reduzindo então drasticamente para valores abaixo de 1mg/L. Após este evento, houve picos esporádicos de nitrogênio amoniacal em SR, chegando acima de 4mg/L, enquanto em CR este parâmetro se manteve abaixo de 1mg/L. Cabe ressaltar que o parâmetro de nitrogênio amoniacal foi usado como principal indicador para avaliar a necessidade de aumento na taxa de renovação de água em SR, devido a sua toxicidade para os peixes. Sendo assim, buscou-se controlar o aumento do nitrogênio amoniacal em SR através de diluições quando sua concentração atingia valores preocupantes (acima de 3mg/L).

Foi possível identificar uma concentração de nitrogênio amoniacal em CR em média 60% inferior à detectada em SR. Portanto, foi evidenciado que a taxa de renovação de água do sistema sem recirculação não foi suficiente para a manutenção da concentração de nitrogênio amoniacal em níveis proporcionais aos do sistema com recirculação.

Quanto à concentração de nitrogênio amoniacal que seria esperada nos efluentes dos dois sistemas comparados, a retrolavagem (RL) apresentou uma concentração média 57% menor que a registrada em SR.

### 5.1.11 – Nitrito

As variações na concentração de nitrito durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.11:



**Figura 5.11:** Concentração de nitrito na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Não foram encontradas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as medidas de nitrito dos seis pontos amostrados ao longo do experimento (SR, CR, BI, PA, PE e RL). Os dados obtidos estão resumidos na tabela 5.12:

**Tabela 5.12:** Médias e desvio padrão para concentração de nitrito nos pontos amostrais durante o período experimental. (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

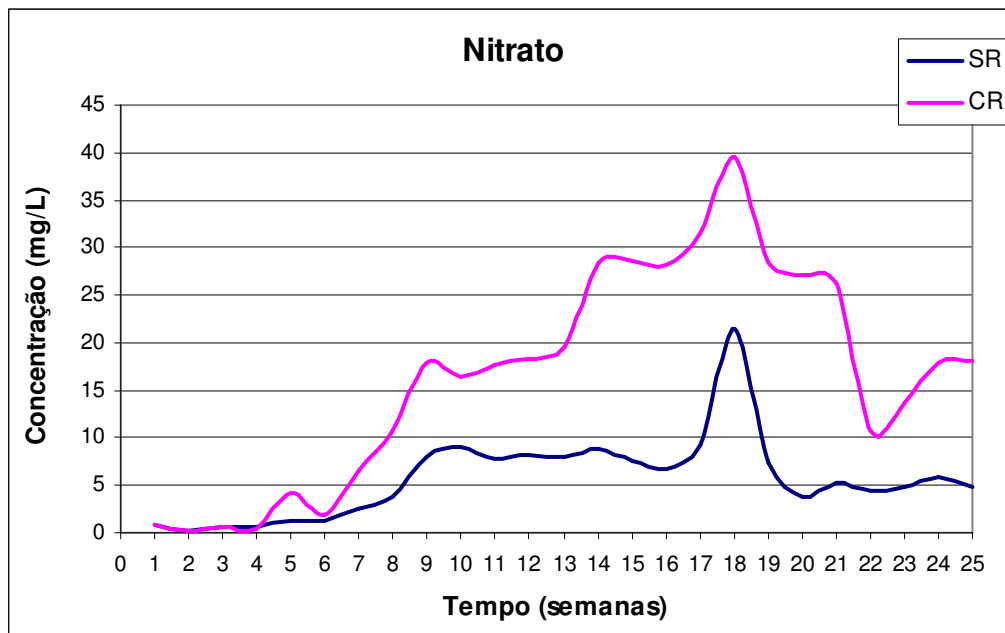
Nitrito		
Ponto de Coleta	n	Médias (desvio padrão) em mg/L
SR	22	1,34 ( $\pm 2,96$ )
CR	22	1,08 ( $\pm 2,82$ )
BI	22	1,06 ( $\pm 2,79$ )
PE	22	1,00 ( $\pm 2,62$ )
RL	22	0,94 ( $\pm 2,61$ )
PA	22	0,84 ( $\pm 2,27$ )

O nitrito surgiu nos dois sistemas entre a 4ª e a 9ª semana de experimento, sendo um indicador da ocorrência de nitrificação nos sistemas com e sem recirculação. Porém, como será demonstrado posteriormente, a nitrificação desempenhou um papel mais importante no

sistema com recirculação. Houve somente um pico de nitrito durante o período experimental, em que as curvas de concentração de SR e CR praticamente estão sobrepostas. No caso do SR, a presença de nitrito no tanque de cultivo foi detectada pela primeira vez na mesma semana que em CR (4<sup>a</sup>), porém o seu desaparecimento demorou uma semana a mais que em CR.

#### 5.1.12 – Nitrato

As variações na concentração de nitrato durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.12:



**Figura 5.12:** Concentração de nitrato na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de nitrato dos pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.13:

**Tabela 5.13:** Teste de contraste de médias de Tukey para concentração de nitrato dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

<b>Nitrato</b>			
<b>Ponto de Coleta</b>	<b>n</b>	<b>Médias (desvio padrão) em mg/L</b>	
BI	22	18,82 ( $\pm 10,30$ )	<b>a</b>
PE	22	18,77 ( $\pm 10,45$ )	<b>a</b>
PA	22	18,59 ( $\pm 10,28$ )	<b>a</b>
CR	22	18,72 ( $\pm 10,32$ )	<b>a</b>
RL	22	18,44 ( $\pm 10,58$ )	<b>a</b>
SR	22	6,40 ( $\pm 4,26$ )	<b>b</b>

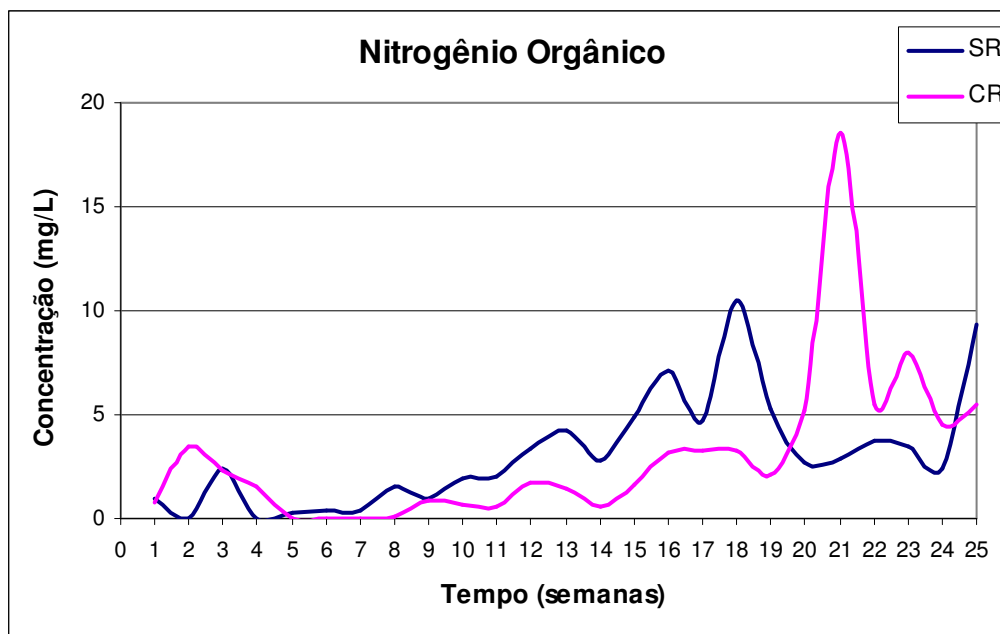
A concentração de nitrato aumentou progressivamente até a 18ª semana para todos os pontos de coleta. Este acúmulo de nitrato é tipicamente encontrado em sistema de aquacultura com recirculação (SANDU *et al.*, 2002; SILAPAKUL *et al.*, 2005; MARTINS *et al.*, 2009; D'ORBCASTEL, 2009). A diminuição na concentração do nitrato no período final do experimento pode estar associada às renovações de água mais intensas que foram necessárias para os dois sistemas a partir da 18ª semana. Estas renovações de água visaram compensar a elevação súbita da matéria orgânica que ocorreu neste período, evitando assim, principalmente, um consumo acentuado do oxigênio dissolvido e a queda da sua concentração na coluna d'água.

O ponto SR apresentou uma concentração de nitrato significativamente menor que os demais pontos de amostragem. Na comparação entre os ambientes de cultivo, CR apresentou uma concentração de nitrato em média 193% superior que em SR. O efluente gerado pela retrolavagem (RL) teve uma concentração média de nitrato 188% maior que o efluente gerado pelo sistema sem recirculação (SR).

### 5.1.13 – Nitrogênio Orgânico

As variações na concentração de nitrogênio orgânico durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.13:





**Figura 5.13:** Concentração de nitrogênio orgânico na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

A natureza da distribuição dos valores de nitrogênio orgânico obtidos no experimento indicou a necessidade do uso de testes estatísticos não paramétricos. Através do teste de Kruskal-Wallis, não foram encontradas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os seis pontos amostrais (SR, CR, BI, PA, PE e RL). Os dados obtidos estão resumidos na tabela 5.14:

**Tabela 5.14:** Médias e desvio padrão para nitrogênio orgânico da água durante o período experimental nos pontos de coleta: SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem.

Nitrogênio Orgânico		
Ponto de Coleta	n	Médias (desvio padrão) em mg/L
RL	22	9,28 ( $\pm 11,41$ )
SR	22	3,40 ( $\pm 2,78$ )
CR	22	3,09 ( $\pm 4,09$ )
BI	22	2,95 ( $\pm 3,34$ )
PE	22	2,57 ( $\pm 2,00$ )
PA	22	2,33 ( $\pm 2,06$ )

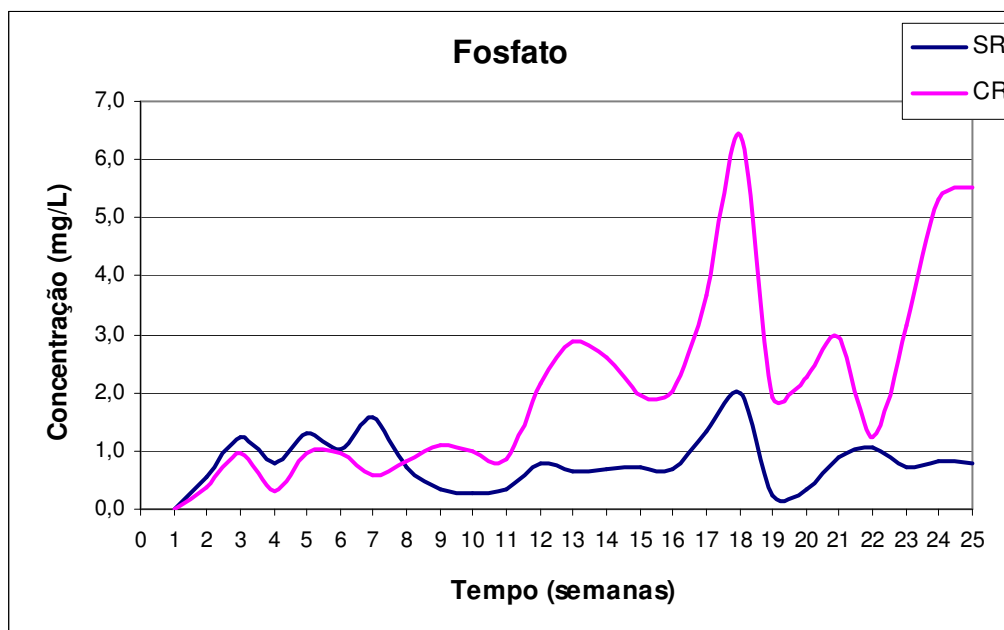
O nitrogênio orgânico apresentou uma tendência ao aumento na sua concentração em todos os pontos de coleta do sistema com recirculação, com um crescimento acentuado após a 21ª semana do experimento. Este aumento evidente na concentração de nitrogênio orgânico, derivado principalmente de proteínas, pode estar associado a um aumento na concentração de matéria orgânica em suspensão, como fezes ou sobras de ração, e um crescimento nas

populações de organismos planctônicos (fitoplâncton, zooplâncton e bacterioplâncton). O suposto aumento no número destes organismos, por sua vez, poderia estar associado ao aumento na concentração de nutrientes estimuladores de seu crescimento ao longo do experimento (como nitrato e fosfato), de forma similar a um processo de eutrofização. De fato, após a 21<sup>a</sup> semana do experimento, foi necessário o uso de aeração suplementar para o sistema com recirculação (através de um soprador de ar), devido à diminuição na concentração de oxigênio dissolvido; efeito comumente observado em processos de eutrofização.

Por meio de um contraste estatístico entre os pares RL e CR, através do teste de Wilcoxon, foi encontrada diferença significativa entre estes pontos ( $p < 0,05$ ). Foi detectada na retrolavagem (RL) uma concentração média de nitrogênio orgânico 200,3% maior que aquela existente no tanque de cultivo (CR), sugerindo que o filtro usado desempenhou um papel de retenção da matéria orgânica particulada do sistema (filtração mecânica), que posteriormente era descartada de forma concentrada através das retrolavagens.

#### 5.1.14 – Fosfato

As variações na concentração de fosfato durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.14:



**Figura 5.14:** Concentração de fosfato na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de fosfato dos pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.15:

**Tabela 5.15:** Teste de contraste de médias de Tukey para concentração de fosfato dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

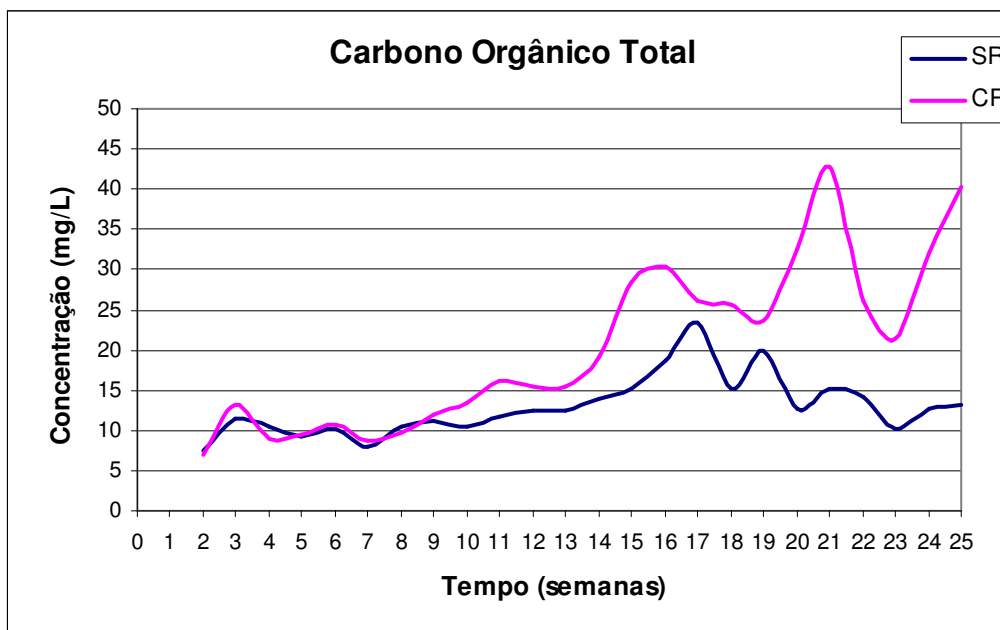
<b>Fosfato</b>			
<b>Ponto de Coleta</b>	<b>n</b>	<b>Médias (desvio padrão) em mg/L</b>	
RL	22	2,37 ( $\pm 1,75$ )	<b>a</b>
BI	22	2,32 ( $\pm 1,68$ )	<b>a</b>
CR	22	2,31 ( $\pm 1,68$ )	<b>a</b>
PA	22	2,26 ( $\pm 1,62$ )	<b>a</b>
PE	22	2,22 ( $\pm 1,59$ )	<b>a</b>
SR	22	0,82 ( $\pm 0,43$ )	<b>b</b>

Houve um aumento progressivo na concentração de fosfato ao longo do período experimental para os pontos dentro do sistema com recirculação, com um pico atingido na 18ª semana. O fósforo representa um nutriente limitante em ambientes aquáticos quanto à produtividade primária, sendo que seu aumento pode estimular um processo de eutrofização. O ponto SR apresentou uma concentração de fosfato significativamente menor que os demais pontos de amostragem. Na comparação entre os ambientes de cultivo, CR apresentou uma concentração de fosfato em média 181,7% superior que em SR.

O efluente gerado pela retrolavagem (RL) apresentou uma concentração média de fosfato 189% maior que o efluente gerado pelo sistema sem recirculação (SR).

