



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA HIDRÁULICA**

**OUTORGA DOS DIREITOS DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS
NA PISCICULTURA: O CASO DO RESERVATÓRIO ACAUÃ-PB**

Dissertação de Mestrado

Whelson Oliveira de Brito

Campina Grande - PB

Junho de 2008

WHELSON OLIVEIRA DE BRITO

**OUTORGA DOS DIREITOS DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS
NA PISCICULTURA: O CASO DO RESERVATÓRIO ACAUÃ-PB**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, na
Área de Engenharia Hidráulica da Universidade
Federal de Campina Grande, em cumprimento às
exigências para obtenção do Grau de Mestre.

ORIENTADORA: Dra. Márcia Maria Rios Ribeiro

CO-ORIENTADORA: Dra. Beatriz Suzana O. de Ceballos

Campina Grande - PB

Junho de 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B862o

2008 Brito, Whelson Oliveira de.

Outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos na piscicultura: o caso do reservatório Acauã - PB / Whelson Oliveira de Brito. — Campina Grande, 2008.

144 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Márcia Maria Rios Ribeiro.

1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Outorga. 3. Piscicultura. 4. Reservatório Acauã. I. Título

CDU - 556.18:639.3(043)

WHELSON OLIVEIRA DE BRITO

**OUTORGA DOS DIREITOS DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS
NA PISCICULTURA: O CASO DO RESERVATÓRIO ACAUÃ-PB**

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30 DE JUNHO DE 2008

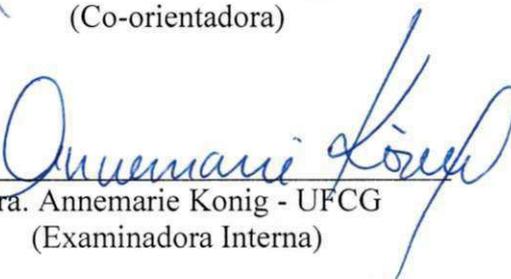
COMISSÃO EXAMINADORA:



Dra. Márcia Maria Rios Ribeiro - UFCG
(Orientadora)



Dra. Beatriz Suzana O. de Ceballos - UEPB
(Co-orientadora)



Dra. Annemarie König - UFCG
(Examinadora Interna)



Dra. Simone Rosa da Silva – SRH-PE
(Examinadora Externa)

Dedicatória

A minha querida mãe, Ana Maria Oliveira de Brito, com gratidão, amor e reconhecimento por todos os ensinamentos e exemplos a mim dedicados. As minhas tias, Evaneusa, Lindalva e Maria de Lourdes, a minha namorada Monique Barros e aos meus irmãos, Ana Carla Oliveira e Otávio Pequeno de Oliveira, por todo amor e amizade que temos,

DEDICO.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a DEUS, por ser para mim um pilar de sustentação, forte, amigo, cuidadoso, amoroso, que me deu a vida.

A minha querida mãe, Ana Maria Oliveira de Brito pela dedicação, cuidados e apoio durante todos os momentos de minha existência.

As minhas tias, Evaneusa Brito, Maria de Lourdes Brito e Lindalva Brito por toda a força e incentivos sempre dedicados a mim.

A minha namorada, Monique Barros, pela força, amor e paciência.

Ao meu irmão Otávio Pequeno de Oliveira Neto pelo amor, carinho, amizade e apoio de irmão.

A minha irmã Ana Carla Oliveira de Brito pela amizade, carinho e amor.

A UFCG (Universidade Federal de Campina Grande - PB), pelo oferecimento do programa de mestrado.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro, através da bolsa de estudos concedida para a realização desse trabalho.

A professora e orientadora Márcia Maria Rios Ribeiro, pela orientação, paciência e compreensão no desenvolvimento do curso e da pesquisa.

A Co-orientadora Beatriz Ceballos por esclarecimentos prestados, dedicação e fundamental ajuda no meu trabalho.

As minhas colegas de pesquisa, Suzana Lima e Ruceline Lins, por toda a ajuda dedicada ao desenvolvimento do meu trabalho.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Área de Engenharia de Hidráulica da UFCG: Carlos de Oliveira Galvão, Eduardo Enéas de Figueiredo, Hans Schuster, Rosires Catão Curi, Vapapeyam S. Srinivasam e aos demais professores da referida área: Gledsneli Maria de Lima Lins e Janiro da Costa Rêgo pelos conhecimentos prestados e esclarecimentos concedidos durante o curso.

A todos da minha turma de mestrado: Dayane Carvalho, Fernanda Paiva, Francisco Fonseca, João Virgílio, Katiana de Araújo, Laércio Leal, Maria Isabel, Roberta Lima, Suzana Cristina e Talita Gabrielle, pelo coleguismo durante todo o curso.

Aos meus colegas, Gracieli Louise, Júlio César, Marcos Júnior, Rosenilton Maracajá, Renato e Flora, que indiretamente colaboraram com este estudo através de incentivos e apoios.

A Josete de Sousa Ramos, secretária do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG, pelo apoio e ajuda nos assuntos burocráticos durante o período do curso.

Aos meus colegas de sala, Camila Famá, Maria Adriana de Freitas, Maria José Cordão, Maria Josicleide Guedes, Mirella Motta, Paulo Medeiros, pelo companheirismo, compreensão, paciência, e aos momentos de descontração proporcionados especialmente por Paulo Medeiros (Vulgo - Van Petersan), João Virgílio e Laércio Leal.

A todos da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba), SEMARH (Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais), CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba) e LMRS (Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba), que colaboraram de forma gloriosa para a concretização desse trabalho.

Aos examinadores pelo reforço que forneceram para a melhoria dessa dissertação.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica da UFCG: Aurezinha, Haroldo, Ismael, Lindimar, Raulino, Ronaldo, Vera e Valdomiro pela atenção e compartilhamento de bons momentos de descontração durante os dois anos de convivência.