#### 5.1.15 – Carbono Orgânico Total

As variações na concentração de carbono orgânico total (COT) durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.15:



**Figura 5.15:** Concentração de COT na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de carbono orgânico total dos pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.16:

**Tabela 5.16:** Teste de contraste de médias de Tukey para concentração de COT dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

Carbono Orgânico Total			
Ponto de Coleta	n	Médias (desvio padrão) em mg/L	
RL	22	22,5 ( $\pm 10,9$ )	<b>a</b>
CR	22	21,3 ( $\pm 10,3$ )	<b>a</b>
BI	22	21,3 ( $\pm 10,3$ )	<b>a</b>
PA	22	21,0 ( $\pm 10,1$ )	<b>a</b>
PE	22	20,8 ( $\pm 1,0$ )	<b>a</b>
SR	22	13,2 ( $\pm 3,7$ )	<b>b</b>

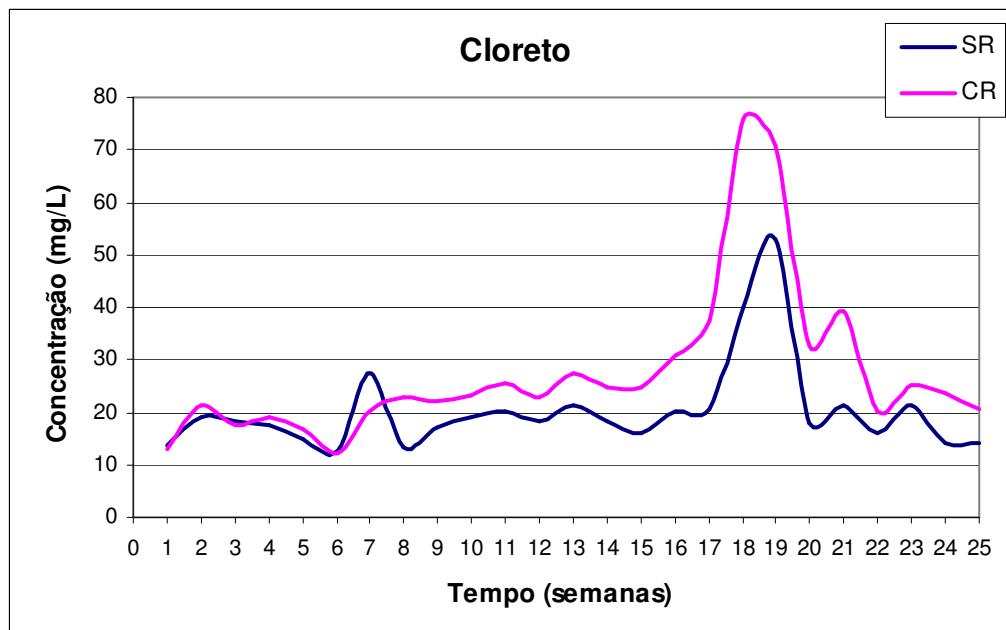
Da mesma forma que para outros parâmetros, observa-se um aumento progressivo na concentração de carbono orgânico total ao longo do período experimental. O incremento na concentração de COT, assim como para o nitrogênio orgânico, pode dever-se a um aumento na produtividade primária promovida por uma maior disponibilidade de nutrientes no período final do experimento. A concentração de COT apresentou-se inversamente proporcional à disponibilidade de oxigênio dissolvido na coluna d'água. O ponto SR apresentou uma

concentração de COT significativamente menor que os demais pontos de amostragem. Na comparação entre os ambientes de cultivo, CR apresentou uma concentração de COT em média 61,2% superior que em SR.

O efluente gerado pela retrolavagem (RL) teve uma concentração média de COT 70,3% maior que o efluente gerado pelo sistema sem recirculação (SR).

#### 5.1.16 – Cloreto

As variações na concentração de cloreto durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.16:



**Figura 5.16:** Concentração de cloreto na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de cloreto dos pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.17:

**Tabela 5.17:** Teste de contraste de médias de Tukey para concentração de cloreto dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

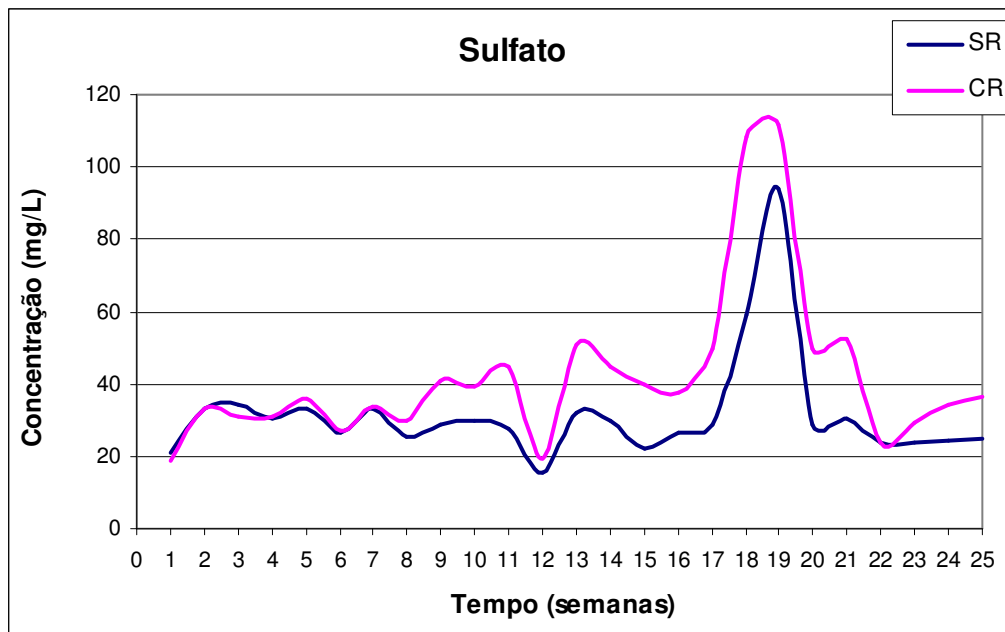
<b>Cloreto</b>			
<b>Ponto de Coleta</b>	<b>n</b>	<b>Médias (desvio padrão) em mg/L</b>	
PE	22	29 ( $\pm 16$ )	<b>a</b>
RL	22	29 ( $\pm 17$ )	<b>a</b>
CR	22	29 ( $\pm 16$ )	<b>a</b>
PA	22	29 ( $\pm 15$ )	<b>a</b>
BI	22	28 ( $\pm 13$ )	<b>a</b>
SR	22	21 ( $\pm 9$ )	<b>b</b>

O cloreto apresentou um pico de concentração na 19ª semana. O ponto SR apresentou uma concentração de cloreto significativamente menor que os demais pontos de amostragem. Na comparação entre os ambientes de cultivo, CR apresentou uma concentração de cloreto em média 40,1% superior que em SR. A tendência ao aumento na salinização da água de cultivo já foi documentada para sistemas de aquacultura com recirculação, de forma que as espécies que melhor se adaptam a esta técnica de cultivo são aquelas que toleram um certo grau de salinização da água como, por exemplo, as tilápias.

O efluente gerado pela retrolavagem (RL) teve uma concentração média de cloreto 41,2% maior que o efluente gerado pelo sistema sem recirculação (SR).

#### 5.1.17 – Sulfato

As variações na concentração de sulfato durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.17:



**Figura 5.17:** Concentração de sulfato na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as medidas de sulfato dos pontos amostrados ao longo do experimento. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.18:

**Tabela 5.18:** Teste de contraste de médias de Tukey para concentração de sulfato dos pontos amostrais durante o período experimental; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ) (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

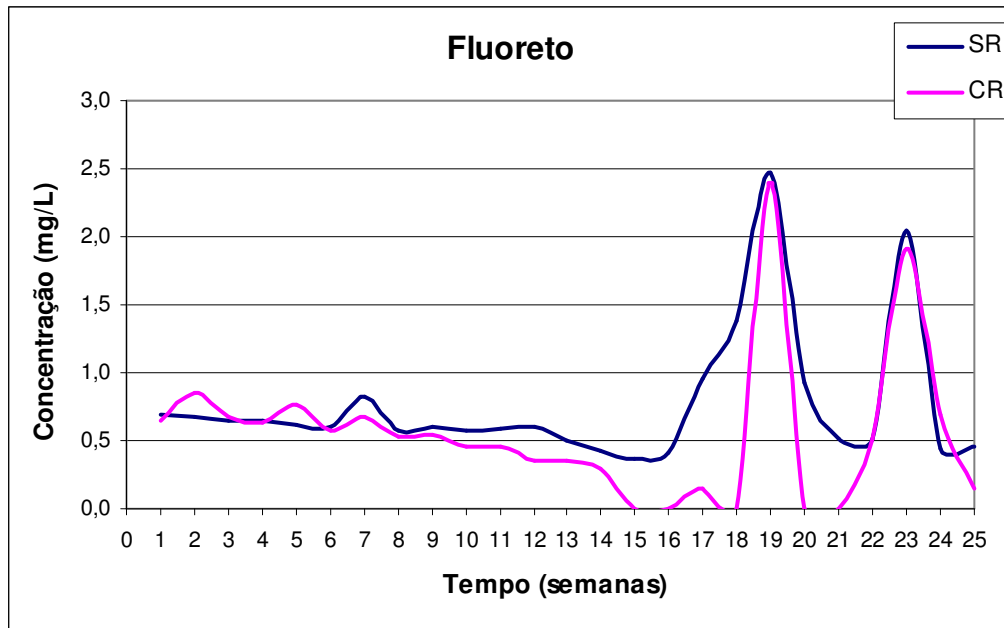
Sulfato			
Ponto de Coleta	n	Médias (desvio padrão) em mg/L	
CR	22	44 ( $\pm 23$ )	<b>a</b>
PE	22	43 ( $\pm 22$ )	<b>a</b>
PA	22	43 ( $\pm 23$ )	<b>a</b>
BI	22	41 ( $\pm 17$ )	<b>a</b>
RL	22	41 ( $\pm 17$ )	<b>a</b>
SR	22	32 ( $\pm 16$ )	<b>b</b>

Da mesma forma que para o cloreto, o sulfato apresenta um pico de concentração na 19ª semana. O ponto SR apresentou uma concentração de sulfato significativamente menor que os demais pontos de amostragem. Na comparação entre os ambientes de cultivo, CR apresentou uma concentração de sulfato em média 38,9% superior que em SR.

O efluente gerado pela retrolavagem (RL) apresentou uma concentração média de sulfato 30,0% maior que o efluente gerado pelo sistema sem recirculação (SR).

### 5.1.18 – Fluoreto

As variações na concentração de fluoreto durante o período experimental nos dois ambientes de cultivos estudados (SR e CR) estão ilustradas na figura 5.18:



**Figura 5.18:** Concentração de fluoreto na água dos tanques de cultivo com (CR) e sem recirculação (SR) durante o período experimental.

Não foram encontradas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as medidas de fluoreto dos seis pontos amostrados ao longo do experimento (SR, CR, BI, PA, PE e RL). Os dados obtidos estão resumidos na tabela 5.19:

**Tabela 5.19:** Médias e desvio padrão para concentração de fluoreto nos pontos amostrais durante o período experimental. (SR - Tanque de cultivo do sistema sem recirculação; CR - Tanque de cultivo do sistema com recirculação; BI - Saída do filtro biológico; PA - Saída da coluna de aeração preenchida com pall-rings; PE - Saída da coluna de aeração preenchida com tampas de garrafas PET; RL - Efluente gerado pela retro-lavagem).

Fluoreto		
Ponto de Coleta	n	Médias (desvio padrão)
SR	22	0,78 ( $\pm 0,53$ )
RL	22	0,63 ( $\pm 0,83$ )
PE	22	0,59 ( $\pm 0,58$ )
CR	22	0,52 ( $\pm 0,59$ )
PA	22	0,48 ( $\pm 0,40$ )
BI	22	0,45 ( $\pm 0,47$ )



O fluoreto, presente na água usada para as trocas realizadas nas unidades experimentais, apresentou uma leve tendência à diminuição ao longo do experimento, à exceção de dois picos. Estes picos são coincidentes com os principais momentos de trocas expressivas de água, que foram necessárias para a melhoria de suas condições e sobrevivência dos peixes. Sendo assim, estes picos podem ser explicados pelo aporte de fluoreto promovido pela água tratada que entrou nos sistemas, logo após as trocas de água realizadas na 18ª e 21ª semanas do experimento.

## **5.2 – Controle dos Sistemas**

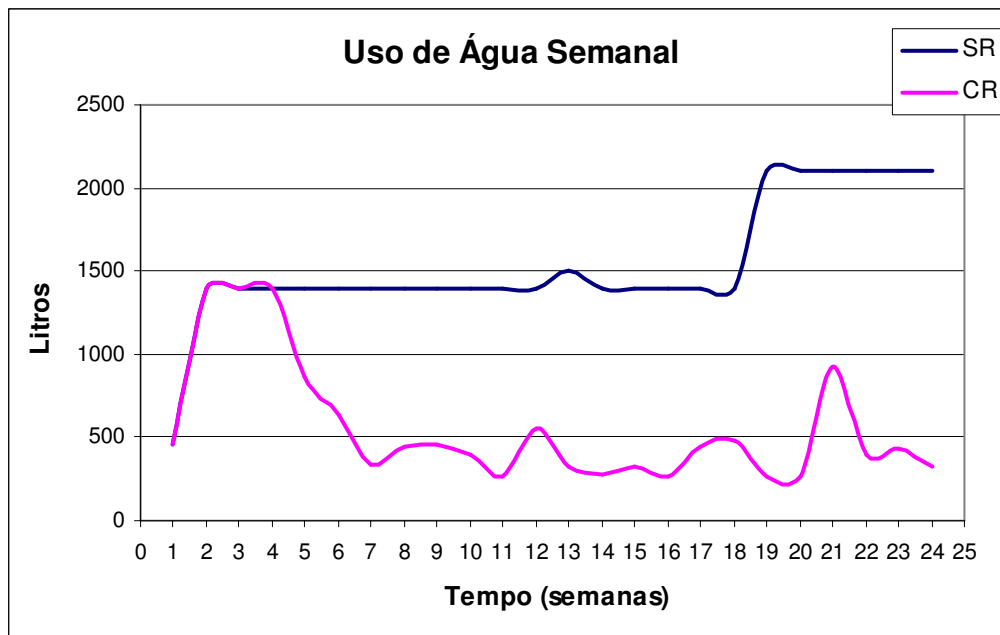
A garantia das condições adequadas da qualidade da água, tendo em vista a sobrevivência dos organismos cultivados ao longo do experimento, dependia de um monitoramento constante e ações em resposta às alterações potencialmente danosas. Este cuidado foi necessário para ambos os sistemas (com e sem recirculação).

Entre as ações tomadas com este propósito estão incluídos:

- Reposições e renovações parciais da água dos tanques;
- Modificações na frequência e volume das retrolavagens, com o intuito de aumentar o descarte de sólidos e a limpeza interna do filtro biológico;
- Adição de carbonato de cálcio como forma de correção da alcalinidade para valores recomendados.

### **5.2.1 – Uso de Água**

As reposições e renovações parciais de água foram realizadas de forma rotineira (exigidas pelo sifonamento de SR e pelas retrolavagens em CR), quando era necessária a reposição de perdas de água por vazamentos ou evaporação, e quando havia alguma substância tóxica que atingia concentrações preocupantes (principalmente o nitrogênio amoniacal). O gráfico 5.19 expõe o uso de água semanal de SR e CR (este último incluindo as reposições da água usada para a retrolavagem e perdas de água por vazamentos).



**Figura 5.19:** Uso de água semanal nos dois sistemas de cultivo.

Observa-se uma alta taxa de renovação de água em CR (equivalente às trocas em SR) no período inicial do experimento (até a 4ª semana). Durante este período, chamado aclimatação, ainda não foi desenvolvida uma biomassa suficiente de organismos nitrificantes no sistema, de forma que são facilmente atingidas altas concentrações de nitrogênio amoniacal que obrigam uma alta taxa de renovação de água. Com o estabelecimento da comunidade nitrificante e a conseqüente diminuição da concentração de nitrogênio amoniacal, a renovação de água em CR pôde ser reduzida drasticamente. De forma a representar um sistema tipicamente aberto em SR, optou-se por manter constante a taxa de renovação de água, até o momento em que seria necessário seu aumento, devido à deterioração na qualidade da água a partir da 19ª semana. Neste período final do experimento, também em CR são observados alguns picos de uso de água na figura 5.19, que se referem a esforços na manutenção da qualidade da água.

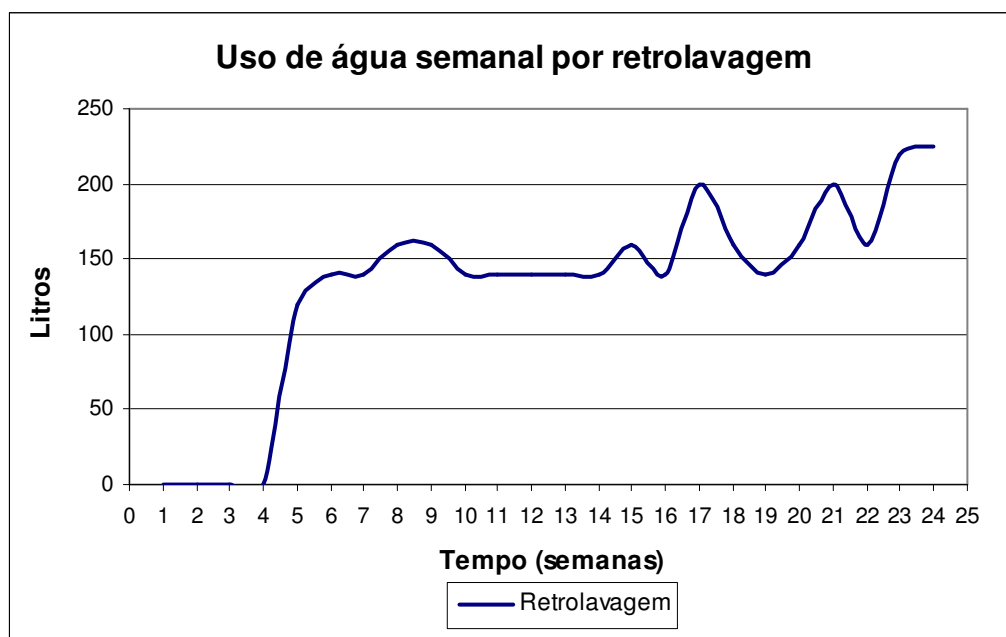
Foram encontradas diferenças significativas (ANOVA;  $p < 0,05$ ) entre as medidas semanais de volume de água usado nos dois sistemas comparados. Nesta comparação foi considerado o uso total de água do experimento incluindo renovações, reposição de água por perda ou manutenção rotineira. As médias obtidas estão contrastadas pelo teste de Tukey na tabela 5.20.

**Tabela 5.20:** Teste de contraste de médias de Tukey para uso de água; médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ). O volume de água considerado inclui o montante usado no período de aclimação do sistema com recirculação.

Sistema	Volume Total de Água usado em Litros	n	Média semanal em Litros (desvio padrão)	
Sem Recirculação	36960	24	1540 ( $\pm 382$ )	<b>a</b>
Com Recirculação	13345	24	556 ( $\pm 367$ )	<b>b</b>

Durante o período experimental o sistema com recirculação usou apenas 36% da água que foi necessária para o sistema sem recirculação. Do total de água usado no sistema com recirculação, 24% (3185L) são referentes às retrolavagens. A outra parte refere-se à água perdida por vazamentos e evaporação ou por renovações.