E por fim, agradeço a todos, que de alguma forma, colaboraram para a realização e conclusão dessa dissertação.

RESUMO

OUTORGA DOS DIREITOS DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA PISCICULTURA: O CASO DO RESERVATÓRIO ACAUÃ-PB

AUTOR: Whelson Oliveira de Brito

ORIENTADORA: Dra. Márcia Maria Rios Ribeiro

CO-ORIENTADORA: Dra. Beatriz Suzana O. de Ceballos

A outorga, um dos instrumentos de gestão presente na Lei nº. 9.433/97 representa um componente legal de grande importância para o desenvolvimento de qualquer empreendimento em ambientes hídricos, dentre eles a piscicultura intensiva em tanques-rede. Este sistema de cultivo apresenta alta produtividade e investimentos iniciais inferiores aos requeridos para os sistemas convencionais de produção. Seu crescimento acelerado no Brasil, sobretudo na região Nordeste, caracterizado pelo cultivo da tilápia do Nilo, vem chamando a atenção dos órgãos gestores, devido aos seus potenciais efeitos poluidores, que podem provocar a aceleração da eutrofização dos corpos de águas destinados a usos múltiplos. A necessidade de promover o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos, onde o desenvolvimento de atividades geradoras de renda não altere a qualidade da água, impedindo os outros usos aos quais os mananciais foram destinados, motivou esta pesquisa, que tem como objetivo central propor uma metodologia para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos para a piscicultura em tanques-rede em reservatórios utilizados para abastecimento humano. Para isso, foram feitas simulações de cenários de planejamento e análise dos modelos de cálculo da capacidade de suporte usados pela Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESPA) e pela Agência Nacional de Águas (ANA) para a outorga de água destinada ao cultivo da tilápia do Nilo em tanques-rede em um reservatório paraibano eutrofizado. Ambos os modelos avaliam o limite da carga de fósforo total a ser liberada para o manancial pela atividade de piscicultura intensiva expressando-o como o número máximo de tanques-rede que podem ser instalados em um corpo aquático específico. Os modelos consideram entre as variáveis de cálculo, o volume, a profundidade média do

corpo de água, o número de peixes por tanque-rede, a quantidade de ração utilizada durante o cultivo, à carga de fósforo total atribuída à ração e às excretas dos peixes, entre outros parâmetros. O caso de estudo foi o Reservatório Acauã, situado na Região do Médio Curso do Rio Paraíba, na Paraíba. A avaliação da capacidade de suporte por ambos os modelos, indicam a pouca influência da piscicultura como atividade de degradação, em função da baixa carga de fósforo gerada para o manancial. Entretanto, observa-se que as atuais condições qualitativas do reservatório estudado, não permitem proceder à outorga para a piscicultura. A modificação dessa situação será possível através da implantação de medidas de gerenciamento na bacia hidrográfica, onde está o reservatório. Neste sentido, foram simulados cenários de planejamento os quais permitem reduzir gradativamente as cargas de DBO₅, DQO, nitrogênio e fósforo total que chegam a Acauã. Conclui-se, portanto, que só após a implementação destas medidas será possível outorgar de forma segura a piscicultura em Acauã. Quanto aos modelos utilizados, é necessário por parte das agências responsáveis pela emissão da outorga, o entendimento sobre as considerações e simplificações inerentes àqueles modelos.

Palavras-chave: Gestão de Recursos Hídricos, Outorga, Piscicultura, Reservatório Acauã.

ABSTRACT

Water rights, which is one of the managing instruments present in the Law nº. 9.433/97 represents a legal component of great importance for the development of any enterprise in water resources management environment, amongst them the intensive pisciculture in special fish farms denominated tank-nets. This system of culture presents high productivity and inferior initial investments than the required for conventional systems of production. In Brazil, especially in the Northeast region, its accelerated growth is characterized by the culture of a fish called tilápia of Nilo, and it has been pulling the attention of the managing authorities, due to its potential polluting effect, that can provoke the acceleration of the eutrophication of water bodies designated for multiple uses. The necessity of promoting a sustainable management of the water resources management, where the development of income generating activities does not modify the quality of the water, hindering other uses to which sources had been destined, motivated this research, that has as its main goal proposing a methodology to water rights of use of the water resources management for the tank-net pisciculture in reservoirs used for human supplying. For this, scenario planning simulations and analysis of the support capacity calculation models used by the Executive Agency of Management of Waters of Paraíba (AESA) and by the National Agency of Waters (ANA) for water rights designated to the tilápia do Nilo tank-net culture in a eutrophic reservoir in the State of Paraíba have been made. Both models evaluate the limit of the total amount of phosphorus that will be released into the source by the intensive pisciculture activity and it will be expressed as the maximum number of tank-net that can be installed in a specific aquatic body. The models consider as a calculation variable the volume, the average depth of the water body, the number of fish for tank-net, the amount of fish food used during the culture, to the total amount of phosphorus attributed to the fish food and excrements, among others parameters. The study case was Acauã Reservoir, located at half course of the Paraíba River region, in the State of Paraíba. The evaluation of the capacity of support for both the models, indicate little influence of the pisciculture as a degradation activity, due to the total amount of phosphorus generated for the source. However, it is observed that the current qualitative conditions of the studied reservoir do not allow proceeding with for the pisciculture water rights. The modification of this situation will be possible throughout the implantation of

management measures in the hydrographic bay, where the reservoir is located. This way, planning scenes have been simulated which allow the gradual reduction of the total amounts of DBO₅, DQO, nitrogen and phosphorus that arrive in Acauã. Therefore, it is possible to conclude that only after the implementation of these measures it will be possible to water rights the pisciculture in Acauã. As for the models used, it is necessary the understanding of considerations and simplifications inherent to those models by the authorities responsible for the water rights emission.

Word-key: Management of Water Resources, Water Rights, Pisciculture, Acauã Reservoir.

Lista de Figuras

| | |
|--|-----------|
| Figura 2.1 – Tilápia do Nilo..... | 11 |
| Figura 2.2 – Esquema de um Tanque-Rede..... | 12 |
| Figura 2.3 – Tanques-Rede no Reservatório Cacimba de Várzea, Paraíba..... | 13 |
| Figura 4.1 – Tanques-Rede no Reservatório Acauã, Paraíba..... | 63 |
| Figura 4.2 – Reservatórios Monitorados Pela AESA..... | 65 |
| Figura 4.3 – Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba..... | 67 |
| Figura 4.4 – Região do Médio Curso do Rio Paraíba..... | 68 |
| Figura 4.5 – Vista a Jusante do Reservatório Acauã..... | 73 |
| Figura 4.6 – Vista a Montante do Reservatório Acauã..... | 74 |
| Figura 5.1 – Fluxograma das Etapas Metodológicas..... | 80 |

Lista de Quadros

| | |
|--|-----------|
| Quadro 5.1 – Caracterização do Cenário de Planejamento 1..... | 96 |
| Quadro 5.2 – Caracterização do Cenário de Planejamento 2..... | 98 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|-----------|
| Tabela 2.1 - Produção Total Anual Mundial do Cultivo da Tilápia e Carpa..... | 7 |
| Tabela 2.2 – Concentração do Fósforo-total no Ambiente..... | 23 |
| Tabela 2.3 – Índice de Estado Trófico de Carlson (1977) Modificado por Kratzer & Brezonik (1981)..... | 25 |
| Tabela 2.4 – Índice de Estado Trófico de Carlson (1977) Modificado por Toledo Jr. (1983)..... | 26 |
| Tabela 2.5 – Concentração do Fósforo-total e Clorofila “a” e IET em Ambiente Aquático para Diferentes Estados Tróficos..... | 27 |
| Tabela 2.6 – Classificação Trófica de Lagos Segundo as Diferentes Formas de Compostos Nitrogenados (VOLLENWEIDER, 1968)..... | 30 |
| Tabela 2.7 – Avaliação do Nível de Eutrofização Pela Transparência da Água e Produtividade Esperada de Peixes (Adaptado de Schmittou, sem data)..... | 36 |
| Tabela 2.8 – Relação Entre a Temperatura da Água e o Desenvolvimento dos Peixes Tropicais..... | 37 |

| | |
|---|------------|
| Tabela 2.9 – Resultados Globais de Taxa de Excreção de Fósforo Total..... | 40 |
| Tabela 3.1 - Valores Máximos Permissíveis (VMP) de Fósforo-total Para a Aqüicultura e Piscicultura..... | 48 |
| Tabela 4.1 – População Urbana e Rural da Região do Médio Curso do Rio Paraíba..... | 69 |
| Tabela 4.2 – Cargas Poluidoras Lançadas..... | 71 |
| Tabela 4.3 – Valores Médios de Parâmetros Limnológicos da Barragem Acauã no Período 2003 – 2006..... | 75 |
| Tabela 5.1 – Número de Indústrias da Região do Médio Curso do Rio Paraíba..... | 85 |
| Tabela 5.2 – Características dos Efluentes de Algumas Indústrias..... | 85 |
| Tabela 5.3 – Culturas Permanentes Irrigadas Consideradas Nesta Pesquisa..... | 86 |
| Tabela 5.4 – Culturas Temporárias Irrigadas Consideradas Nesta Pesquisa..... | 87 |
| Tabela 5.5 – Cargas Poluidoras Lançadas em Acauã – Período (2005 – 2007)..... | 88 |
| Tabela 6.1 – Cargas Potenciais e Lançadas Com e Sem a Implantação das Medidas de Gerenciamento em Acauã – Área Urbana..... | 102 |
| Tabela 6.2 – Cargas Potenciais e Lançadas Com e Sem a Implantação das Medidas de Gerenciamento em Acauã – Área Rural..... | 103 |
| Tabela 6.3 – Cargas Potenciais e Lançadas Com e Sem a Implantação das Medidas de Gerenciamento em Acauã – Indústrias..... | 104 |
| Tabela 6.4 – Cargas Poluidoras Geradas pela Área Rural – Culturas Permanentes – Cenário 1..... | 105 |
| Tabela 6.5 – Cargas Poluidoras Geradas pela Área Rural – Culturas Temporárias – Cenário 1..... | 106 |
| Tabela 6.6 – Cargas Potenciais e Cargas Lançadas Pela População Urbana – Cenário 2.. | 108 |
| Tabela 6.7 – Cargas Potenciais e Cargas Lançadas Referentes ao Cenário de Planejamento 2 - Área Rural..... | 109 |
| Tabela 6.8 – Cargas Potenciais e Cargas Geradas Através da Implantação do Cenário de Planejamento 2 – Indústrias..... | 109 |
| Tabela 6.9 – Cargas Poluidoras Geradas pela Área Rural – Culturas Permanentes - Cenário 2..... | 110 |
| Tabela 6.10 – Cargas Poluidoras Geradas pela Área Rural – Culturas Temporárias - Cenário 2..... | 110 |
| Tabela 6.11 – Carga Poluidora Total – Populações e Indústria Para os Dois Cenários de Planejamento..... | 111 |
| Tabela 6.12 – Carga Poluidora Total – Culturas Permanentes e Temporárias Para os Dois Cenários de Planejamento..... | 112 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 6.13 – Concentrações da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO₅): Populações Urbana, Rural e Atividades Industriais..... | 113 |
| Tabela 6.14 – Concentrações de Nitrogênio Orgânico (N) em Acauã – PB..... | 114 |
| Tabela 6.15 – Concentrações de Fósforo Total (P-total) em Acauã – PB..... | 115 |
| Tabela 6.16 – Evolução da Redução das Cargas Poluidoras da DBO₅ e Fósforo Total..... | 116 |
| Tabela 6.17 – Síntese das Medidas de Gerenciamento e Resultados ao Longo dos Anos... | 117 |
| Tabela 6.18 – Cálculo da Capacidade de Suporte – Período 2007/2011 (Situação Atual e Cenário 1)..... | 119 |
| Tabela 6.19 – Cálculo da Capacidade de Suporte – Período 2012/ 2015 (Cenário 1)..... | 120 |
| Tabela 6.20 – Dados do Cálculo da Capacidade de Suporte – Período 2016/2020 (Cenário 2)..... | 121 |
| Tabela 6.21 – Produtividade do Sistema de Cultivo..... | 122 |