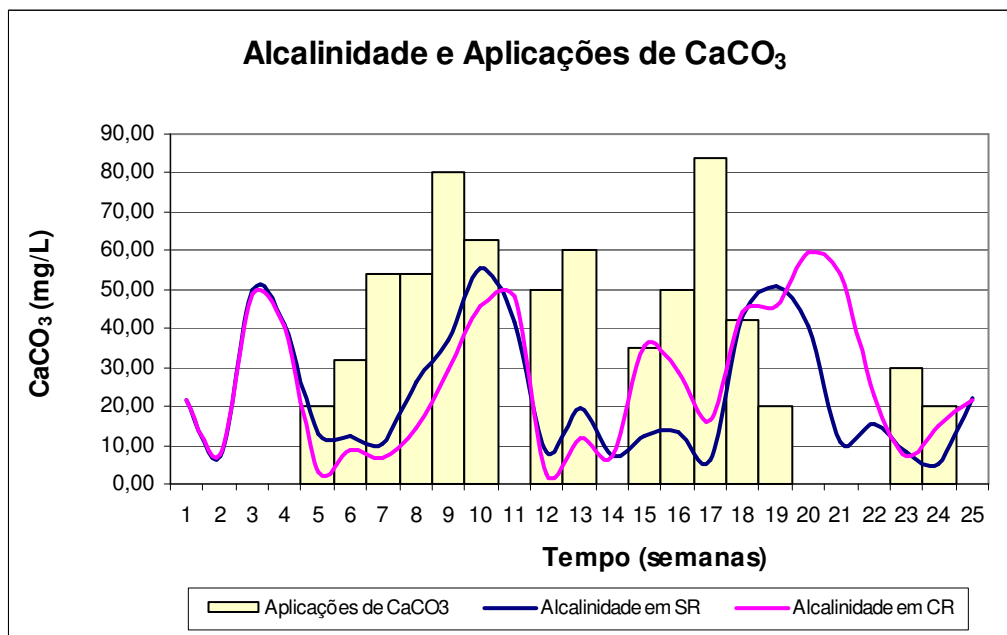
As retrolavagens do filtro biológico do sistema com recirculação foram feitas diariamente, conforme recomendado para este tipo de filtro, com o uso de 20L/dia da água. Em algumas ocasiões, o excesso de partículas capturadas pelo filtro (que também possui função de filtração mecânica) acarretava em um aumento na resistência à passagem de água pelo seu interior, o que gerava um aumento na pressão interna do mesmo, favorecendo o surgimento de vazamentos de água. Neste caso aumentava-se o volume diário usado para retrolavagem, a fim de propiciar uma limpeza interna do filtro e diminuir a resistência à passagem de água (figura 5.20).



**Figura 5.20:** Uso de água semanal por retrolavagem no sistema de cultivo com recirculação.

### 5.2.2 – Correção de Alcalinidade

As aplicações de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) foram realizadas em ambos os tanques na mesma proporção, sempre que era detectada uma queda na alcalinidade. Foram buscados valores próximos a  $30\text{mg/L}$  de  $\text{CaCO}_3$ , conforme recomendado (KUBITZA, 2003). O gráfico 5.21 ilustra como as flutuações na alcalinidade em SR e CR respondiam às aplicações de  $\text{CaCO}_3$ .



**Figura 5.21:** Alcalinidade e aplicações de  $\text{CaCO}_3$  nos dois sistemas de cultivo.

Foi possível observar que as quedas mais bruscas na alcalinidade (que vinham a demandar a correção com carbonato de cálcio) estavam associadas a processos intensos de nitrificação. A queda na alcalinidade ocorrida da 4<sup>a</sup> para a 5<sup>a</sup> semana, por exemplo, está associada a uma queda brusca na concentração de nitrogênio amoniacal e o surgimento repentino de valores altos de nitrito no mesmo período. A nitrificação é um processo que consome alcalinidade (ESTEVEZ, 1998; TIMMONS *et al.*, 2002), o que foi possível perceber de forma enfática durante o experimento, sendo que as quedas acentuadas na concentração de nitrogênio amoniacal freqüentemente demandavam uma aplicação posterior de carbonato de cálcio para correção da alcalinidade.

### 5.3 – Desempenho do Sistema com Recirculação

#### 5.3.1 – Desempenho do Filtro

A análise do efluente da retrolavagem (RL) em relação ao ambiente de cultivo (CR) revelou a capacidade do filtro biológico em acumular e descartar resíduos, apresentando uma concentração significativamente maior ( $p < 0,05$ ) de nitrogênio orgânico (3X maior que CR) e sólidos suspensos (7X maior que em CR). O resultado obtido para sólidos suspensos enfatiza o funcionamento da remoção mecânica de partículas proporcionada pelo filtro.

Não foram encontradas diferenças significativas entre a entrada (CR) e a saída (BI) do filtro biológico para nenhum dos parâmetros monitorados durante o experimento (teste t;  $p > 0,05$ ). Dessa forma, a partir das ferramentas estatísticas usadas, não foi possível detectar a eficiência do filtro biológico usado, pois não foram encontradas diferenças significativas entre a saída e a entrada desta unidade.

Entretanto, em sistemas de recirculação, a eficiência da unidade de tratamento, considerando a diferença entre a entrada e saída, é menos importante como parâmetro indicativo para avaliar, dimensionar e manejar o sistema do que a carga removida diariamente. Em um sistema de aquacultura intensiva com recirculação, é visada a maximização da carga de resíduo removido diariamente, o que significa uma maior capacidade suporte do sistema em termos de biomassa de organismos cultivados (intensificação).

Tendo em vista que o substrato a ser transformado sofre diversas passagens pela unidade de tratamento, muitas vezes são buscadas eficiências menores (mesmo abaixo de 10%), mas que proporcionem um aumento na taxa de resíduo removido por dia (TIMMONS *et al.* 2006). Como a curva de remoção de substrato não é linear em relação a sua concentração, ou seja, concentrações muito baixas são removidas a taxas menores, conforme a equação de Michaelis-Menten (METCALF & EDDY, 2003), um filtro com uma eficiência muito alta (que opere em baixas concentrações) pode ter uma baixa taxa de remoção do resíduo.

A vazão aplicada nas unidades de um sistema de aquacultura com recirculação é uma variável controlável, diferentemente do que comumente ocorre em outros sistemas de tratamento de efluentes. Nos casos clássicos de estações de tratamento de efluentes domésticos, as unidades de tratamento são dimensionadas e avaliadas de acordo com uma vazão e carga afluentes críticas esperadas, ao qual devem estar adaptadas.

Nos sistemas de aquacultura com recirculação é possível aumentar a vazão que passa por uma determinada unidade de tratamento, o que diminui seu tempo de detenção hidráulico e sua eficiência. Porém, a maior capacidade dos microorganismos de remoção de substrato em concentrações maiores, e o próprio aumento da vazão podem aumentar a carga de resíduo removida. Ou seja, segundo a equação 5.1 (AL-HAFEDH *et al.*, 2003), um aumento de “Q” pode significar um aumento na carga removida, mesmo que “(C<sub>i</sub> - C<sub>e</sub>)” seja reduzido:

$$\text{Carga de Remoção do Resíduo (g/dia)} = (C_i - C_e) \times Q \quad (5.1)$$

Onde,

C<sub>i</sub>= Concentração do resíduo na entrada do filtro (g/m<sup>3</sup>);

C<sub>e</sub>= Concentração do resíduo no efluente do filtro (g/m<sup>3</sup>);

Q= Vazão de água (m<sup>3</sup>/dia).

Sendo assim, o filtro biológico usado no experimento pode ter apresentado uma eficiência muito baixa, não detectável pelos métodos estatísticos empregados e considerando a margem de erro dentro das técnicas de análise, e ainda assim ter funcionado como uma unidade competente de remoção de carga de resíduos.

Analisando o comportamento das formas inorgânicas do nitrogênio, em ambos os sistemas comparados, observam-se indícios de ocorrência de nitrificação (gráficos 5.22 e 5.23).

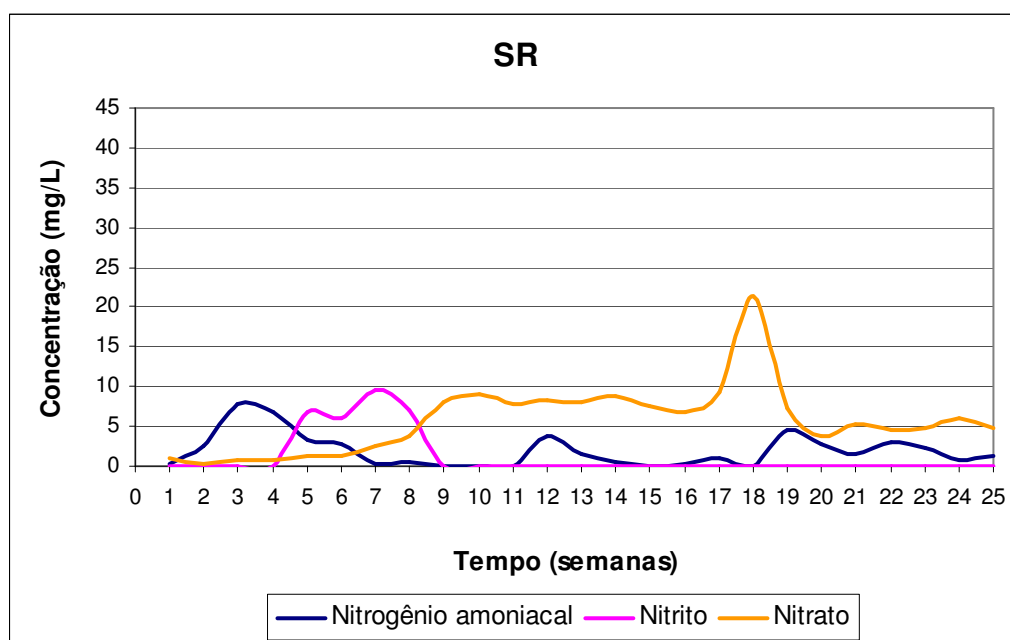
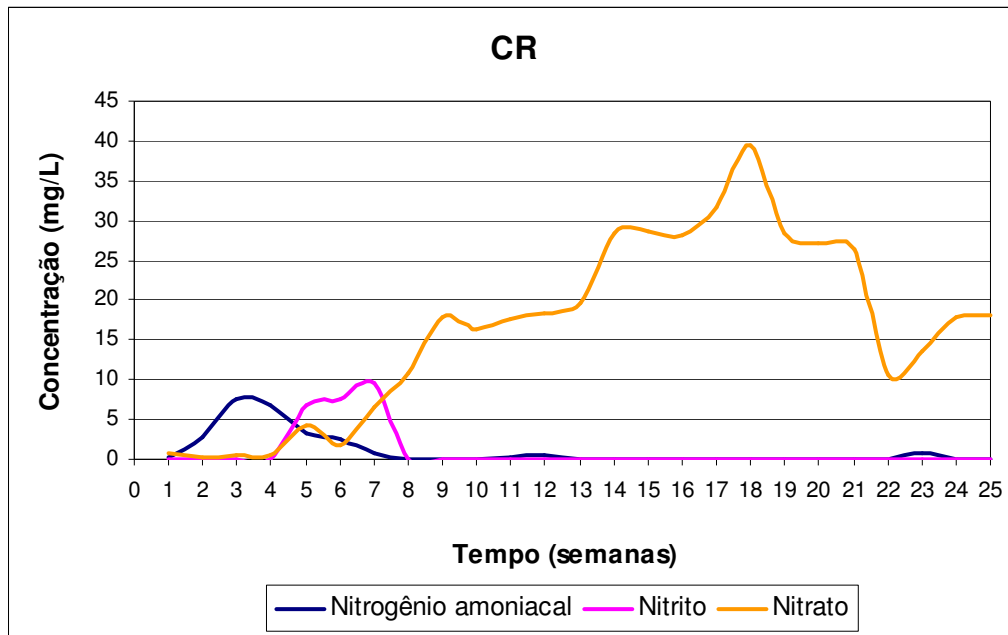


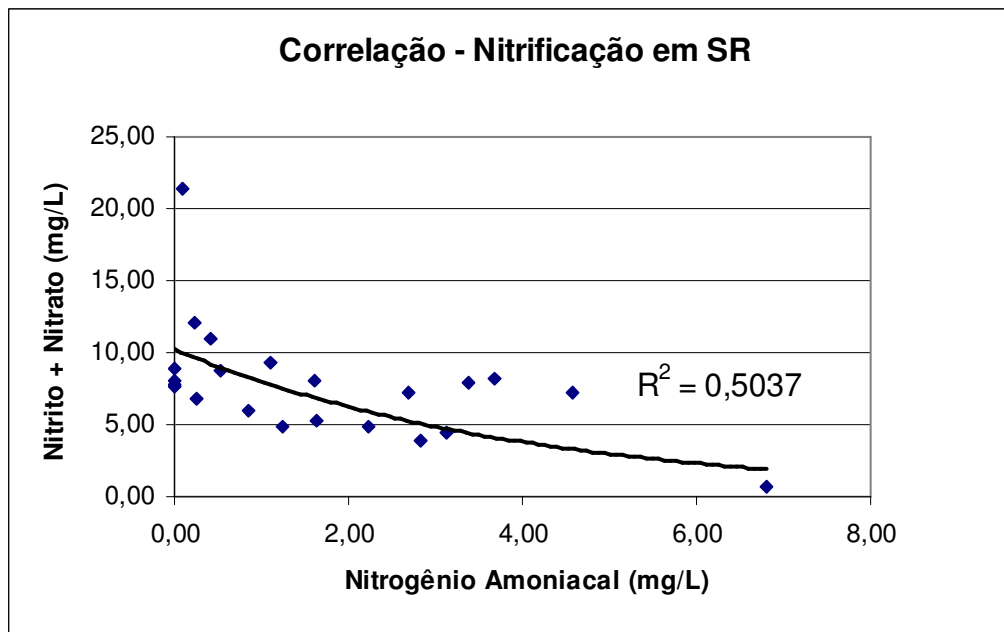
Figura 5.22: Sucessão das formas de Nitrogênio Inorgânico no tanque de cultivo sem recirculação.



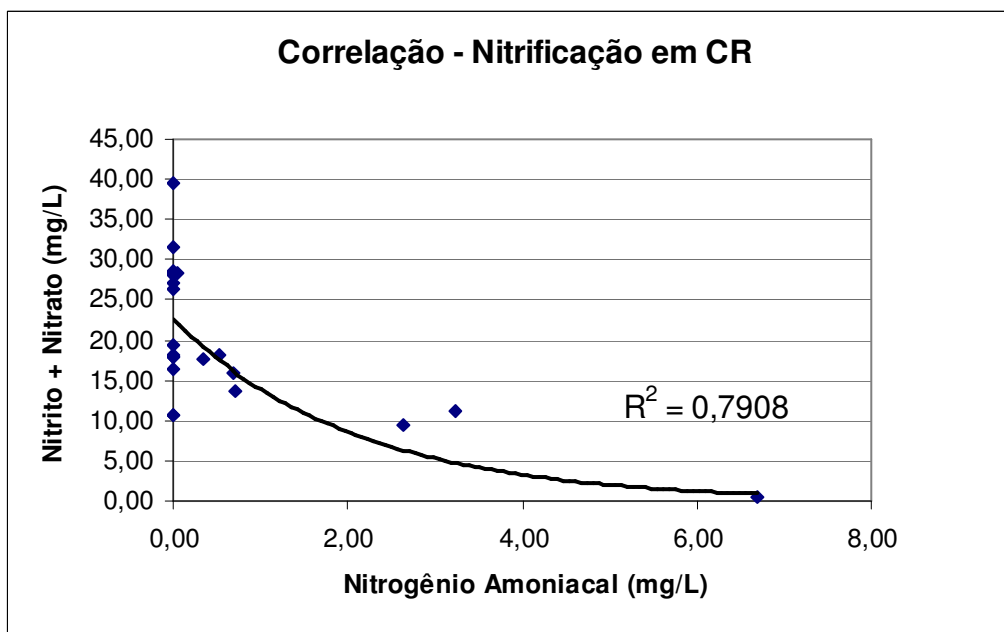
**Figura 5.23:** Sucessão das formas de Nitrogênio Inorgânico no tanque de cultivo com recirculação.

Os dois sistemas comparados apresentaram sucessão das formas nitrogênio inorgânico, conforme a rota da nitrificação, ou seja, a queda na concentração de nitrogênio amoniacal é seguida de um aumento no nitrito e este, por sua vez, é substituído por nitrato. Este comportamento foi mais evidenciado nas 10 primeiras semanas do experimento. O nitrato acumulou-se no sistema com recirculação (CR), atingindo concentrações mais elevadas do que em SR, como comumente ocorre neste tipo de sistema.

Uma análise de correlação entre a concentração de nitrogênio amoniacal (matéria-prima da nitrificação) e a soma das concentrações das formas oxidadas de nitrogênio “nitrito+nitrato” (produtos da nitrificação) está apresentada nos gráficos 5.24 e 5.25. A correlação foi significativa para SR e para CR ( $p < 0,05$ ).



**Figura 5.24:** Correlação Exponencial entre a concentração de nitrogênio amoniacal total e a soma das concentrações de nitrito e nitrato do tanque de cultivo do sistema sem recirculação. Foi encontrada correlação significativa ( $p < 0,05$ ).



**Figura 5.25:** Correlação Exponencial entre a concentração de nitrogênio amoniacal total e a soma das concentrações de nitrito e nitrato do tanque de cultivo do sistema com recirculação. Foi encontrada correlação significativa ( $p < 0,05$ ).

Entretanto, os coeficientes de determinação indicam que para o sistema com recirculação (CR) a nitrificação teve uma maior importância, indicando que 79% da diminuição na concentração de nitrogênio amoniacal estão associados a um aumento na soma de nitrito e nitrato. Para o sistema sem recirculação (SR), apenas 50% da variação na concentração de nitrogênio amoniacal parece ser associados à nitrificação, sendo o restante



provavelmente relacionado a outras formas de modificação da sua concentração, como diluições promovidas pelas trocas diárias de água.

Dessa forma, é possível afirmar que no sistema com recirculação a nitrificação desempenhou um papel mais importante na regulação dos níveis de nitrogênio amoniacal do que no sistema sem recirculação. Ao proporcionar uma grande área para fixação de biofilmes com microorganismos nitrificantes, o filtro biológico e as colunas de aeração atuaram como promotores da nitrificação em maior escala. A nitrificação, em menor grau, também atuou no sistema sem recirculação. Segundo Timmons *et al* (2002), isto pode ocorrer graças ao estabelecimento de biofilmes nas paredes do tanque.