Lista de Siglas

- AESA** – Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba;
- ANA** – Agência Nacional de Águas;
- CAGEPA** – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba;
- CODEP** – Coordenadoria do Desenvolvimento da Pesca;
- CODEVASF** – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Paraíba;
- COGERH – CE** – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará;
- COGERH – RN** – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte;
- COMPESA** – Companhia Pernambucana de Saneamento;
- CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente;
- CONESPA – PB** – Conselho Estadual de Pesca e Aquicultura da Paraíba;
- COPAM** – Conselho Estadual de Política Ambiental;
- CNRH** – Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
- CTFT** – Center Technique Forestier Tropical;
- CTPN** – Comissão Técnica de Piscicultura do Nordeste;
- DNOCS** – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca;
- ETEs** – Estações de Tratamento de Esgotos;
- FAO** – Food of Agriculture Organization;

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

IDEMA/RN – Instituto de Defesa do Meio Ambiente do Rio Grande do Norte;

IET – Índice de Estado Trófico;

LMRS – Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba;

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba;

SAD – Secretaria do Desenvolvimento Agrário;

SEAP – Secretaria Especial de Aqüicultura e Pesca;

SECTMA – PB – Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente da Paraíba;

SEDAP – Secretaria de estado do Desenvolvimento da Agropecuária e Pesca da Paraíba;

SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Minerais;

SEPAQ – CE – Sistema Estadual da Pesca e da Aqüicultura do Ceará;

SERHID – Sistemas de Informações Geográficas e Hídricas do Rio Grande do Norte;

SUDEMA – Superintendência de Administração do Meio Ambiente;

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste;

SRH –CE – Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará;

SSV – Sólidos Orgânicos em Suspensão;

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande;

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria;

USAID – Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional;

VMP – Valor Máximo Permissível da Concentração de Fósforo Total;

Sumário

| | |
|---|-------------|
| <i>Dedicatória</i> | <i>i</i> |
| <i>Agradecimentos</i> | <i>ii</i> |
| <i>Resumo</i> | <i>iv</i> |
| <i>Abstract</i> | <i>vi</i> |
| <i>Lista de Figuras</i> | <i>viii</i> |
| <i>Lista de Quadros</i> | <i>viii</i> |
| <i>Lista de Tabelas</i> | <i>viii</i> |
| <i>Lista de Siglas</i> | <i>x</i> |
| <i>Sumário</i> | <i>xii</i> |
| | |
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO | 1 |
| | |
| 1.0 - Introdução | 2 |
| | |
| 1.1 – Objetivos da Pesquisa | 4 |
| 1.1.1 – Geral..... | 4 |
| 1.1.2 – Específicos | 4 |
| | |
| CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA | 5 |
| | |
| 2.0 – A Piscicultura no Brasil e no Mundo | 6 |
| | |
| 2.1 – Cultivo da Tilápia do Nilo | 10 |
| 2.2 – Piscicultura em Tanques-Rede..... | 12 |
| 2.3 – Parâmetros de Qualidade da Água..... | 15 |
| 2.4 – A Qualidade da Água no Cultivo Piscícola | 32 |
| | |
| CAPÍTULO 3 – INSTRUMENTOS DE GESTÃO E PISCICULTURA | 41 |
| | |
| 3.0 – Políticas de Recursos Hídricos | 42 |
| | |
| 3.1 – Enquadramento dos Corpos Hídricos | 43 |
| 3.1.1 – Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº. 357/2005..... | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2 – Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos | 48 |
| 3.2.1 – Outorga Para a Piscicultura no Brasil | 50 |
| 3.2.2 – Outorga Para a Piscicultura no Estado de Pernambuco | 53 |
| 3.2.3 – Outorga Para a Piscicultura no Estado do Ceará | 55 |
| 3.2.4 – Outorga Para a Piscicultura no Estado do Rio Grande do Norte | 56 |
| | |
| CAPÍTULO 4 – ÁREA DE ESTUDO | 59 |
| | |
| 4.0 – Área de Estudo | 60 |
| | |
| 4.1 – Aspectos Legais e Institucionais no Estado da Paraíba | 60 |
| a) – Outorga Para a Piscicultura no Estado da Paraíba | 60 |
| b) – Enquadramento dos Corpos Hídricos na Paraíba | 64 |
| c) – Monitoramento dos Mananciais | 64 |
| 4.2 – Características Gerais da Região do Médio Curso do Rio Paraíba..... | 66 |
| 4.3 – Potencialidades Hídricas da Região do Médio Curso do Rio Paraíba..... | 70 |
| 4.4 – Características da Ocupação da Região do Médio Curso do Rio Paraíba | 70 |
| a) – Riacho Bodocongó..... | 72 |
| b) – Reservatório Acauã – Local de Estudo..... | 73 |
| | |
| CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA DE ESTUDO..... | 78 |
| | |
| 5.0 – Metodologia de Estudo..... | 79 |
| | |
| 5.1 – Cálculo das Cargas Poluidoras na Bacia Hidrográfica | 81 |
| a) – Cargas Poluidoras dos Esgotos Domésticos: População Urbana e Rural..... | 81 |
| b) – Cargas Poluidoras do Setor Industrial: Efluentes Industriais | 83 |
| c) – Cargas Poluidoras do Setor Agrícola: Efluentes da Irrigação | 85 |
| 5.2 – Avaliação Atual da Região e do Reservatório Acauã..... | 88 |
| 5.3 – Cálculo da Capacidade de Suporte | 90 |
| 5.3.1 – Modelo de Avaliação da Capacidade de Suporte Utilizado Pela AESA | 90 |
| 5.3.2 – Modelo de Avaliação da Capacidade de Suporte Utilizado Pela ANA | 93 |
| 5.4 – Cenário de Planejamento 1 – Implantação das Medidas de Gerenciamento | 95 |
| 5.5 – Cenário de Planejamento 2 – Fortalecimento das Medidas de Gerenciamento..... | 97 |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 6 – ANÁLISE E DISCUSÃO DOS RESULTADOS..... | 99 |
| 6.0 – Resultados | 100 |
| 6.1 – Análise da Qualidade da Água do Reservatório Acauã | 100 |
| 6.2 – Análise do Cenário de Planejamento 1 | 101 |
| a) – População Urbana | 101 |
| b) – População Rural..... | 103 |
| c) – Atividades Industriais | 104 |
| d)– AtividadesAgrícolas - Irrigação..... | 105 |
| 6.3 – Análise do Cenário de Planejamento 2 | 107 |
| a) – População Urbana | 107 |
| b) – População Rural..... | 108 |
| c) – Atividades Industriais | 109 |
| d)– AtividadesAgrícolas - Irrigação..... | 110 |
| 6.4 – Análise da Concentração Total dos Poluentes no Reservatório Acauã | 111 |
| 6.5 – Análise dos Modelos de Cálculo da Capacidade de Suporte | 118 |
| CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 125 |
| 7.0 – Conclusões..... | 126 |
| 8.0 – Recomendações | 127 |
| CAPÍTULO 8 – BIBLIOGRAFIA..... | 128 |
| 9.0 – Referências Bibliográficas..... | 129 |
| ANEXOS | 140 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO



1.0 Introdução

A água, bem dotado de valor econômico segundo a Lei nº. 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, assume papel importante na atual sociedade em virtude da sua utilização doméstica, agrícola e industrial. É um bem que apresenta no planeta distribuição irregular no tempo e no espaço. Ao longo dos anos as fontes hídricas vêm sofrendo perdas de qualidade, fruto da poluição antropogênica, causando problemas à saúde ambiental e humana, além de dificultar e onerar o tratamento de água para consumo humano (TUNDISI, 2003).

A saúde ambiental é comprometida pelo aumento dos nutrientes eutrofizantes que alteram a qualidade da água, diminuem a biodiversidade e provocam o desequilíbrio das cadeias alimentares existentes. Cianobactérias e suas toxinas alteram o ambiente aquático e afetam ao zooplâncton, aos peixes e ao ser humano. O homem pode, ainda, sofrer alterações hormonais pela presença de disruptores endócrinos na água, descarregados com os esgotos, os quais afetam também a vida selvagem (ROBERSON, 2003 *apud* CEBALLOS *et al.*, 2006).

No Brasil, sobretudo na região Nordeste, com clima semi-árido, caracterizado por períodos de estiagem prolongados, o DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra a Seca), a partir dos anos 60 intensificou a construção de açudes de barragens, que embora tenham como principal objetivo o abastecimento humano, são também fonte de desenvolvimento econômico e social, através do seu uso múltiplo, entre eles a piscicultura intensiva (DIAS, 2006; MELO *et al.*, 2006).

A piscicultura é uma atividade econômica importante que se fortalece na medida em que se esgotam os estoques pesqueiros naturais. No Brasil essa atividade vem ganhando força, principalmente com o cultivo da tilápia do Nilo em regime intensivo em tanques-rede (CYRINO *et al.*, 1999). Esses são estruturas flutuantes e a instalação desse sistema de cultivo, é menos onerosa do que os sistemas convencionais com tanques escavados, por não haver movimento de terra, além de possibilitarem ganho econômico em menor espaço de tempo devido à elevada produtividade. Entretanto, alteram o regime hídrico do ambiente, introduzem espécies exóticas e lançam através de suas fezes compostos orgânicos e inorgânicos (nitrogênio e fósforo) na massa de água, contribuindo com o processo de eutrofização do corpo aquático. Desta forma, a introdução da piscicultura intensiva em açudes de uso múltiplo precisa de estudos

prévios que mediante análise dos possíveis impactos ao ambiente, subsidiem a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, respeitando a classe de qualidade a qual o corpo aquático pertence e que é a base para seu enquadramento, como expresso na Lei Federal nº. 9.433/97 e na Resolução CONAMA nº. 357/05 (GISLER *et al.*, 2003; SPERANDIO, 2003; CONAMA nº. 357/05).

O enquadramento e a outorga de direito de uso da água para fins múltiplos, especificam o grau de uso a ser dado ao recurso hídrico, limitando o seu nível de exploração e servindo como amparos legais de regulamentação da piscicultura, uso industrial, rural, urbano e agrícola (RIBEIRO, 2000).

O presente trabalho propõe uma metodologia de outorga para piscicultura em tanques-rede no reservatório Acauã, situado na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, Região do Médio Curso do rio Paraíba, com base em modelos de cálculo da capacidade de suporte e na evolução da poluição desse manancial devido à própria piscicultura e as contribuições da bacia hidrográfica, através de estimativas de crescimento populacional, aumento das áreas agrícolas e produção industrial.