### 5.3.2 – Balanço de Massas das Formas de Nitrogênio Inorgânico

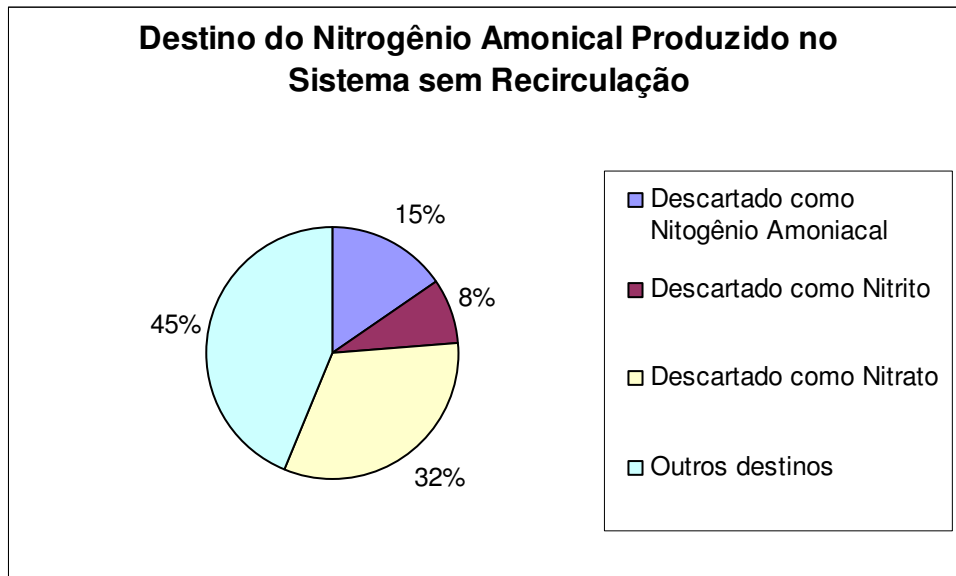
As formas de nitrogênio inorgânico analisadas (nitrogênio amoniacal total, nitrito e nitrato) podem ser investigadas através de um balanço de massas dos dois sistemas comparados. As medidas destes parâmetros estão apresentadas na unidade de mg da massa do nitrogênio constante na molécula. Dessa forma, o nitrogênio amoniacal total representa a soma do nitrogênio na forma de amônia ionizada e não-ionizada ( $\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NH}_3\text{-N}$ ), o nitrito considera a massa do nitrogênio na forma de nitrito ( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ) e o nitrato significa a massa do nitrogênio na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ).

Sendo assim, as transformações destas formas de nitrogênio podem ser aproximadas através da quantificação direta de sua massa, pois durante a nitrificação, uma grama de nitrogênio amoniacal total equivale a uma grama de nitrogênio na forma de nitrato (ou simplesmente nitrato).

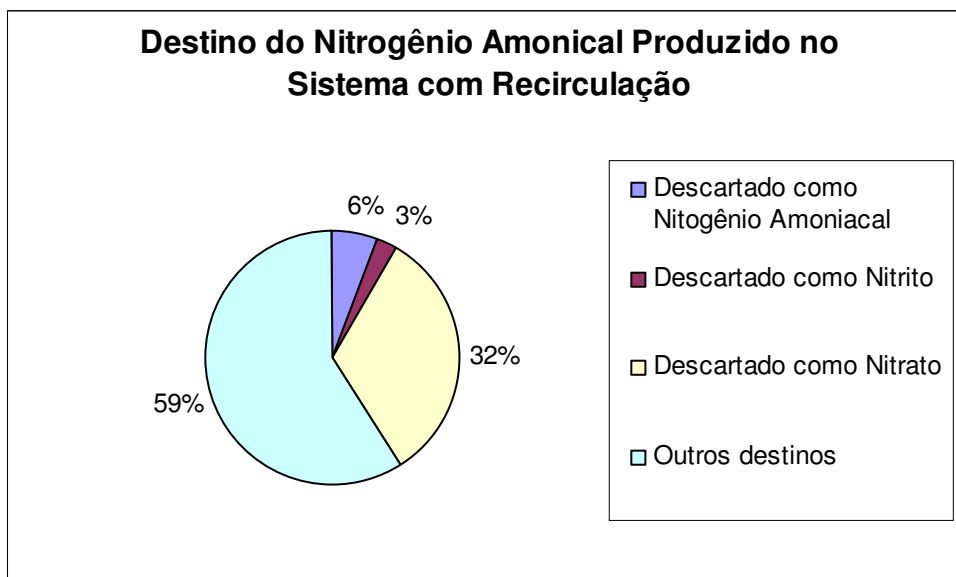
A quantidade de nitrogênio amoniacal produzida nos dois sistemas pode ser estimada através da equação 4.1, sugerida por Timmons *et al.* (2002). Este cálculo usa como base a taxa de alimentação e a composição protéica da ração, considerando o montante de nitrogênio assimilado pelos organismos cultivados e a parcela excretada na forma de nitrogênio amoniacal. Neste caso, foi estimada a soma da produção total de nitrogênio amoniacal dos dois períodos em que as tilápias receberam rações com diferentes composições protéicas.

No cálculo do destino do nitrogênio amoniacal dentro dos sistemas foi considerado a massa do resíduo descartada sob a forma de efluente durante o período experimental adicionada ao montante acumulado na água de cultivo no último dia do experimento. Dessa

forma, esta estimativa levou em conta que os tanques dos dois sistemas foram completamente esgotados no último dia do experimento e todos resíduos presentes na água de cultivo foram descartados. Para o cálculo do nitrato produzido nos sistemas, foi deduzida a carga de entrada deste resíduo através da água de reposição. Os resultados são apresentados nas figuras 5.26 e 5.27.



**Figura 5.26:** Análise de balanço de massas, considerando o destino do nitrogênio amoniacal total produzido no sistema sem recirculação, calculado a partir da ração total fornecida durante o experimento.



**Figura 5.27:** Análise de balanço de massas, considerando o destino do nitrogênio amoniacal total produzido no sistema com recirculação, calculado a partir da ração total fornecida durante o experimento.

A partir desta análise de balanço de massas, que considera o nitrogênio amoniacal que entra no sistema (produção total calculada a partir da ração fornecida) e o que sai sob a mesma forma (descarte de nitrogênio amoniacal através dos efluentes gerados), é possível estimar a parcela que foi transformada por nitrificação e eliminada como um de seus produtos (descartada nos efluentes como nitrito ou nitrato) e a porção que apresentou outro destino dentro do sistema (sofrendo algum outro tipo de transformação). Dentre as possibilidades de destino do nitrogênio inorgânico dentro dos dois sistemas, pode ser destacada a assimilação por parte de bactérias e outros microorganismos presentes na coluna d'água e biofilmes, sendo fonte de nitrogênio para estes organismos. Além disso, após o processo de nitrificação pode ser seguido de uma reação de desnitrificação, desempenhada por microorganismos heterotróficos, que culmina na liberação de nitrogênio gasoso para a atmosfera ( $N_2$ ). A liberação de nitrogênio gasoso para a atmosfera ainda pode ocorrer através de processos de oxidação anaeróbia de amônia (Anammox).

A partir das figuras 5.26 e 5.27, é possível notar que os destinos não determinados do nitrogênio amoniacal no sistema com recirculação apresentou uma maior relevância do que para o sistema sem recirculação. Isso indica que houve um papel considerável da biomassa bacteriana, presente principalmente no filtro biológico, em desempenhar outras funções além da nitrificação. Neste cenário, uma provável presença massiva de microorganismos heterotróficos teria sido responsável por uma assimilação significativa do nitrogênio presente na coluna d'água, seja na forma de amônia, nitrito ou nitrato. Nestas condições de diversidade metabólica bacteriana, poderiam estar presentes além de organismos nitrificantes e bactérias heterotróficas que assimilavam o nitrogênio, também organismos realizando desnitrificação e anammox.

### 5.3.3 – Colunas de Aeração

As duas colunas de aeração não apresentaram diferenças significativas quanto a sua capacidade de oxigenação da água, medida através da comparação da sua entrada (BI) e saídas (PA e PE). Ambas apresentaram uma eficiência de 66,7% de oxigenação, revelando que o material alternativo usado (tampas de garrafa PET) apresentou o mesmo desempenho para este fim que o material específico – *pall-rings*.

## 5.4 – Carga dos Efluentes

O sistema com recirculação produziu efluentes (através da retrolavagem do filtro) mais concentrados que aqueles do SR ( $p < 0,05$ ) em relação a Nitrato, Alcalinidade, Carbono Orgânico Total, Fosfato, Sólidos Suspensos e Dissolvidos, Cloreto, Sulfato e Condutividade. Porém, ao considerar a carga de resíduos presentes nestes efluentes, a significativa diferença na vazão dos dois sistemas, revela um cenário diferente.

Para o cálculo da carga dos efluentes do sistema sem recirculação, foram consideradas as concentrações dos resíduos em SR e o volume de água descartado em uma semana. O cálculo da carga dos efluentes do sistema com recirculação considerou a concentração em RL relacionada ao volume descartado através da retrolavagem em uma semana adicionado à concentração do resíduo em CR associada às perdas ou renovações de água necessárias naquela semana.

Os resultados demonstram que o sistema com recirculação apresentou uma menor carga em seus efluentes (medida em gramas por semana) para os parâmetros apresentados na tabela 5.21 ( $p < 0,05$ ):

**Tabela 5.21:** Redução de carga de poluentes no sistema com recirculação em relação ao sistema sem recirculação (%)

<b>Parâmetro</b>	<b>Redução (%)</b>
Nitrogênio Amoniacal	61,1
Nitrato	24,9
Carbono Orgânico Total	52,1
Fosfato	25,9
Sólidos Suspensos	60,7
Sólidos Dissolvidos	45,4
Fluoreto	73,2
Cloreto	56,1
Sulfato	57,4

Para os parâmetros de nitrito e nitrogênio orgânico não foram encontradas diferenças significativas entre a carga dos efluentes dos sistemas comparados.

As alterações nas concentrações de nutrientes dentro de um sistema de aquacultura com recirculação são principalmente transformações ou relocações de nutrientes, de forma que ainda necessitam de cuidados quanto a sua disposição final. Algumas exceções cabem a sistemas em que ocorrem desnitrificação (eliminando nitrogênio atmosférico) ou decomposição da matéria com liberação de gás carbônico (aeróbica) ou metano (anaeróbica) (PIEDRAHITA, 2003).

Estes resultados sugerem que, de fato, certos resíduos gerados nos sistemas intensivos de aquacultura podem sofrer transformações dentro de um sistema de tratamento e recirculação, de forma que são descartados no ambiente em menor quantidade quando em comparação a um sistema aberto com descarte contínuo de efluentes. Esta diferença na carga sugere que os nutrientes dentro do sistema com recirculação podem ter seguido rotas diferentes, por exemplo, sendo eliminados via atmosfera ou incorporados à biomassa bacteriana. Este aspecto da tecnologia de recirculação é promissor no sentido de poder minimizar os impactos ambientais da aquacultura.

### 5.5 – Eficiência Ambiental

O montante total de recursos naturais mobilizados para a produção de certa quantidade de determinado produto é levado em consideração em diversos estudos ambientais. Na tabela 5.21 é considerado o uso de água e terra necessária para alguns exemplos de atividade aquícola, em comparação aos sistemas estudados no presente trabalho.

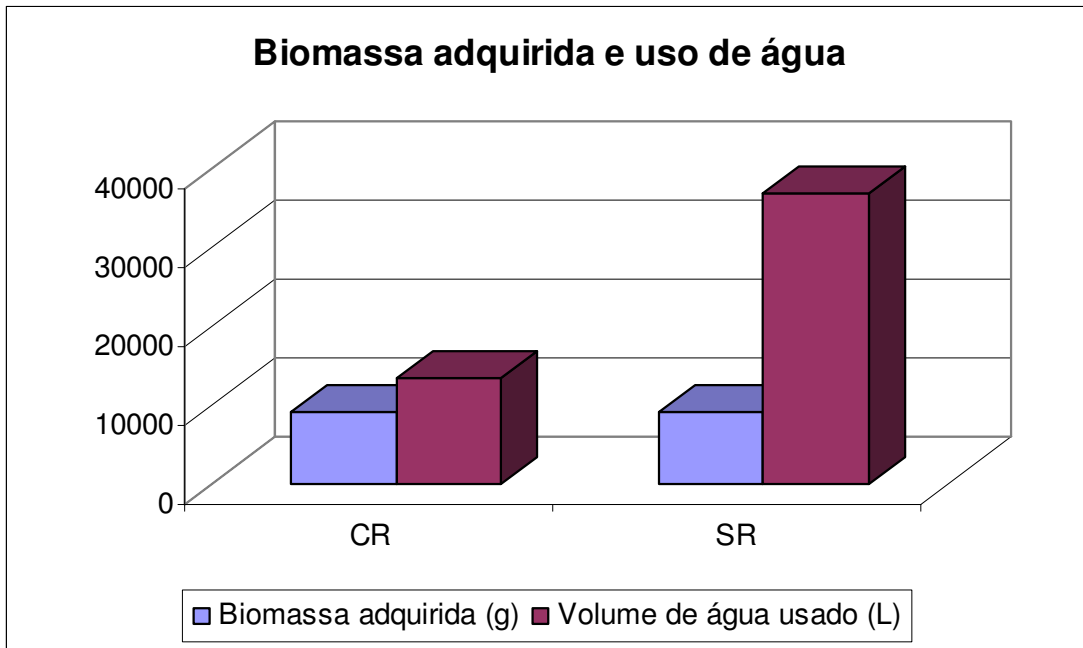
**Tabela 5.22:** Uso de água e terra em diferentes sistemas aquícolas (adaptado de TIMMONS *et al.*, 2002)

a – valores estimados com base em uma extrapolação dos resultados obtidos no período experimental

b – estes valores são referentes à biomassa total adquirida no período experimental, incluindo indivíduos de ambos os sexos, de forma que tendem a ser subestimados em relação a um cultivo com organismos sexualmente revertidos, que apresenta um melhor desempenho zootécnico

Espécie e Sistema de Produção	Intensidade de Produção (kg/ha/ano)	Requerimento de Água (L/kg)	Razão: Uso de terra ou água em relação ao sistema com recirculação (CR)	
			Terra	Água
<i>O. niloticus</i> (Tilápia-do-Nilo) em viveiros escavados	17.400	21.000	11,3	18,6
<i>I. puntatus</i> (Bagre-de-canal) em viveiros escavados	3.000	3.000-5.000	65,4	3,5
<i>S. gairdneri</i> (Truta-arco-íris) em raceways	150.000	210.000	1,3	186,0
Camarões peneídeos em viveiros escavados (Taiwan)	4.200-11.000	11.000-21.340	25,8	14,3
<i>O. niloticus</i> (Tilápia-do-Nilo) em SR	199.727 <sup>a b</sup>	4.053 <sup>b</sup>	1,0	3,6
<i>O. niloticus</i> (Tilápia-do-Nilo) em CR	196.121 <sup>a b</sup>	1.129 <sup>b</sup>	1,0	1,0

Em comparação com técnicas convencionais de aquacultura, percebe-se que o sistema intensivo de aquacultura com recirculação faz um uso mais eficiente de água (figura 5.26) e terra. Porém para uma análise completa do ciclo de vida do produto aquícola seriam necessários estudos que levassem em consideração a energia usada e outros materiais empregados na aquacultura (como ração) e todo processo envolvido na sua produção.



**Figura 5.28:** Biomassa de peixes e uso de água.

## 5.6 – Desempenho Zootécnico

Os resultados das três biometrias realizadas no período de 70 dias, entre 11/09/2008 e 20/11/2008 são apresentados em seguida. Durante este período foram utilizados 8890 gramas de ração Supra Tilápia Gaiola<sup>®</sup> para cada tanque. Não foram encontradas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) no ganho de peso (G), no ganho de comprimento total, no ganho de altura, no ganho de largura, no ganho de comprimento da cabeça, na conversão alimentar aparente (CAA), na taxa de crescimento específica (TCE) e na taxa de eficiência protéica (TEP) dos indivíduos marcados com *microchips* entre os dois sistemas comparados (SR e CR), durante o período de avaliação do desempenho zootécnico. As tabelas de 5.22 à 5.33 apresentam os dados obtidos nas três biometrias realizadas.