A análise dos valores encontrados servirá de base para especificar os períodos propícios para o manejo da piscicultura no reservatório Acauã, que atualmente constitui-se como o açude mais eutrofizado do estado, apresentando constantes florações de cianobactérias (LINS, 2006).

Este estudo propõe também a simular medidas de gerenciamento da bacia para contribuir com a melhoria das águas dos tributários que alimentam o Reservatório Acauã e que possivelmente, possa ser exportado para outras bacias do estado, tais como a ampliação do saneamento básico rural e urbano, aumentando o número dos sistemas individuais, ampliando as redes coletoras e as Estações de Tratamento (ETEs) juntamente com a análise dos custos dessas medidas.

O objetivo de simular tais medidas é viabilizar a introdução da piscicultura, em bases sustentáveis, no reservatório Acauã, no futuro.

1.1 Objetivos da Pesquisa

1.1.1 Geral

Propor uma metodologia para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos para piscicultura em tanques-rede em reservatórios do semi-árido nordestino utilizados para abastecimento humano e simular cenários de gerenciamento a fim de viabilizar a introdução dessa atividade de forma sustentável.

1.1.2 Específicos

- Identificar a evolução do estado trófico da água do reservatório Acauã;
- Simular modelos de outorga para a piscicultura no reservatório Acauã;
- Verificar as limitações da atividade piscícola nesse manancial através do cálculo da capacidade de suporte dentro dos padrões estabelecidos pelo enquadramento e pela Resolução CONAMA nº. 357/05;
- Avaliar a influência da piscicultura na qualidade da água, visando à outorga em acordo com a Resolução CONAMA nº. 357/05;
- Propor ações de gerenciamento que visem melhorar a qualidade da água desse reservatório, permitindo o atendimento aos usos múltiplos a que se destina.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA



2.0 A Piscicultura no Brasil e no Mundo

A exploração indiscriminada dos estoques pesqueiros naturais e a crescente diferença entre o que é pescado e o aumento crescente da demanda, fazem que a aquicultura se torne cada vez mais uma alternativa para a produção de alimentos de alto valor protéico para o consumo humano (BORGHETTI *et al.*, 2003; CAMARGO *et al.*, 2005).

Segundo Camargo *et al.* (2005) o cultivo aquícola mundial inclui 98 espécies de peixes, 10 espécies de moluscos, 18 espécies de crustáceos e 20 de plantas. Apesar da grande quantidade de espécies cultivadas, poucos peixes são considerados domesticados, destacando-se a carpa comum (*Cyprinus carpio*), o bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) a truta (*Oncorhynchus mykiss*), a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alguns peixes ornamentais.

A produção de espécies aquáticas de forma controlada ou semi-controlada pelo homem teve início na China há 4.000 anos, aproximadamente, com o cultivo da carpa, o que tornou o oriente berço da aquicultura. Entre os dez grandes produtores de espécies aquáticas, sete estão situados na Ásia. O Brasil ocupa a 18ª posição, sendo a carpa comum e a tilápia do Nilo as espécies mais cultivadas (CAMARGO *et al.*, 2005).

Dentre os ramos da aquicultura, a piscicultura vem crescendo substancialmente principalmente nos países pouco industrializados, que chegam a deter 85% da piscicultura mundial. A China destaca-se como maior produtor, onde o cultivo das carpas comum, capim, prateada e cabeçuda, além das tilápias, ocorre em regimes de policultura ou monocultura em viveiros escavados no solo, além do uso de tanques-rede em reservatórios de água natural. Esses sistemas tornaram a China responsável pela produção de 21 milhões de toneladas das 31 milhões de toneladas produzidas em 1998; em 2001 a produção total chinesa foi de 37.851.356 toneladas entre peixes, moluscos e crustáceos (CAMARGO *et al.*, 2005).

A Índia destaca-se como segundo maior produtor, com dois milhões de toneladas de pescado produzidas em 1998. Também são importantes países como a Tailândia, Indonésia e Bangladesh. Outros países, com setores prósperos de aquicultura estão situados no centro e sul da América, como o Brasil, que tem forte influência das técnicas de cultivo desenvolvidas em outros países, como a Venezuela, Peru, México, Costa Rica e Chile (BROWN, 2001; GONZALEZ, 2001).

A Tabela 2.1 apresenta a produção piscícola mundial entre 2001 e 2004, para as duas principais espécies de peixes cultivadas, destacando-se a crescente produção piscícola.

Tabela 2.1 - Produção Total Anual Mundial do Cultivo da Tilápia e Carpa.

| Produção Total (ton) | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|
| Carpas | 16.275.127 | 16.673.155 | 17.373.823 | 18.303.846 |
| Tilápias | 1.386.235 | 1.483.309 | 1.674.620 | 1.822.745 |

Fonte: FAO (2007)

Segundo Gonzalez (2001) a atividade aquícola voltada para o cultivo da tilápia do Nilo na Costa Rica e em Honduras vem ganhando forte destaque e ocupando os primeiros lugares nas exportações. No Equador, a tilápia do Nilo ocupa cada vez mais espaço, devido à queda na produção do camarão marinho. Na Colômbia, a tilápia do Nilo é considerada uma espécie capaz de alterar a fauna aquática por ser exótica, entretanto, entre os anos de 2001 e 2005, o seu cultivo aumentou substancialmente devido à crescente procura desse peixe no mercado internacional, junto à diminuição da atividade pesqueira.

Entre os países que já possuem piscicultura consolidada, os líderes no cultivo de peixes são Japão, Estados Unidos e Hungria (GONZALEZ, 2001).

O Japão, em 1998, produziu 800 mil toneladas entre mexilhões, ostras e olho-de-boi. Nesse país, o cultivo de espécies aquáticas ocorre em águas marinhas.