**Tabela 5.23:** Valores de peso medidos nas biometrias, ganho de peso ( $G = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}$ ) e conversão alimentar aparente ( $CAA = \text{Consumo de ração (g)} / G \text{ (g)}$ ) para o sistema com recirculação

CR	11/set	16/out	20/nov	Ganho de Peso Período 1 (g)	Ganho de Peso Período 2 (g)	Ganho de Peso Total (g)	Conversão Alimentar Aparente (ração/ganho de peso)
	Pesagem 1 (g)	Pesagem 2 (g)	Pesagem 3 (g)				
<b>Média</b>	104,4	157,4	216,2	53,0	58,8	111,8	1,96
<b>Desvio Padrão</b>	21,3	27,6	45,5	24,6	33,4	48,0	0,96
<b>n</b>	12	12	12	12	12	12	12

**Tabela 5.24:** Valores de peso medidos nas biometrias, ganho de peso ( $G = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}$ ) e conversão alimentar aparente ( $CAA = \text{Consumo de ração (g)} / G \text{ (g)}$ ) para o sistema sem recirculação

SR	11/set	16/out	20/nov	Ganho de Peso Período 1 (g)	Ganho de Peso Período 2 (g)	Ganho de Peso Total (g)	Conversão Alimentar Aparente (ração/ganho de peso)
	Pesagem 1 (g)	Pesagem 2 (g)	Pesagem 3 (g)				
<b>Média</b>	108,4	156,5	216,6	48,1	60,1	108,2	1,83
<b>Desvio Padrão</b>	20,6	41,1	46,9	26,0	18,6	32,6	0,64
<b>n</b>	12	12	12	12	12	12	12

**Tabela 5.25:** Taxa de crescimento específico ( $TCE = ((\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso inicial}) / n \text{ dias}) \times 100$ ) e taxa de eficiência protéica (ganho de peso (g) / consumo estimado de proteína (g)) para o sistema com recirculação

CR	Taxa de Crescimento Específico	Taxa de Eficiência Protéica (g/g)
<b>Média</b>	1,04	1,95
<b>Desvio Padrão</b>	0,40	0,84
<b>N</b>	12	12

**Tabela 5.26:** Taxa de crescimento específico ( $TCE = ((\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso inicial}) / n \text{ dias}) \times 100$ ) e taxa de eficiência protéica (ganho de peso (g) / consumo estimado de proteína (g)) para o sistema sem recirculação

SR	Taxa de Crescimento Específico	Taxa de Eficiência Protéica (g/g)
<b>Média</b>	0,98	1,88
<b>Desvio Padrão</b>	0,18	0,57
<b>N</b>	12	12

**Tabela 5.27:** Valores de comprimento total medidos nas biometrias para o sistema com recirculação

CR	11/set	16/out	20/nov	Ganho de Comprimento Período 1 (cm)	Ganho de Comprimento Período 2 (cm)	Ganho de Comprimento Total (cm)
	Comprimento 1 (cm)	Comprimento 2 (cm)	Comprimento 3 (cm)			
<b>Média</b>	18,5	21,5	23,2	3,1	1,7	4,7
<b>Desvio Padrão</b>	1,7	1,4	1,6	1,0	1,1	1,5
<b>n</b>	12	12	12	12	12	12

Tabela 5.28: Valores de comprimento total medidos nas biometrias para o sistema sem recirculação

SR	11/set	16/out	20/nov	Ganho de Comprimento Período 1 (cm)	Ganho de Comprimento Período 2 (cm)	Ganho de Comprimento Total (cm)
	Comprimento 1 (cm)	Comprimento 2 (cm)	Comprimento 3 (cm)			
<b>Média</b>	18,6	21,1	23,3	2,5	2,2	4,6
<b>Desvio Padrão</b>	1,3	1,5	1,7	1,1	0,7	0,9
<b>n</b>	12	12	12	12	12	12

Tabela 5.29: Valores de altura medidos nas biometrias para o sistema com recirculação

CR	11/set	16/out	20/nov	Ganho de Altura Período 1 (cm)	Ganho de Altura Período 2 (cm)	Ganho de Altura Total (cm)
	Altura 1 (cm)	Altura 2 (cm)	Altura 3 (cm)			
<b>Média</b>	5,2	6,0	6,9	0,8	0,9	1,7
<b>Desvio Padrão</b>	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3	0,6
<b>n</b>	12	12	12	12	12	12

Tabela 5.30: Valores de altura medidos nas biometrias para o sistema sem recirculação

SR	11/set	16/out	20/nov	Ganho de Altura Período 1 (cm)	Ganho de Altura Período 2 (cm)	Ganho de Altura Total (cm)
	Altura 1 (cm)	Altura 2 (cm)	Altura 3 (cm)			
<b>Média</b>	5,3	5,9	7,1	0,6	1,2	1,8
<b>Desvio Padrão</b>	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4
<b>n</b>	12	12	12	12	12	12

Tabela 5.31: Valores de largura medidos nas biometrias para o sistema com recirculação

CR	11/set	16/out	20/nov	Ganho de Largura Período 1 (cm)	Ganho de Largura Período 2 (cm)	Ganho de Largura Total (cm)
	Largura 1 (cm)	Largura 2 (cm)	Largura 3 (cm)			
<b>Média</b>	2,6	3,0	3,5	0,4	0,5	0,9
<b>Desvio Padrão</b>	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4
<b>n</b>	12	12	12	12	12	12

Tabela 5.32: Valores de largura medidos nas biometrias para o sistema sem recirculação

SR	11/set	16/out	20/nov	Ganho de Largura Período 1 (cm)	Ganho de Largura Período 2 (cm)	Ganho de Largura Total (cm)
	Largura 1 (cm)	Largura 2 (cm)	Largura 3 (cm)			
<b>Média</b>	2,7	3,0	3,5	0,4	0,4	0,8
<b>Desvio Padrão</b>	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>n</b>	12	12	12	12	12	12



**Tabela 5.33:** Valores de comprimento da cabeça medidos nas biometrias para o sistema com recirculação

CR	11/set	16/out	20/nov	Ganho de Comprimento da Cabeça Período 1 (cm)	Ganho de Comprimento da Cabeça Período 2 (cm)	Ganho de Comprimento da Cabeça Total (cm)
	Comprimento da cabeça 1 (cm)	Comprimento da cabeça 2 (cm)	Comprimento da cabeça 3 (cm)			
<b>Média</b>	4,8	5,5	6,1	0,7	0,6	1,3
<b>Desvio Padrão</b>	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,4
<b>n</b>	12	12	12	12	12	12

**Tabela 5.34:** Valores de comprimento da cabeça medidos nas biometrias para o sistema sem recirculação

SR	11/set	16/out	20/nov	Ganho de Comprimento da Cabeça Período 1 (cm)	Ganho de Comprimento da Cabeça Período 2 (cm)	Ganho de Comprimento da Cabeça Total (cm)
	Comprimento da cabeça 1 (cm)	Comprimento da cabeça 2 (cm)	Comprimento da cabeça 3 (cm)			
<b>Média</b>	4,8	5,5	6,3	0,7	0,9	1,5
<b>Desvio Padrão</b>	0,3	0,4	0,4	0,1	0,2	0,3
<b>n</b>	12	12	12	12	12	12

Como não foram encontradas diferenças significativas no desempenho zootécnico entre os dois sistemas comparados, é possível afirmar que o protótipo de aquacultura com recirculação apresentou algumas vantagens sob o ponto de vista ambiental ao produzir pescado com a mesma eficiência de um sistema convencional (simulado em SR), enquanto minimiza o uso de água e a carga de resíduos lançados.

Os resultados alcançados em SR e CR estão refletindo as condições e limitações em que foi conduzido o experimento. Neste caso, trabalhou-se com unidades em escala reduzida e com tilápias que não sofreram reversão sexual, algo dificilmente encontrado em produções comerciais. Havia tilápias de ambos os sexos nos dois tanques (SR e CR), de forma que o ganho de peso dos indivíduos foi prejudicado pelo montante de energia investido em reprodução, em oposição ao investimento de energia em crescimento. Este é um fenômeno particularmente importante para tilápias, que tem maturação sexual precoce, e tende a ser mais evidenciado nas fêmeas, que têm cuidado parental, incubando os ovos e/ou larvas na boca (BOMBARDELLI & HAYASHI, 2005). Em ambos os tanques do experimento observou-se produção de alevinos. Em sistemas comerciais típicos são utilizadas tilápias masculinizadas, obtidas através de sua exposição a hormônios, garantindo uma produção mais eficiente sob o ponto de vista do desempenho zootécnico.

## 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo de sistema de aquacultura com recirculação investigado neste estudo obteve êxito ao conseguir manter as condições adequadas para o cultivo de tilápias durante todo o período experimental. Da mesma forma, houve sucesso na reprodução das características básicas deste sistema de cultivo, minimizando o consumo de água e a carga de resíduos nos efluentes, afirmando-se como uma tecnologia a ser levada em consideração na busca por uma aquacultura sustentável.

Entretanto, são necessárias melhorias no protótipo, especialmente com relação a sua capacidade de auto-limpeza durante as retrolavagens, de forma a evitar o aumento da pressão no filtro e conseqüentes vazamentos de água.

Ainda assim, foi possível demonstrar que um sistema de aquacultura com recirculação com um filtro biológico de leito flutuante pode ser construído a partir de materiais de baixo custo, encontrados no Brasil. O uso de tampas de garrafa PET em substituição aos *pall-rings* nas colunas de aeração mostrou-se igualmente eficiente para este fim.

O sistema de aquacultura com recirculação demonstrou ser uma prática que demandaria um maior monitoramento da qualidade da água pelo produtor e um maior conhecimento deste campo. As acentuadas oscilações de determinados parâmetros, como observado para a alcalinidade em resposta à nitrificação, exigem uma atenção especial e uma resposta ágil e precisa. Por outro lado, em sistemas de aquacultura com recirculação, existe a possibilidade de alcançar um maior controle dos parâmetros da água, estando menos suscetível a variações ambientais do que sistemas abertos convencionais.

A popularidade dos sistemas de aquacultura com recirculação em maior escala, como alternativa de produção comercial de pescado, está ligada às exigências da legislação ambiental quanto aos padrões de emissão de efluentes e uso de água. Como foi demonstrado neste estudo, o sistema com recirculação ofereceu maior eficiência em termos de uso de recursos (consumiu apenas 36% da água usada para o sistema sem recirculação) e minimização de impactos ambientais, pois em nove dos parâmetros estudados houve redução na carga dos efluentes.

A possibilidade de produção intensiva de organismos aquáticos, aliada a uma tecnologia que mantenha o impacto ambiental da atividade sob controle é uma opção interessante tendo em vista os desafios que despontam diante da sociedade humana. Porém, a viabilização deste tipo de produção dentro de uma realidade econômica pode depender de regulamentações ou incentivos tributários, como, por exemplo, a fixação de limites para a

carga de resíduos nos efluentes ou iniciativas como políticas de outorga para o uso de água. Nestes casos fazem-se necessários estudos da capacidade suporte do ambiente e ecossistemas associados que orientem para um uso sustentável destes serviços ambientais, ou seja, o fornecimento de água em quantidade e qualidade adequadas ao cultivo e o recebimento e depuração natural dos efluentes produzidos.

Por ser um campo essencialmente interdisciplinar de trabalho, uma miríade de estudos ainda são possíveis e necessários neste domínio, integrando áreas tão diversas como engenharia ambiental, microbiologia, matemática, agronomia, química ambiental, ecologia aquática, zootecnia, veterinária, economia e agronegócios. Nesta linha de pensamento, percebe-se a necessidade não só da formação de recursos humanos capacitados, como um trabalho em equipe eficiente.

Sob uma ótica nacional, são especialmente interessantes os estudos considerando as particularidades ambientais e das espécies cultivadas no Brasil, além de seus aspectos econômicos dentro da realidade nacional. Outros aspectos promissores dentro deste campo são os estudos que exploram as alternativas de configurações e unidades de sistemas de aquicultura com recirculação, a incorporação de unidades que desempenhem funções extras ao sistema (como desnitrificação e remoção de fósforo) e a possibilidade do uso dos efluentes produzidos nestes sistemas como fontes de nutrientes para outras culturas.

## 7 – REFERÊNCIAS

- ALABASTER, J.S.; LLOYD, R. **Water Quality Criteria for Freshwater Fish**. 2ª ed  
London: FAO/Butterworths, 1982.
- AL-HAFEDH, Y. S.; ALAM, A.; ALAM, M. A. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system. **Aquacultural Engineering**. n. 29, p. 139-154, 2003.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20ª ed. Washington, 1999
- ARANA, L.V. **Aqüicultura e Desenvolvimento Sustentável: Subsídios para a Formulação de Políticas de Desenvolvimento da Aqüicultura Brasileira**. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 1999.
- \_\_\_\_\_ **Princípios Químicos de Qualidade da Água em Aqüicultura: uma Revisão para Peixes e Camarões**. 2ª ed. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 2004.
- AVNIMELECH, Y. Bio-filters: the need for an new comprehensive approach. **Aquacultural Engineering**. n. 34, p. 172-178, 2006.
- BALDISSEROTO, B. **Fisiologia de Peixes Aplicada à Piscicultura**. Santa Maria, RS: Editora UFSM, 2002.
- BALDISSEROTO, B.; GOMES, L.C. (Coord.) **Espécies Nativas para Piscicultura no Brasil**. Santa Maria, RS: Editora UFSM, 2005.
- BARNABÉ, G. (Coord.) **Bases Biologiques et Écologiques de l'Aquaculture**. Paris: Lavoisier – TEC & DOC, 1991.
- BARAK, Y.; Van RIJN, J. Biological phosphate removal in a prototype recirculating aquaculture treatment system. **Aquacultural Engineering**, n.22, p. 121-136, 2000.
- BARAK, Y *et al.* Phosphorus removal in a marine prototype, recirculating aquaculture system. **Aquaculture**, n.220, p. 313-326, 2003.
- BOLEY, A.; MÜLLER, W.R.; HAIDER, G. Biodegradable polymers as solid substrate and biofilm carrier for denitrification in recirculated aquaculture system. **Aquacultural Engineering**, n.22, p. 75-85, 2000.
- BOMBARDELLI, R.A.; HAYASHI, C. Masculinização de larvas de tilapia do nilo (*Oreochromis niloticus*) a partir de banhos de imersão com 17 $\alpha$ -metiltestosterona. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.34, n. 2, p. 365-372, 2005.

- BOOPATHY, R. Biological treatment of shrimp production wastewater. **Journal of Industrial Microbiological Biotechnology**, n.36, p. 989-992, 2009.
- BOYD, C. E. **Water Quality in Warmwater Fish Ponds**. Auburn University, 1979.
- \_\_\_\_\_ Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. **Aquaculture**, n. 226, p. 101-112, 2003.
- BRASIL – Ministério do Meio Ambiente. **Programa REVIZEE: Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva: Relatório Executivo**. MMA – Secretaria de Qualidade Ambiental. Brasília, 2006.
- BRAZIL, B.L. Performance and operation of a rotating biological contactor in a tilapia recirculating aquaculture system. **Aquacultural Engineering**, n.34, p. 261-274, 2006.
- BRENNER, J. D.; KRIEG, N. R. & STALEY, J. T (Eds.). **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology - volume 2: the proteobacteria. Parte A**. 2<sup>a</sup> ed. East Lansing: Springer, 2005. 304 p.
- CABELLO, F.C. Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. **Environmental Microbiology**, v.8, n.7, p. 1137-1144, 2006.
- CAO, L. *et al.* Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China. **Environmental Science and Pollution Research**, v.14, n.7 p. 452–462, 2007.
- CARPENTER, S.R. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**, v. 8, n.3, p. 559-568, 1998.
- CARVALHO, R; LEMOS, D. Aquicultura e consumo de carnes no Brasil e no mundo. **Panorama da Aquicultura**, v.19, n.112, p. 46-49, 2009.
- CHEN, S.; LING, J.; BLANCHETON, J.P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquacultural Engineering**, n.34, p. 179-197, 2006.
- COLT, J. Water quality requirements for reuse systems. **Aquacultural Engineering**, n.34, p. 143-156, 2006.
- COLT, J.; WATTEN, B.; RUST, M. Modeling carbon dioxide, pH and un-ionized ammonia relationships in serial reuse systems. **Aquacultural Engineering**, n.40, p. 28-44, 2009.
- COPERTINO, M.S.; TORMENA, T.; SEELIGER, U. Biofiltering efficiency, uptake and assimilation rates of *Ulva clathrata* (Roth) J. Agardh (Chlorophyceae) cultivated in shrimp aquaculture waste water. **Journal of Applied Phycology**, n.21, p. 31-45, 2009.

- DAVIDSON, J.; SUMMERFELT, S.T.; Solids removal from a cold water recirculating system – comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. **Aquacultural Engineering**, n.33, p. 47-61, 2005.
- DIAMOND, J. **Colapso: como as Sociedades Escolhem o Fracasso ou o Sucesso**. Rio de Janeiro e São Paulo: Editora Record, 2005.
- DIDTAQ – Diretoria de Desenvolvimento da Aqüicultura. **Secretaria Especial de Aqüicultura e Pesca (SEAP)**. Presidência da República Federativa do Brasil. Disponível em: “<http://200.198.202.145/seap/didtaq/html2/index.html>”. Acessado em setembro de 2007.
- D’ORBCASTEL, E.R.; BLANCHETON, J.P.; BELAUD, A. Water quality and rainbow trout performance in a Danish Model Farm recirculating system: comparison with a flow through system. **Aquacultural Engineering**, n.40, p. 135 - 143, 2009.
- DORST, J. **Antes que a Natureza Morra**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1973.
- DUPLA, M. *et al.* Design optimization of a self-cleaning moving-bed bioreactor for seawater denitrification. **Water Research**, n.40, p. 249-258, 2006.
- ECKERT. **Fisiologia Animal: Mecanismos e Adaptações**. Rio de Janeiro: Guanabara Kogan S.A. 2000.
- EDING *et al.* Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: a review. **Aquacultural Engineering**, n.34, p. 189-200, 2006.
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FAO - Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **FAO Aquaculture Newsletter**. Nº38. Novembro de 2007. Disponível em: “<http://www.fao.org/>”. Acessado em maio de 2008.
- FOCARDI, S.; CORSI, I.; FRANCHI, E. Safety issues and sustainable development of European aquaculture: new tools for environmentally sound aquaculture. **Aquaculture International**, n.14, p. 3-17, 2005.
- FONTENOT, Q. *et al.* Effects of temperature, salinity and carbon: nitrogen ratio on sequencing batch reactor treating shrimp aquaculture wastewater. **Bioresource Technology**, n.98, p. 1700-1703, 2007.
- GOLDBURG, R.J.; ELLIOTT, M.S.; NAYLOR, M.A. **Marine Aquaculture in the United States: Environmental Impacts and Policy Options**. Pew Oceans Commission. Arlington – USA, 2001. 44p.

- GREINER, A.D.; TIMMONS, M.B. Evaluation of the nitrification rates of microbead and trickling filters in an intensive recirculating tilapia production facility. **Aquacultural Engineering**, n.18, p. 189-200, 1998.
- GUTIERREZ-WING, M.T; MALONE, R.F. Biological filters in aquaculture: trends and research directions for freshwater and marine applications. **Aquacultural Engineering**, n.34, p. 163-171, 2006.
- HUET, M. **Tratado de Piscicultura**. 3ª ed. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 1998.
- HWANG, S.C *et al.* Removal of nitrogenous substances by *Aspergillus niger* in a continuous stirred tank reactor (CSTR) system. **Aquacultural Engineering**, n.36, p. 177-183, 2007.
- ITOI, S. *et al.* Nitrite-oxidizing bacteria, *Nitrospira*, distribution in the outer layer of the biofilm from filter materials of a recirculating water system for the goldfish *Carassius auratus*. **Aquaculture**, n.264, p. 297-308, 2007.
- KAMPS, R.H.; NEILL, W.H. Aquacultural effluents: directive signals to the system downstream? **Journal of Chemical Ecology**, v. 25, n.9, p. 2041-2050, 1999.
- KLAS, S; MOZES, N.; LAHAV, O. Development of a single-sludge denitrification method for nitrate removal from RAS effluents: Lab-scale results vs. model prediction. **Aquaculture**, n.259, p. 342-353, 2006.
- KUBITZA, F. **Qualidade da Água no Cultivo de Peixes e Camarões**. Jundiaí, F. Kubitza, 2003.
- LEHNINGER. **Principles of Biochemistry**. 3ª ed. New York, 2000.
- LEKANG, O.I. **Aquaculture Engineering**. Oxford. Blackwell Publishing. 2007.
- LEKANG, O.I.; KLEPPE, H. Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media. **Aquacultural Engineering**, n.21, p. 181-199, 2000.
- LENNARD, W.A.; LEONARD, B. V. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in a Aquaponic test system. **Aquaculture International**. n. 14, p. 539-550, 2006.
- LING, J.; CHEN, S. Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters. **Aquacultural Engineering**, n.33, p. 150-162, 2005.
- LYSSENKO, C.; WHEATON, F. Impact of positive ramp short-term operating disturbances on ammonia removal by trickling and submerged-upflow biofilters for intensive recirculating aquaculture. **Aquacultural Engineering**, n.35, p. 26-37, 2006.
- MADIGAN M.T. & MARTINKO, J.M. **Brock Biology of Microorganisms**. 11ª ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2006.