Na América do Norte, a piscicultura se desenvolve desde o início do século XX. A truta, originária da própria América do Norte, foi a primeira espécie introduzida. Os Estados Unidos são os principais produtores, respondendo no ano 2000, por 77,6% da produção total no ano (FAO, 2003). Nesse país, a piscicultura ganhou maior importância a partir dos anos 50, com o desenvolvimento da criação do catfish americano (*Ictalurus punctatus*), cuja produção é na sua maior parte processada pela indústria. Desde 1987 a tilápia obtém espaço na produção com a introdução da aeração automática dos viveiros de produção. A alimentação dos peixes é feita com rações extrusadas, sendo comum a sua distribuição automática e o uso de aeração mecânica.

Na Hungria, o principal cultivo é de carpa comum. Em 2001 sua produção foi de 8.226 toneladas (FAO, 2003). É criada em ciclos de três anos, sendo que ao final do

primeiro, há produção de juvenis entre 25 e 30 gramas, o segundo ano é dedicado à produção de peixes com peso entre 200 e 300 gramas e no terceiro ano se criam peixes acima de 1 quilo. Nesse modelo de cultivo utilizam-se fertilização orgânica e alimentação suplementar com trigo, milho e sorgo. As carpas cabeça grande, capim e prateada, introduzidas na Hungria, no início da década de 60, são utilizadas para policultivos e em 2001 foram responsáveis por 42,6% da produção total (FAO, 2003).

No Brasil (FAO, 2003) a pouca importância que ainda é dada à aquicultura, faz com que o país venha a ocupar a 18ª posição entre os produtores de pescados cultivados. Entretanto, desde o início da década de 90, quando a produção era de 25 mil toneladas, os diversos segmentos do setor se desenvolveram progressivamente, o que proporcionou no ano 2000, a produção de 150 mil toneladas e de 251 mil toneladas em 2002 (IBAMA, 2004). A aquicultura vem crescendo com porcentagens anuais superiores a 22%, segundo a Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca - SEAP (ANA, 2007).

Os primeiros relatos da introdução da piscicultura na região Nordeste do Brasil, datam da época da ocupação holandesa, quando foram construídos viveiros que eram alimentados pelas águas das marés, as quais traziam peixes para os viveiros, onde ficavam aprisionados até a sua captura (SILVA, 2005).

Por ser um país em desenvolvimento e com atividade piscícola recente, essa forma de cultivo foi fortemente influenciada pelas técnicas desenvolvidas na China, África, Estados Unidos, Japão e também na Europa (SILVA, 2005).

A influência africana ocorreu através da introdução de espécies nativas daquele continente, como a tilápia do Nilo, enquanto que a influência dos Estados Unidos se deu com o uso de rações extrusadas (LANDAU, 1992 *apud* MAIA Jr., 2003; SILVA, 2005). Da China, o Brasil incorporou o modelo de policultivo da carpa (OSTRENSKY *et al.*, 2000). Já a influência européia teve como base o interesse dos técnicos brasileiros nos modelos praticados na Europa na criação de peixes, sob influência da colonização portuguesa e também recebeu a influência de outros povos desse continente com as correntes imigratórias. A Hungria teve forte influência na piscicultura brasileira mediante cooperação técnica entre os governos de ambos os países, o que teve impacto em todo o Brasil e serviu para melhorar o desempenho produtivo da propagação artificial de peixes e difundir técnicas de criação da carpa comum em policultivo com as carpas chinesas. Porém, com o aumento de conhecimento em piscicultura, houve um movimento de retorno às origens, ou seja, à China, base do policultivo (CYRINO, 2003 *apud* SILVA, 2005).

As ações governamentais para o desenvolvimento da piscicultura no Brasil foram realizadas pelos três níveis do poder executivo: federal, estadual e municipal, desencadeando o processo de construção da piscicultura brasileira.

Na região Nordeste, merece destaque a ação da Comissão Técnica de Piscicultura do Nordeste (CTPN) fundada e dirigida por Rodolpho Von Ihering em 1932, subordinada a Inspetoria de Obras Contra as Secas, posteriormente denominado Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS). A sede inicial da CTPN localizava-se na cidade de Campina Grande - PB. Suas pesquisas visaram à introdução de espécies nativas de peixes (repeixamento) procurando disponibilizar fontes protéicas para a população carente (GURGEL, 1994). Em 1935 a CTPN foi transferida para Fortaleza – CE, onde posteriormente passou a se chamar DNOCS. Com o DNOCS a piscicultura teve forte expansão a partir da década de 60, com a acelerada construção de açudes destinados ao combate da escassez hídrica. Entre 1966 e 1977 esteve em vigor um convênio com a Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional (USAID), que permitiu o intercâmbio entre profissionais do DNOCS e da Universidade de Auburn, (Alabama, EUA) com o objetivo de desenvolver a piscicultura na região Nordeste com base na obtenção e difusão de tecnologia dos EUA. A intenção era intensificar tecnicamente a atividade (SILVA, 2005).

Os primeiros peixes foram o piau (*Leporinus piau*) e a curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*). A tilápia do Nilo foi introduzida em 1971, proveniente da Costa do Marfim. Caracteriza-se como a espécie mais cultivada nesses reservatórios tanto na forma extensiva como em tanques-redes ou em viveiros escavados, segundo Bard (2000) a constatação da ausência de uma espécie de peixe onívora nos açudes nordestinos, cuja criação poderia ser fomentada, associada aos resultados favoráveis das criações da tilápia do Nilo ou de seu híbrido na África, foram os fatores que motivaram a introdução dessas espécies a partir de um acordo entre o DNOCS e o CTFT (Center Technique Forestier Tropical) situado na França.