- MALONE, R. F. BEECHER, L. E. Use of floating bead filters to recondition recirculating waters in warmwater aquaculture production systems. **Aquacultural Engineering**, n. 22, p. 57-73, 2000.
- MARINHO-SORIANO, E. *et al.* Nutrients' removal from aquaculture wastewater using the macroalgae *Gracilaria birdiae*. **Biomass and Bioenergy**, n. 33, p. 327-331, 2009.
- MARSH, L. *et al.* Suitability of aquaculture effluent solids mixed with cardboard as a feedstock for vermicomposting. **Bioresource Technology**, n. 96, p. 413-418, 2005.
- MARTINS, C.I.M.. *et al.* The accumulation of substances in recirculating aquaculture systems (RAS) affects embryonic and larval development in common carp *Cyprinus carpio*. **Aquaculture**. n. 291, p. 65-73, 2009.
- MASTERS, A.L. *et al.* Performance characterization of influent and effluent treatment systems: a case study at Craig Brook National Fish Hatchery. **Aquacultural Engineering**, n. 38, p. 66-76, 2008.
- MATOS, C.T. *et al.* Nitrate removal in a closed marine system through the ion exchange membrane bioreactor. **Journal of Hazardous Materials**. n. 166, p. 428-434, 2009.
- METAXA, E. *et al.* High rate algal pond treatment for water reuse in a marine fish recirculating system: Water purification and fish health. **Aquaculture**. n. 252, p. 92-101, 2006.
- METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4<sup>a</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
- MICHAUD, L. *et al.* Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters. **Aquacultural Engineering**, n.34, p. 224-233, 2006.
- NAGADOMI, H. *et al.* Treatment of aquarium water by denitrifying photosynthetic bacteria using immobilized polyvinyl alcohol beads. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, n.2, p. 189-193, 1999.
- NAYLOR, R.L. *et al.* Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**, v.405, p. 1017-1024, 2000.
- NEORI, A.; KROM, M.D.; VAN RIJN, J. Biogeochemical processes in intensive zero-effluent marine fish culture with recirculating aerobic and anaerobic filters. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v.349, p. 235-247, 2007.
- ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1983.



- PARK, J. *et al.* The growth of disc abalone, *Haliotis discus hannai* at different culture densities in a pilot-scale recirculating aquaculture system with a baffled culture tank. **Aquacultural Engineering**, n.38, p. 161-170, 2008.
- PAULY, D. *et al.* Towards sustainability in world fisheries. **Nature**, v.418, p. 689-695, 2002.
- PEDERSEN, L.F.; PEDERSEN, P.B.; SORTKJAER, O. Temperature-dependent and surface specific formaldehyde degradation in submerged biofilters. **Aquacultural Engineering**, n.36, p. 127-136, 2007.
- PIEDRAHITA, R. H. Reducing the potencial environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. **Aquaculture**. n. 226, p. 35-44, 2003.
- QUINN, G.P; KEOUGH. M.J. **Experimental Design and Data Analysis for Biologists**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- RAFIEE, G.; SAAD, C.R. Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system. **Aquaculture**. n. 244, p. 109-118, 2005.
- REYNOLDS, T.D.; RICHARDS, P.A. **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**. 2<sup>a</sup> ed. Boston: PWS Publishing Company, 1996.
- RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C.; PÁEZ-OSUNA, F. Comparative survey of the influent and effluent water quality of shrimp ponds in Mexicans farms. **Water Environment Research**. v. 76, n.1, p. 5-14, 2004.
- RUSTEN, B.; EIKEBROKK, B.; ULGENES, Y.; LINGREN, E. Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. **Aquacultural Engineering**. n. 34, p. 322-331, 2006.
- SALHI, M.; BESSONART, M.; CHEDIAK, G.; BELLAGAMBA, M.; CARNEVIA, D. Growth, feed utilization and body composition of black catfish, *Rhamdia quelen*, fry fed diets containing different protein and energy levels. **Aquaculture**. n. 231, p 435-444, 2004.
- SANDU, S. I. *et al.* Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with a plastic bead medium. **Aquacultural Engineering**, n.26, p. 41-59, 2002.
- SANDU, S.; BRAZIL, B.; HALLERMAN, E. Efficacy of a pilot-scale wastewater treatment plant upon a commercial aquaculture effluent: I Solids and carbonaceous compounds. **Aquacultural Engineering**, n.39, p. 78-90, 2008.
- SASTRY, B. N. *et al.* Nitrification performance of a bubble-washed bead filter for combined solids removal and biological filtration in a recirculating aquaculture system. **Aquacultural Engineering**, n.19, p. 105-117, 1999.

- SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. 5<sup>a</sup> ed. NY. McGraw-Hill Higher Education. 2003.
- SCHNEIDER, O. *et al.* Kinetics, design and biomass production of a bacteria reactor treating RAS effluent streams. **Aquacultural Engineering**, n.36, p. 24-35, 2007a.
- \_\_\_\_\_. HRT and nutrients affect bacterial communities grown on recirculation aquaculture system effluents. **FEMS Microbiological Ecology**., n.60, p. 207-219, 2007b.
- SEO, J. K. *et al.* Nitrification performance of nitrifiers immobilized in PVA (polyvinyl alcohol) for a marine recirculating aquarium system. **Aquacultural Engineering**, n.24, p. 181-194, 2001.
- SESUK, T.; POWTONGSOOK, S.; NOOTONG, K. Inorganic nitrogen control in a novel zero-water exchanged aquaculture system integrated with airlift-submerged fibrous nitrifying biofilters. **Bioresource Technology**, n.100, p. 2088-2094, 2009.
- SHAN, H.; OBBARD, J.P. Ammonia removal from prawn aquaculture water using immobilized nitrifying bacteria. **Applied Microbiology Biotechnology**., n.57, p. 791-798, 2001.
- SHNEL, N.; *et al.* Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. **Aquacultural Engineering**, n.26, p. 191-203, 2002.
- SILAPAKUL, S.; POWTONGSOOK, S.; PAVASANT, P. Nitrogen compounds removal in a packed bed external loop airlift bioreactor. **Korean Journal of Chemical Engineering**, n.22, p. 393-398, 2005.
- SINDILARIU, P.D. Reduction in effluent loads from flow-through facilities for trout production: a review. **Aquaculture Research**, n.38, p. 1005-1036, 2007.
- SINGER, A *et al.* A novel approach to denitrification processes in a zero-discharge recirculating system for small-scale urban aquaculture. **Aquacultural Engineering**, n.39, p. 72-77, 2008.
- SINGH, S.; EBELING, J.; WHEATON, F. Water quality trials in four recirculating aquacultural system configurations. **Aquacultural Engineering**, n.20, p. 75-84, 1999.
- STEICKE, C.; JEGATHEESAN, V.; ZENG, C. Mechanical mode floating medium filters for recirculating systems in aquaculture for higher solids retention and lower freshwater usage. **Bioresource Technology**, n.98, p. 3375-3383, 2007.
- SUMMERFELT, S.T.; VINCI, B.J.; PIEDRAHITA, R.H. Oxygen and carbon dioxide control in water reuse systems. **Aquacultural Engineering**, n.22, p. 87-108, 2000.

- SUMMERFELT, S.T. *et al.* Process requirements for achieving full-flow disinfection of recirculating water using ozonation and UV radiation. **Aquacultural Engineering**, n.40, p. 17-27, 2009.
- SUZUKI, Y. *et al.* Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eels: towards zero emission. **Aquacultural Engineering**, n.29, p. 165-182, 2003.
- TACON, A. G. J.; FOSTER, I. P. Aquafeeds and the environment: Policy implications. **Aquaculture**, n. 226, p. 181-189, 2003.
- TAL, Y. *et al.* Characterization of the microbial community and nitrogen transformation processes associated with moving bed bioreactors in a closed recirculated mariculture system. **Aquaculture**, n.215, p. 187-202, 2003.
- \_\_\_\_\_ Environmentally sustainable land-based marine aquaculture. **Aquaculture**, n.286, p. 28-35, 2009.
- TILLEY, D.R. *et al.* Constructed wetlands as recirculation filters in large-scale shrimp aquaculture. **Aquacultural Engineering**, n.26, p. 81-109, 2002
- TIMMONS, M.B. *et al.* **Recirculating Aquaculture Systems**. 2 ed. Ithaca, NY – EUA: Editora Cayuga Aqua Ventures, 2002.
- TIMMONS, M.B.; HOLDER, J.L.; EBELING, J.M. Application of microbead biological filters. **Aquacultural Engineering**, n. 34, p. 332-343, 2006.
- TOKUYAMA, T. *et al.* *Nitrosomonas communis* Strain YNSRA, an ammonia-oxidizing bacterium, isolated from the reed rhizoplane in an aquaponics plant. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, n.4, p. 309-312, 2004.
- VALENTI, W.C. *et al.* (Ed.) **Aqüicultura no Brasil: Bases para um Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Ministério da Ciência e Tecnologia. 2000.
- VAN RIJN, J. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture. **Aquaculture**, n. 139, p. 181-201, 1996.
- VAN RIJN, J.P.; TAL, Y.; SCHREIER, H.J. Denitrification in recirculating systems: theory and applications. **Aquacultural Engineering**, n. 34, p. 364-376, 2006.
- VIADERO Jr., R.C. Effluent and production impacts of flow-through aquaculture operations in West Virginia. **Aquacultural Engineering**, n.33, p. 258-270, 2005
- WANG, H.; LIU, C. F.; QIN, C. X.; CAO, S. Q.; DING, J. Using a macroalgae *Ulva pertusa* in a recirculating system for production of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. **Aquacultural Engineering**, n. 36, p. 217-224, 2007.

- WIK, T.E.I.; LINDÉN, B.T.; WRAMNER, P.I. Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modeling for recirculating aquaculture systems. **Aquaculture**, n. 287, p. 361-370, 2009.
- ZACHRITZ II, W.H. *et al.* Evaluation of submerged surface flow (SSF) constructed wetlands for recirculating tilapia production systems. **Aquacultural Engineering**, n.39, p. 16-23, 2008.
- ZHU, S.; CHEN, S. The impact of temperature on nitrification rate in fixed film biofilters. **Aquacultural Engineering**, n.26, p. 221-237, 2002.
- ZHU, S.; CHEN, S. Impacts of Reynolds number on nitrification biofilm kinetics. **Aquacultural Engineering**, n.24, p. 214-229, 2001.

## 8 – ANEXOS

A seguir são apresentados os dados de qualidade da água e desempenho zootécnico. As médias contrastadas com ANOVA para os dados de qualidade da água referem-se às coletas após a 3ª semana (exceto para temperatura), momento em que o sistema de recirculação foi ligado, possibilitando o levantamento e a comparação dos seis pontos amostrais. A homocedasticidade para alguns conjuntos de dados ( $\alpha=0,05$ ) foi alcançada após transformações logarítmicas ou potenciais (QUINN & KEOUGH, 2007).

**Tabela 8.1** – Valores de temperatura nos sistemas sem recirculação e com recirculação

<b>Temperatura (°C)</b>			
<b>Número da Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Pontos de Coleta</b>	
		<b>SR</b>	<b>CR</b>
1	03/06/2008	25,0	25,0
2	10/06/2008	24,0	24,0
3	17/06/2008	25,0	25,0
4	24/06/2008	26,5	27,0
5	01/07/2008	26,5	27,5
6	08/07/2008	25,0	27,0
7	15/07/2008	25,0	24,0
8	22/07/2008	27,0	27,0
9	29/07/2008	26,0	26,0
10	05/08/2008	27,0	24,0
11	12/08/2008	26,0	25,0
12	19/08/2008	26,0	26,5
13	26/08/2008	26,5	23,0
14	02/09/2008	27,0	27,0
15	09/09/2008	27,0	26,0
16	16/09/2008	27,0	24,0
17	23/09/2008	27,0	27,0
18	30/09/2008	24,5	26,5
19	07/10/2008	22,0	24,5
20	14/10/2008	26,0	26,0
21	21/10/2008	26,0	26,5
22	28/10/2008	26,0	28,0
23	04/11/2008	26,0	25,5
24	11/11/2008	26,0	27,5
25	18/11/2008	27,0	25,0

Tabela 8.2 – Valores de pH nos pontos de coleta

pH							
Número da Coleta	Data	Pontos de Coleta					
		SR	CR	BI	PA	PE	RL
1	03/06/2008	6,80	6,80				
2	10/06/2008	7,12	7,18				
3	17/06/2008	7,33	6,82				
4	24/06/2008	7,15	7,10	7,08	7,22	6,88	7,18
5	01/07/2008	6,58	5,33	5,25	5,22	5,55	5,13
6	08/07/2008	6,18	6,46	6,50	6,43	6,42	6,24
7	15/07/2008	6,59	5,88	5,93	6,40	6,38	6,01
8	22/07/2008	6,67	6,70	6,54	5,48	6,85	6,57
9	29/07/2008	7,18	6,88	6,82	6,88	6,93	6,76
10	05/08/2008	7,64	7,34	7,43	7,39	7,38	7,19
11	12/08/2008	7,18	7,17	7,22	7,46	7,50	7,16
12	19/08/2008	6,12	5,41	5,40	5,44	5,28	5,29
13	26/08/2008	6,64	6,33	6,26	6,24	6,38	6,26
14	02/09/2008	6,89	6,96	6,84	6,98	6,91	6,82
15	09/09/2008	6,25	7,04	6,95	6,95	6,90	6,80
16	16/09/2008	6,16	6,66	6,68	6,67	6,77	6,65
17	23/09/2008	5,76	6,30	6,42	6,35	6,40	6,38
18	30/09/2008	6,71	6,58	7,03	6,51	6,61	6,61
19	07/10/2008	6,86	6,94	6,84	6,79	6,82	6,81
20	14/10/2008	6,61	7,06	7,20	7,37	7,40	7,45
21	21/10/2008	6,45	6,75	6,81	5,14	6,79	6,63
22	28/10/2008	6,04	6,31	6,13	6,34	6,65	6,23
23	04/11/2008	5,74	5,64	6,17	5,68	5,55	6,44
24	11/11/2008	5,65	6,27	6,24	6,14	6,14	6,19
25	18/11/2008	6,05	6,34	6,24	6,33	6,23	6,16

**Tabela 8.3** – Valores de alcalinidade nos pontos de coleta

<b>Alcalinidade (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>							
<b>Número da Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Pontos de Coleta</b>					
		<b>SR</b>	<b>CR</b>	<b>BI</b>	<b>PA</b>	<b>PE</b>	<b>RL</b>
1	03/06/2008	21,7	21,7				
2	10/06/2008	7,4	7,6				
3	17/06/2008	50,0	48,6				
4	24/06/2008	41,3	40,9	38,7	40,8	40,2	40,6
5	01/07/2008	12,9	3,2	2,6	2,4	2,4	2,0
6	08/07/2008	12,5	8,6	9,0	8,4	8,4	8,3
7	15/07/2008	10,3	6,6	6,8	6,9	7,3	7,2
8	22/07/2008	26,3	14,3	14,8	2,7	15,3	14,1
9	29/07/2008	37,2	29,1	28,2	29,0	29,1	28,8
10	05/08/2008	55,5	45,6	45,5	46,4	46,1	53,8
11	12/08/2008	41,6	48,4	49,5	47,5	48,8	51,0
12	19/08/2008	8,1	2,5	2,6	2,6	2,2	3,2
13	26/08/2008	19,3	11,6	11,3	10,3	10,4	12,7
14	02/09/2008	7,0	7,0	6,9	7,0	7,0	6,9
15	09/09/2008	12,4	35,5	34,5	34,6	34,6	40,4
16	16/09/2008	13,4	28,7	30,4	29,5	30,4	33,1
17	23/09/2008	6,2	16,3	15,9	17,3	16,8	19,6
18	30/09/2008	43,0	44,1	46,3	45,6	46,7	68,0
19	07/10/2008	51,0	45,7	44,9	43,5	44,1	52,9
20	14/10/2008	40,7	59,5	58,6	59,5	58,7	66,7
21	21/10/2008	10,8	54,2	56,8	5,5	55,3	74,3
22	28/10/2008	15,3	22,5	20,6	20,9	21,1	40,5
23	04/11/2008	8,4	7,3	22,0	6,6	7,8	44,8
24	11/11/2008	5,3	15,2	16,1	14,0	14,9	27,8
25	18/11/2008	22,2	21,4	21,3	21,2	21,0	32,2

**Tabela 8.4** – Valores de turbidez nos pontos de coleta

<b>Turbidez (NTU)</b>							
<b>Número da Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Pontos de Coleta</b>					
		<b>SR</b>	<b>CR</b>	<b>BI</b>	<b>PA</b>	<b>PE</b>	<b>RL</b>
1	03/06/2008	0,8	1,4				
2	10/06/2008	4,4	5,5				
3	17/06/2008	3,0	2,0				
4	24/06/2008	4,0	1,0	0,8	0,8	0,8	1,0
5	01/07/2008	2,1	1,4	1,3	1,3	1,3	1,6
6	08/07/2008	5,0	1,9	1,9	1,9	1,8	2,2
7	15/07/2008	3,8	0,6	0,7	0,7	0,7	2,0
8	22/07/2008	4,7	0,9	1,1	1,3	1,2	1,4
9	29/07/2008	6,1	2,4	2,0	2,0	2,0	2,6
10	05/08/2008	4,6	1,7	2,2	1,6	1,7	20,0
11	12/08/2008	7,0	1,8	2,6	1,8	1,6	14,0
12	19/08/2008	13,0	1,7	2,2	1,5	1,4	20,0
13	26/08/2008	20,0	2,4	1,4	1,3	1,6	12,0
14	02/09/2008	14,0	3,1	3,1	3,1	3,4	21,0
15	09/09/2008	18,0	7,0	8,4	8,0	7,2	32,0
16	16/09/2008	22,5	7,6	7,2	7,2	7,2	33,0
17	23/09/2008	30,0	4,2	4,0	3,8	4,0	22,0
18	30/09/2008	17,0	8,2	14,0	12,0	15,0	42,0
19	07/10/2008	13,0	3,2	3,0	3,2	2,6	30,0
20	14/10/2008	17,0	5,5	8,1	5,3	6,2	45,0
21	21/10/2008	7,2	34,0	39,0	32,0	32,0	45,0
22	28/10/2008	15,0	22,0	25,0	23,0	26,0	35,0
23	04/11/2008	9,6	33,0	43,0	31,0	32,0	39,0
24	11/11/2008	12,0	23,0	28,0	21,0	24,0	50,0
25	18/11/2008	6,8	26,0	28,0	24,5	25,5	54,0



**Tabela 8.5** – Valores de condutividade nos pontos de coleta

<b>Condutividade (<math>\mu</math>MHOs)</b>							
<b>Número da Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Pontos de Coleta</b>					
		<b>SR</b>	<b>CR</b>	<b>BI</b>	<b>PA</b>	<b>PE</b>	<b>RL</b>
1	03/06/2008	130	130				
2	10/06/2008	85	80				
3	17/06/2008	195	200				
4	24/06/2008	185	195	195	195	190	190
5	01/07/2008	185	175	180	185	185	175
6	08/07/2008	185	205	210	215	215	215
7	15/07/2008	225	225	260	255	255	260
8	22/07/2008	230	332	330	325	325	320
9	29/07/2008	235	365	370	365	360	360
10	05/08/2008	280	440	445	450	450	455
11	12/08/2008	250	485	480	490	480	490
12	19/08/2008	222	550	550	550	550	550
13	26/08/2008	235	550	550	550	550	550
14	02/09/2008	268	650	650	630	610	650
15	09/09/2008	229	590	600	600	590	590
16	16/09/2008	220	600	600	600	600	600
17	23/09/2008	225	650	650	650	650	650
18	30/09/2008	255	600	600	600	600	610
19	07/10/2008	240	550	580	550	570	580
20	14/10/2008	210	560	560	560	560	550
21	21/10/2008	190	560	550	550	550	550
22	28/10/2008	196	270	275	272	272	271
23	04/11/2008	182	288	290	290	290	285
24	11/11/2008	195	340	343	341	340	340
25	18/11/2008	190	348	345	350	350	350

Tabela 8.6 – Valores de sólidos totais nos pontos de coleta

<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>							
<b>Número da Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Pontos de Coleta</b>					
		<b>SR</b>	<b>CR</b>	<b>BI</b>	<b>PA</b>	<b>PE</b>	<b>RL</b>
1	03/06/2008	140	0				
2	10/06/2008	120	140				
3	17/06/2008	70	0				
4	24/06/2008	70	0	0	0	0	0
5	01/07/2008	194	46	146	126	156	150
6	08/07/2008	90	102	134	164	92	122
7	15/07/2008	58	162	350	200	266	232
8	22/07/2008	198	284	278	280	324	292
9	29/07/2008	316	230	374	364	296	374
10	05/08/2008	168	362	464	352	350	190
11	12/08/2008	308	474	530	592	540	488
12	19/08/2008	118	376	506	460	526	672
13	26/08/2008	354	552	524	550	568	606
14	02/09/2008	356	734	680	618	676	808
15	09/09/2008	364	596	784	664	626	840
16	16/09/2008	352	590	714	626	682	930
17	23/09/2008	392	638	700	664	724	992
18	30/09/2008	416	580	572	514	532	942
19	07/10/2008	474	458	504	548	532	752
20	14/10/2008	144	398	438	420	468	672
21	21/10/2008	240	820	420	620	880	1240
22	28/10/2008	160	60	400	160	200	700
23	04/11/2008	440	840	1000	680	740	1220
24	11/11/2008	160	360	160	400	440	640
25	18/11/2008	0	160	320	360	320	640

**Tabela 8.7** – Valores de sólidos suspensos nos pontos de coleta

<b>Sólidos Suspensos (mg/L)</b>							
<b>Número da Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Pontos de Coleta</b>					
		<b>SR</b>	<b>CR</b>	<b>BI</b>	<b>PA</b>	<b>PE</b>	<b>RL</b>
1	03/06/2008	140	0				
2	10/06/2008	20	20				
3	17/06/2008	0	0				
4	24/06/2008	50	3	0	0	0	1
5	01/07/2008	15	2	4	5	4	10
6	08/07/2008	23	6	2	7	7	9
7	15/07/2008	25	0	1	0	2	17
8	22/07/2008	42	2	5	4	7	11
9	29/07/2008	44	12	6	5	5	16
10	05/08/2008	27	7	11	5	6	121
11	12/08/2008	37	5	12	7	7	101
12	19/08/2008	55	3	11	3	4	162
13	26/08/2008	64	5	8	6	5	89
14	02/09/2008	73	11	10	0	10	120
15	09/09/2008	80	19	18	15	14	243
16	16/09/2008	89	8	13	11	9	135
17	23/09/2008	117	5	13	9	14	148
18	30/09/2008	124	30	52	38	66	461
19	07/10/2008	77	12	22	14	12	179
20	14/10/2008	77	15	44	10	15	363
21	21/10/2008	0	120	220	80	0	360
22	28/10/2008	120	100	60	20	80	400
23	04/11/2008	140	100	200	100	120	400
24	11/11/2008	40	100	80	80	80	540
25	18/11/2008	0	20	80	80	80	400

**Tabela 8.8** – Valores de sólidos dissolvidos nos pontos de coleta

<b>Sólidos Dissolvidos (mg/L)</b>							
<b>Número da Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Pontos de Coleta</b>					
		<b>SR</b>	<b>CR</b>	<b>BI</b>	<b>PA</b>	<b>PE</b>	<b>RL</b>
1	03/06/2008	0	0				
2	10/06/2008	100	120				
3	17/06/2008	70	0				
4	24/06/2008	20	0	0	0	0	0
5	01/07/2008	180	45	142	121	153	141
6	08/07/2008	68	97	133	158	85	114
7	15/07/2008	34	162	349	200	265	215
8	22/07/2008	157	282	273	276	318	282
9	29/07/2008	273	219	368	360	292	358
10	05/08/2008	142	355	453	348	344	70
11	12/08/2008	272	470	519	586	533	387
12	19/08/2008	63	374	495	457	522	510
13	26/08/2008	290	547	516	544	563	517
14	02/09/2008	283	724	670	618	666	688
15	09/09/2008	284	577	766	649	612	597
16	16/09/2008	263	582	701	615	673	795
17	23/09/2008	275	633	687	655	710	844
18	30/09/2008	292	550	520	476	466	481
19	07/10/2008	397	446	482	534	520	573
20	14/10/2008	67	383	394	410	453	309
21	21/10/2008	240	700	200	540	880	880
22	28/10/2008	40	0	340	140	120	300
23	04/11/2008	300	740	800	580	620	820
24	11/11/2008	120	260	80	320	360	100
25	18/11/2008	0	140	240	280	240	240

Tabela 8.9 – Valores de oxigênio dissolvido nos pontos de coleta

Oxigênio Dissolvido (mg/L)							
Número da Coleta	Data	Pontos de Coleta					
		SR	CR	BI	PA	PE	RL
1	03/06/2008	7,0	6,5				
2	10/06/2008	7,6	7,8				
3	17/06/2008	7,9	7,6				
4	24/06/2008	8,5	8,8	8,1	8,4	8,0	7,4
5	01/07/2008	6,9	7,5	7,3	8,6	7,3	7,1
6	08/07/2008	8,0	7,2	8,0	8,8	8,2	8,2
7	15/07/2008	6,5	6,4	5,5	6,9	6,7	6,5
8	22/07/2008	6,5	7,7	7,3	7,4	7,9	7,6
9	29/07/2008	6,7	7,1	6,1	7,2	7,7	6,6
10	05/08/2008	8,6	8,6	6,9	8,8	8,2	5,9
11	12/08/2008	7,2	6,2	6,8	7,3	7,7	6,5
12	19/08/2008	6,2	6,6	6,6	7,2	7,5	5,9
13	26/08/2008	6,1	8,0	7,6	9,0	7,7	6,2
14	02/09/2008	7,9	6,8	7,0	7,6	7,5	5,0
15	09/09/2008	5,5	5,7	7,0	7,3	7,6	4,4
16	16/09/2008	5,8	7,3	6,1	8,9	8,5	7,2
17	23/09/2008	4,3	6,2	5,0	7,6	7,1	6,4
18	30/09/2008	4,9	5,0	5,0	6,2	7,1	3,7
19	07/10/2008	5,0	5,6	6,0	7,3	7,7	4,7
20	14/10/2008	4,3	4,1	4,0	6,7	6,8	3,8
21	21/10/2008	4,6	3,4	4,3	5,3	5,3	3,5
22	28/10/2008	4,8	4,8	5,5	7,1	7,8	6,2
23	04/11/2008	4,9	5,8	4,6	6,8	7,0	2,7
24	11/11/2008	4,7	3,7	4,1	6,5	6,9	3,5
25	18/11/2008	5,4	5,9	5,1	7,0	7,7	5,4

**Tabela 8.10** – Valores de nitrogênio amoniacal total nos pontos de coleta

<b>Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L)</b>							
<b>Número da Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Pontos de Coleta</b>					
		<b>SR</b>	<b>CR</b>	<b>BI</b>	<b>PA</b>	<b>PE</b>	<b>RL</b>
1	03/06/2008	0,1	0,2				
2	10/06/2008	2,5	2,9				
3	17/06/2008	7,7	7,5				
4	24/06/2008	6,8	6,7	7,2	6,6	6,8	7,8
5	01/07/2008	3,4	3,2	2,4	2,6	2,3	2,7
6	08/07/2008	2,7	2,6	1,6	2,4	1,8	2,5
7	15/07/2008	0,2	0,7	0,7	0,4	0,3	1,2
8	22/07/2008	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
9	29/07/2008	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
10	05/08/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	12/08/2008	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0
12	19/08/2008	3,7	0,5	0,2	0,7	0,8	0,2
13	26/08/2008	1,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
14	02/09/2008	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
15	09/09/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	16/09/2008	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	23/09/2008	1,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
18	30/09/2008	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	07/10/2008	4,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
20	14/10/2008	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	21/10/2008	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	28/10/2008	3,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
23	04/11/2008	2,2	0,7	1,2	0,2	0,6	1,3
24	11/11/2008	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	18/11/2008	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 8.11 – Valores de nitrito nos pontos de coleta

Nitrito (mg/L)							
Número da Coleta	Data	Pontos de Coleta					
		SR	CR	BI	PA	PE	RL
1	03/06/2008	0,0	0,0				
2	10/06/2008	0,0	0,0				
3	17/06/2008	0,0	0,0				
4	24/06/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	01/07/2008	6,7	6,8	6,3	3,4	5,6	3,6
6	08/07/2008	6,0	7,5	7,4	7,6	7,5	7,5
7	15/07/2008	9,6	9,5	9,7	7,4	8,8	9,7
8	22/07/2008	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	29/07/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	05/08/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	12/08/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	19/08/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	26/08/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	02/09/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	09/09/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	16/09/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	23/09/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	30/09/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	07/10/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	14/10/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	21/10/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	28/10/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	04/11/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	11/11/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	18/11/2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 8.12 – Valores de nitrato nos pontos de coleta

Nitrato (mg/L)							
Número da Coleta	Data	Pontos de Coleta					
		SR	CR	BI	PA	PE	RL
1	03/06/2008	0,9	0,8				
2	10/06/2008	0,2	0,3				
3	17/06/2008	0,7	0,5				
4	24/06/2008	0,7	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7
5	01/07/2008	1,2	4,3	4,7	4,0	4,5	3,2
6	08/07/2008	1,2	1,8	2,0	1,8	1,9	1,9
7	15/07/2008	2,5	6,5	6,7	6,5	7,9	6,9
8	22/07/2008	3,9	10,8	10,7	10,7	10,7	10,7
9	29/07/2008	8,1	17,9	18,2	17,9	18,5	18,7
10	05/08/2008	8,9	16,4	16,3	16,4	16,2	16,2
11	12/08/2008	7,8	17,6	16,8	17,3	17,4	17,1
12	19/08/2008	8,2	18,3	18,8	19,5	19,0	19,1
13	26/08/2008	8,1	19,5	19,6	20,1	18,3	19,7
14	02/09/2008	8,7	28,4	27,5	27,8	29,3	27,6
15	09/09/2008	7,6	28,6	29,0	27,8	29,8	29,0
16	16/09/2008	6,8	28,2	29,7	28,3	29,2	30,1
17	23/09/2008	9,3	31,6	32,0	31,8	31,2	31,4
18	30/09/2008	21,4	39,5	39,0	39,1	39,7	40,0
19	07/10/2008	7,3	28,4	28,1	28,8	28,7	27,5
20	14/10/2008	3,8	27,1	27,6	26,2	27,1	26,3
21	21/10/2008	5,2	26,3	26,2	26,3	25,9	26,1
22	28/10/2008	4,4	10,7	10,7	9,7	9,4	9,9
23	04/11/2008	4,8	13,7	13,4	13,3	12,8	9,6
24	11/11/2008	6,0	17,9	18,6	17,1	17,2	16,8
25	18/11/2008	4,9	18,0	17,9	18,0	17,8	17,4



Tabela 8.13 – Valores de nitrogênio orgânico nos pontos de coleta

Nitrogênio Orgânico (mg/L)							
Número da Coleta	Data	Pontos de Coleta					
		SR	CR	BI	PA	PE	RL
1	03/06/2008	1,0	0,8				
2	10/06/2008	0,0	3,5				
3	17/06/2008	2,4	2,3				
4	24/06/2008	0,0	1,5	0,6	0,9	1,8	0,3
5	01/07/2008	0,2	0,0	0,6	0,0	1,1	0,9
6	08/07/2008	0,4	0,0	0,8	0,5	0,5	0,1
7	15/07/2008	0,3	0,0	1,6	0,6	0,2	0,5
8	22/07/2008	1,6	0,1	0,9	1,0	1,3	1,2
9	29/07/2008	1,0	0,8	0,0	0,4	0,6	0,0
10	05/08/2008	1,9	0,7	1,4	0,9	0,5	1,6
11	12/08/2008	2,0	0,5	0,8	0,3	1,0	1,6
12	19/08/2008	3,3	1,7	1,7	1,7	2,4	3,7
13	26/08/2008	4,2	1,5	0,7	0,9	1,2	2,4
14	02/09/2008	2,8	0,6	1,5	1,4	1,6	2,3
15	09/09/2008	4,9	1,6	2,1	2,8	2,5	7,1
16	16/09/2008	7,1	3,2	2,7	3,4	3,2	4,1
17	23/09/2008	4,7	3,2	2,3	2,6	2,5	4,6
18	30/09/2008	10,5	3,3	2,6	2,9	2,9	13,7
19	07/10/2008	5,3	2,1	2,4	2,1	2,0	5,5
20	14/10/2008	2,7	5,2	2,7	2,0	3,1	13,2
21	21/10/2008	2,9	18,5	8,5	6,5	4,1	23,9
22	28/10/2008	3,8	5,4	5,9	4,4	5,4	31,9
23	04/11/2008	3,5	8,0	14,3	7,1	7,9	34,7
24	11/11/2008	2,4	4,5	3,5	3,1	4,4	29,2
25	18/11/2008	9,3	5,4	7,2	6,0	6,1	21,9

Tabela 8.14 – Valores de fosfato nos pontos de coleta

Fosfato (mg/L)							
Número da Coleta	Data	Pontos de Coleta					
		SR	CR	BI	PA	PE	RL
1	03/06/2008	0,0	0,0				
2	10/06/2008	0,6	0,4				
3	17/06/2008	1,2	1,0				
4	24/06/2008	0,8	0,3	0,6	0,5	0,5	0,6
5	01/07/2008	1,3	1,0	0,9	0,6	0,9	0,6
6	08/07/2008	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0
7	15/07/2008	1,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
8	22/07/2008	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
9	29/07/2008	0,4	1,1	1,2	1,1	1,3	1,3
10	05/08/2008	0,3	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9
11	12/08/2008	0,4	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
12	19/08/2008	0,8	2,2	2,3	2,4	2,3	2,3
13	26/08/2008	0,6	2,9	2,6	3,2	2,2	2,8
14	02/09/2008	0,7	2,6	2,5	2,5	3,0	2,5
15	09/09/2008	0,7	2,0	2,0	1,9	2,0	1,9
16	16/09/2008	0,7	2,0	2,2	2,1	2,2	2,4
17	23/09/2008	1,3	3,7	3,7	3,5	3,4	3,5
18	30/09/2008	2,0	6,4	6,4	5,9	5,9	6,3
19	07/10/2008	0,2	1,9	2,3	2,0	1,9	2,2
20	14/10/2008	0,3	2,3	2,3	2,1	2,3	2,2
21	21/10/2008	0,9	3,0	2,9	2,9	2,8	2,8
22	28/10/2008	1,1	1,2	0,9	1,1	0,7	1,1
23	04/11/2008	0,7	3,2	3,4	3,3	3,0	5,0
24	11/11/2008	0,8	5,3	5,2	5,1	5,1	5,3
25	18/11/2008	0,8	5,5	5,6	5,5	5,4	5,5

**Tabela 8.15** – Valores de carbono orgânico total nos pontos de coleta

<b>Carbono Orgânico Total (mg/L)</b>							
<b>Número da Coleta</b>	<b>Data</b>	<b>Pontos de Coleta</b>					
		<b>SR</b>	<b>CR</b>	<b>BI</b>	<b>PA</b>	<b>PE</b>	<b>RL</b>
1	03/06/2008	5,0	5,1				
2	10/06/2008	7,5	6,9				
3	17/06/2008	11,5	13,3				
4	24/06/2008	10,4	8,9	9,4	9,4	8,8	10,5
5	01/07/2008	9,2	9,4	9,2	9,4	9,1	9,3
6	08/07/2008	10,2	10,6	10,8	10,3	10,6	11,1
7	15/07/2008	7,9	8,6	7,9	7,9	8,3	8,5
8	22/07/2008	10,4	9,7	10,4	10,0	9,7	10,6
9	29/07/2008	11,1	12,1	11,6	11,3	11,8	13,8
10	05/08/2008	10,4	13,4	12,7	13,0	12,8	14,0
11	12/08/2008	11,7	16,1	16,1	16,0	16,5	16,8
12	19/08/2008	12,4	15,5	15,7	15,5	15,4	17,1
13	26/08/2008	12,4	15,5	14,9	15,6	15,6	16,5
14	02/09/2008	13,9	19,3	18,5	19,1	18,6	22,5
15	09/09/2008	15,2	28,2	29,9	28,6	28,5	30,2
16	16/09/2008	18,6	30,3	28,5	30,4	29,4	32,7
17	23/09/2008	23,4	26,1	26,5	25,8	25,6	28,9
18	30/09/2008	15,3	25,6	25,7	25,2	25,5	26,6
19	07/10/2008	19,9	23,6	24,0	23,0	22,8	24,7
20	14/10/2008	12,7	32,5	30,9	30,3	29,8	32,7
21	21/10/2008	15,2	42,9	43,7	42,1	41,7	47,5
22	28/10/2008	14,1	26,1	25,2	26,3	25,8	19,5
23	04/11/2008	10,3	21,3	23,3	20,2	20,0	28,2
24	11/11/2008	12,7	32,2	32,9	31,9	31,7	31,4
25	18/11/2008	13,2	40,3	40,0	40,3	39,6	41,9

Tabela 8.16 – Valores de cloreto nos pontos de coleta

Cloreto (mg/L)							
Número da Coleta	Data	Pontos de Coleta					
		SR	CR	BI	PA	PE	RL
1	03/06/2008	13,9	12,9				
2	10/06/2008	19,0	21,2				
3	17/06/2008	18,1	17,5				
4	24/06/2008	17,6	19,1	19,2	19,4	19,1	19,2
5	01/07/2008	15,0	16,8	16,5	12,8	15,7	11,7
6	08/07/2008	12,8	12,2	12,6	12,4	12,3	12,5
7	15/07/2008	27,4	20,2	20,4	17,3	21,1	20,9
8	22/07/2008	13,2	22,9	23,0	22,7	22,6	22,6
9	29/07/2008	17,3	22,1	23,1	22,3	24,1	24,4
10	05/08/2008	18,9	23,3	23,2	23,2	22,9	23,2
11	12/08/2008	20,4	25,4	22,9	23,8	26,9	24,1
12	19/08/2008	18,2	23,0	25,1	27,5	25,3	25,7
13	26/08/2008	21,2	27,6	27,8	29,6	22,8	29,3
14	02/09/2008	18,3	24,6	23,3	23,9	26,8	23,0
15	09/09/2008	16,1	24,8	25,3	22,8	25,4	25,1
16	16/09/2008	20,1	30,8	34,4	33,4	34,3	34,9
17	23/09/2008	20,6	37,3	37,4	36,9	36,0	36,8
18	30/09/2008	40,1	75,8	77,5	73,0	77,0	81,9
19	07/10/2008	52,9	70,7	31,7	67,7	68,5	31,8
20	14/10/2008	18,0	32,9	34,2	35,4	32,4	71,1
21	21/10/2008	21,3	39,1	38,6	38,7	41,0	40,1
22	28/10/2008	16,0	20,3	18,7	19,5	18,5	18,3
23	04/11/2008	21,5	25,1	27,1	19,0	28,3	26,6
24	11/11/2008	14,2	23,4	24,0	19,9	19,3	19,8
25	18/11/2008	14,3	20,6	24,5	28,6	24,4	20,1

Tabela 8.17 – Valores de sulfato nos pontos de coleta

Sulfato (mg/L)							
Número da Coleta	Data	Pontos de Coleta					
		SR	CR	BI	PA	PE	RL
1	03/06/2008	21,2	18,9				
2	10/06/2008	33,0	33,2				
3	17/06/2008	34,3	31,2				
4	24/06/2008	30,3	31,0	31,4	31,3	31,7	31,6
5	01/07/2008	33,1	36,0	34,2	28,1	34,2	27,1
6	08/07/2008	26,7	27,2	27,1	27,5	27,1	27,6
7	15/07/2008	33,4	33,6	33,3	28,8	35,0	33,7
8	22/07/2008	25,7	29,7	28,1	33,2	29,7	30,2
9	29/07/2008	28,9	40,7	36,7	37,4	37,5	44,2
10	05/08/2008	29,7	39,1	38,4	36,9	38,2	39,5
11	12/08/2008	27,7	44,6	39,3	41,3	41,9	41,5
12	19/08/2008	15,4	19,2	23,1	23,0	18,7	22,0
13	26/08/2008	31,9	51,0	53,1	58,0	43,3	55,3
14	02/09/2008	29,9	44,8	41,3	42,2	48,3	40,4
15	09/09/2008	22,3	40,0	41,5	37,5	41,8	40,7
16	16/09/2008	26,5	37,8	43,1	38,1	40,6	43,0
17	23/09/2008	28,6	50,0	50,8	49,5	48,2	49,1
18	30/09/2008	59,1	108,4	106,9	103,8	103,1	107,9
19	07/10/2008	93,9	111,7	48,4	112,2	111,8	48,9
20	14/10/2008	28,8	49,5	52,2	46,8	51,4	50,3
21	21/10/2008	30,4	52,7	50,3	52,2	49,3	50,9
22	28/10/2008	23,8	23,8	27,9	23,8	23,6	24,4
23	04/11/2008	24,0	29,2	29,9	28,8	28,5	30,3
24	11/11/2008	24,2	34,1	35,4	32,7	32,7	33,6
25	18/11/2008	24,8	36,6	36,6	37,3	36,6	36,3

Tabela 8.18 – Valores de fluoreto nos pontos de coleta

Fluoreto (mg/L)							
Número da Coleta	Data	Pontos de Coleta					
		SR	CR	BI	PA	PE	RL
1	03/06/2008	0,69	0,65				
2	10/06/2008	0,68	0,85				
3	17/06/2008	0,65	0,67				
4	24/06/2008	0,65	0,63	0,69	0,67	0,66	0,65
5	01/07/2008	0,62	0,77	0,61	0,57	0,67	0,58
6	08/07/2008	0,61	0,58	0,62	0,58	0,58	0,59
7	15/07/2008	0,82	0,67	0,66	0,58	0,69	0,75
8	22/07/2008	0,58	0,53	0,59	0,58	0,55	0,52
9	29/07/2008	0,61	0,54	0,57	0,57	0,63	0,61
10	05/08/2008	0,58	0,46	0,51	0,47	0,46	0,49
11	12/08/2008	0,59	0,46	0,45	0,43	0,65	0,44
12	19/08/2008	0,61	0,36	0,42	0,47	0,44	0,50
13	26/08/2008	0,50	0,35	0,38	0,39	0,36	0,39
14	02/09/2008	0,42	0,29	0,29	0,00	0,26	0,00
15	09/09/2008	0,37	0,00	0,00	0,00	0,19	0,21
16	16/09/2008	0,41	0,00	0,00	0,45	0,34	0,00
17	23/09/2008	0,96	0,15	0,00	0,00	0,00	0,17
18	30/09/2008	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	1,88
19	07/10/2008	2,47	2,40	0,10	1,88	2,03	0,16
20	14/10/2008	0,92	0,00	0,00	0,52	0,00	3,60
21	21/10/2008	0,52	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00
22	28/10/2008	0,51	0,52	0,28	0,42	0,51	0,00
23	04/11/2008	2,04	1,91	2,11	0,70	2,43	1,81
24	11/11/2008	0,44	0,69	0,94	0,46	0,34	0,36
25	18/11/2008	0,45	0,14	0,63	0,79	0,60	0,11

**Tabela 8.19** – Uso de água nos dois sistemas comparados

<b>Uso de água (Litros )</b>					
<b>Número da semana</b>	<b>Data</b>	<b>Uso de água no sistema sem recirculação</b>	<b>Trocas e perdas de água no sistema com recirculação</b>	<b>Uso de água para retrolavagens</b>	<b>Água total usada para o sistema com recirculação</b>
1	03/06/2008	460	460	0	460
2	10/06/2008	1400	1400	0	1400
3	17/06/2008	1400	1400	0	1400
4	24/06/2008	1400	1400	0	1400
5	01/07/2008	1400	740	120	860
6	08/07/2008	1400	500	140	640
7	15/07/2008	1400	200	140	340
8	22/07/2008	1400	280	160	440
9	29/07/2008	1400	300	160	460
10	05/08/2008	1400	260	140	400
11	12/08/2008	1400	130	140	270
12	19/08/2008	1400	410	140	550
13	26/08/2008	1500	190	140	330
14	02/09/2008	1400	140	140	280
15	09/09/2008	1400	160	160	320
16	16/09/2008	1400	120	140	260
17	23/09/2008	1400	240	200	440
18	30/09/2008	1400	320	160	480
19	07/10/2008	2100	130	140	270
20	14/10/2008	2100	110	160	270
21	21/10/2008	2100	720	200	920
22	28/10/2008	2100	240	160	400
23	04/11/2008	2100	210	220	430
24	11/11/2008	2100	100	225	325

**Tabela 8.20** – Valores de biomassa dos peixes

<b>Biomassa de tilápias adultas (gramas)</b>		
	<b>CR</b>	<b>SR</b>
<b>Biomassa final machos</b>	2594	2599
<b>Biomassa final fêmeas</b>	6924	7071
<b>Biomassa final total</b>	9518	9670
<b>Biomassa inicial</b>	491	477
<b>Biomassa adquirida</b>	9027	9193

**Tabela 8.21** – Peso dos indivíduos identificados com *microchip* do sistema com recirculação

<b>Pesagens em CR</b>		<b>11/set</b>	<b>16/out</b>	<b>20/nov</b>
	<b>Número do Chip</b>	<b>Peso 1 (gramas)</b>	<b>Peso 2 (gramas)</b>	<b>Peso 3 (gramas)</b>
1	676bd94	117	152	223
2	63a1ce4	93	190	260
3	63a1bac	94	111	162
4	630d73f	99	177	249
5	676e8bb	107	169	294
6	630dc4d	73	139	213
7	630f157	150	206	236
8	639e513	107	141	153
9	676e70c	83	121	155
10	676e36b	123	148	227
11	63a7420	122	169	176
12	676edb2	85	166	246

**Tabela 8.22** – Peso dos indivíduos identificados com *microchip* do sistema sem recirculação

<b>Pesagens em SR</b>		<b>11/set</b>	<b>16/out</b>	<b>20/nov</b>
	<b>Número do Chip</b>	<b>Peso 1 (gramas)</b>	<b>Peso 2 (gramas)</b>	<b>Peso 3 (gramas)</b>
1	630f286	115	198	243
2	676ebd2	111	137	213
3	633c98e	129	193	271
4	676ece2	125	163	228
5	676c174	87	109	178
6	633ad6a	99	119	161
7	63a2fb6	141	213	252
8	676ea68	82	136	165
9	63a242e	137	227	303
10	676ead6	79	91	136
11	676f048	89	148	229
12	630c4ac	107	144	220



**Tabela 8.23** – Comprimento total dos indivíduos identificados com *microchip* do sistema com recirculação

<b>Comprimento Total em CR</b>		<b>11/set</b>	<b>16/out</b>	<b>20/nov</b>
	<b>Número do Chip</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Comprimento (cm)</b>
1	676bd94	20,2	22,0	24,0
2	63a1ce4	17,6	22,5	24,5
3	63a1bac	17,2	19,5	21,0
4	630d73f	18,5	22,5	24,5
5	676e8bb	19,4	22,0	25,5
6	630dc4d	15,7	19,5	22,0
7	630f157	20,2	23,5	24,0
8	639e513	18,0	21,0	21,0
9	676e70c	16,5	19,5	21,0
10	676e36b	20,5	22,0	24,5
11	63a7420	20,6	23,0	23,0
12	676edb2	17,5	21,5	23,5

**Tabela 8.24** – Comprimento total dos indivíduos identificados com *microchip* do sistema sem recirculação

<b>Comprimento Total em SR</b>		<b>11/set</b>	<b>16/out</b>	<b>20/nov</b>
	<b>Número do Chip</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Comprimento (cm)</b>
1	630f286	19,0	23,0	24,5
2	676ebd2	18,2	20,5	22,5
3	633c98e	20,5	23,0	25,0
4	676ece2	20,0	22,0	24,5
5	676c174	17,0	20,0	22,0
6	633ad6a	18,0	19,5	21,0
7	63a2fb6	20,5	20,5	24,5
8	676ea68	17,0	19,5	21,0
9	63a242e	19,5	23,5	25,5
10	676ead6	16,6	18,5	20,5
11	676f048	18,5	21,0	24,0
12	630c4ac	18,5	22,0	24,0

**Tabela 8.25** – Altura dos indivíduos identificados com *microchip* do sistema com recirculação

Altura em CR		11/set	16/out	20/nov
	Número do Chip	Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)
1	676bd94	5,7	6,0	7,1
2	63a1ce4	4,7	6,4	7,6
3	63a1bac	5,0	5,3	6,3
4	630d73f	5,0	6,6	7,3
5	676e8bb	5,3	6,0	7,2
6	630dc4d	4,5	5,9	6,8
7	630f157	5,7	6,3	7,1
8	639e513	5,4	5,6	6,1
9	676e70c	4,8	5,5	6,2
10	676e36b	5,8	6,0	7,1
11	63a7420	5,7	6,5	7,0
12	676edb2	5,3	6,4	7,5

**Tabela 8.26** – Altura dos indivíduos identificados com *microchip* do sistema sem recirculação

Altura em SR		11/set	16/out	20/nov
	Número do Chip	Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)
1	630f286	5,2	5,8	7,6
2	676ebd2	5,3	5,6	7,0
3	633c98e	5,7	6,5	7,8
4	676ece2	5,3	6,0	7,4
5	676c174	5,0	5,5	6,7
6	633ad6a	5,0	5,4	6,2
7	63a2fb6	6,0	6,5	7,6
8	676ea68	4,8	5,9	6,6
9	63a242e	6,0	7,2	8,0
10	676ead6	4,7	4,8	5,9
11	676f048	5,2	5,9	7,3
12	630c4ac	5,4	5,8	7,5

**Tabela 8.27** – Largura dos indivíduos identificados com *microchip* do sistema com recirculação

<b>Largura em CR</b>		<b>11/set</b>	<b>16/out</b>	<b>20/nov</b>
	<b>Número do Chip</b>	<b>Largura (cm)</b>	<b>Largura (cm)</b>	<b>Largura (cm)</b>
1	676bd94	2,2	3,1	3,4
2	63a1ce4	2,6	3,1	3,8
3	63a1bac	2,5	2,7	3,2
4	630d73f	2,5	3,0	3,7
5	676e8bb	2,6	3,2	3,9
6	630dc4d	2,2	3,1	3,6
7	630f157	3,1	3,3	3,7
8	639e513	2,6	2,9	2,9
9	676e70c	2,5	2,8	3,2
10	676e36b	2,7	2,9	3,6
11	63a7420	2,8	3,2	3,4
12	676edb2	2,5	2,7	3,6

**Tabela 8.28** – Largura dos indivíduos identificados com *microchip* do sistema sem recirculação

<b>Largura em SR</b>		<b>11/set</b>	<b>16/out</b>	<b>20/nov</b>
	<b>Número do Chip</b>	<b>Largura (cm)</b>	<b>Largura (cm)</b>	<b>Largura (cm)</b>
1	630f286	2,5	3,1	3,5
2	676ebd2	2,9	2,9	3,5
3	633c98e	2,7	3,2	3,8
4	676ece2	2,8	3,0	3,3
5	676c174	2,6	2,8	3,4
6	633ad6a	2,5	2,9	3,3
7	63a2fb6	3,2	3,5	3,6
8	676ea68	2,4	3,0	3,2
9	63a242e	2,8	3,5	3,7
10	676ead6	2,4	2,5	3,1
11	676f048	2,5	2,8	3,5
12	630c4ac	2,7	3,0	3,6

**Tabela 8.29** – Comprimento da cabeça dos indivíduos identificados com *microchip* do sistema com recirculação

Comprimento da cabeça em CR		11/set	16/out	20/nov
	Número do Chip	Comprimento da cabeça (cm)	Comprimento da cabeça (cm)	Comprimento da cabeça (cm)
1	676bd94	5,3	5,8	6,3
2	63a1ce4	4,8	5,7	6,6
3	63a1bac	4,5	5,0	5,7
4	630d73f	4,8	5,7	6,3
5	676e8bb	5,0	5,9	6,6
6	630dc4d	4,2	5,2	5,8
7	630f157	5,5	6,1	6,5
8	639e513	4,5	5,3	5,9
9	676e70c	4,5	5,1	6,0
10	676e36b	5,3	5,5	6,3
11	63a7420	5,2	5,6	5,6
12	676edb2	4,4	5,4	6,2

**Tabela 8.30** – Comprimento da cabeça dos indivíduos identificados com *microchip* do sistema sem recirculação

Comprimento da cabeça em SR		11/set	16/out	20/nov
	Número do Chip	Comprimento da cabeça (cm)	Comprimento da cabeça (cm)	Comprimento da cabeça (cm)
1	630f286	5,1	5,9	6,9
2	676ebd2	4,9	5,5	6,4
3	633c98e	5,2	5,9	6,7
4	676ece2	5,0	5,4	6,5
5	676c174	4,4	5,2	6,5
6	633ad6a	4,5	5,0	5,7
7	63a2fb6	5,1	5,6	6,5
8	676ea68	4,4	5,2	6,0
9	63a242e	5,2	6,0	6,4
10	676ead6	4,3	4,9	5,5
11	676f048	5,0	5,8	6,6
12	630c4ac	4,7	5,4	6,4