A introdução de peixes nesses reservatórios foi feita com incentivo governamental, que viu na piscicultura uma forma de combater a fome e proporcionar um ganho econômico para as famílias afetadas pela estiagem prolongada.

2.1 Cultivo da Tilápia do Nilo

As tilápias representam os primeiros peixes utilizados para criação em cativeiro no mundo. Ilustrações de tumbas no Egito sugerem que a tilápia vem sendo criada há mais de três mil anos (POPMA & MASSER, 1999).

De forma geral, o cultivo de peixes vem assumindo importância cada vez maior no panorama do abastecimento alimentar, uma vez que, a alta taxa de crescimento demográfico está colocando em risco a oferta de alimentos (SAMPAIO & BRAGA, 2005).

No Brasil são 5,3 milhões de hectares de água doce em reservatórios naturais e artificiais e 8.000km de zona costeira, além de uma extensa rede hidrográfica que podem ser potencialmente aproveitados na produção de organismos aquáticos. Além do clima favorável à expansão da atividade, o país apresenta enorme potencial nos mercados nacional e internacional (GISLER *et al.*, 2003).

A produção aquícola mundial teve um crescimento de 187,6% entre os anos de 1990 e 2001, passando de 16,8 milhões de toneladas a 48,4 milhões, fruto principalmente do rápido aumento da produção aquícola na Ásia (BORGHETTI *et al.*, 2003).

A tilápia do Nilo é a terceira espécie mais cultivada, ficando atrás da carpa e do salmão. O cultivo da tilápia do Nilo em caráter mais intensivo data de 1995 na China, cuja produção alcançou 160 mil toneladas, seguida das Filipinas com 63 mil toneladas. Por ser cultivada atualmente em mais de 85 países, dentre os quais uma grande parcela situa-se na América Latina, como a Costa Rica, Honduras, Venezuela e Peru, a perspectiva é de que esta espécie passe a ser a mais cultivada no século XXI (GONZALEZ, 2001; PERU, 2004).

O cultivo da tilápia do Nilo tem contribuído substancialmente para a produção de alimentos em muitas regiões tropicais e subtropicais em desenvolvimento. A tilápia se destaca pela sua rusticidade e rápido crescimento em cultivo intensivo, pelo excelente sabor de sua carne e pela ausência de espinhos em "Y" (TACON, 1993; HILDSORF, 1995 *apud* SOUZA & HAYASHI, 2003).

No Brasil, a atividade piscícola voltada para o cultivo da tilápia do Nilo vem ganhando expressivo destaque. As tilápias estão entre os peixes de maior excelência para criação, por serem animais de grande adaptabilidade de alimentação e condições ambientais diversas (BRASIL, 2000). Segundo Lovshin (1998), é uma espécie

apropriada para a piscicultura de subsistência e por isso, nos países em desenvolvimento, a tilápia teve sua distribuição expandida (Figura 2.1).



Figura 2.1 – Tilápia do Nilo

Fonte: AESA (2007)

Essa espécie apresenta resistência, boa adaptabilidade às condições climáticas do Nordeste do Brasil, fácil reprodução, e por ocupar um nicho ecológico ainda não preenchido por representantes da ictiofauna nativa. Assim, a tilápia do Nilo foi amplamente disseminada nas bacias hidrográficas da região, tornando-se fonte de renda para a população ribeirinha (BRASIL, 2000).

No entanto, pouco se sabe sobre o impacto que esta espécie causa no ambiente, e sua real vantagem, como fonte de desenvolvimento sócio-econômico. Nos açudes públicos monitorados pelo DNOCS, desde 1960 a tilápia do Nilo proporcionou melhoria na pesca e atualmente continua sendo a principal espécie cultivada e estocada nos lagos e açudes do semi-árido, representando o principal modelo zootécnico da piscicultura regional e nacional (GURGEL, 1981; DIAS, 2006). Nos açudes da Paraíba a tilápia é conhecida dos pescadores há cerca de 50 anos.

2.2 Piscicultura em Tanques-Rede

Dentre os diversos sistemas de cultivo de peixes, os ditos convencionais ou tanques escavados ou viveiros de alvenaria, estão perdendo destaque, frente aos tanques-rede, pela sua praticidade e menor custo.

A criação de peixes em tanques-rede ou gaiolas teve início na Ásia, no delta do Rio Mekong, há mais de 40 anos. Na América, esse sistema vem crescendo substancialmente desde os últimos anos, principalmente no Brasil, Colômbia e Panamá (ONO, 1998 *apud* BARBOSA *et al.*, 2000; GONZALEZ, 2001).

Os tanques-rede ou gaiolas são estruturas flutuantes compostas por uma armação rígida e revestidas por redes adequadas (Figura 2.2). Trata-se de um sistema de cultivo intensivo de menor custo e maior rapidez de implantação, onde os peixes são confinados em alta densidade. Essas estruturas permitem grande troca de água com o ambiente de criação e os peixes recebem ração, com nutrição completa e balanceada (GISLER *et al.*, 2003).



Figura 2.2 – Esquema de Um Tanque-Rede

Fonte: www.ferbax.com.br

Esse sistema de criação possibilita alta produtividade, controle populacional e sanitário eficiente, facilidade na despesca, dispensa da movimentação de terra e do alagamento de novas terras, fácil arraçoamento, maior proteção contra predadores naturais, baixa incidência e intensidade de problemas como sabor desagradável do pescado (“*off-flavor*”) (ONO & KUBITZA, 2003 *apud* GISLER *et al.*, 2003; SPERANDIO, 2003).



Figura 2.3 – Tanques-Rede no Reservatório Cacimba de Várzea, Paraíba

Fonte: AESA (2007)

Segundo Cyrino *et al.* (1999) se apenas 2% do potencial hídrico brasileiro fosse utilizado corretamente com a piscicultura em tanques-rede, o Brasil estaria entre os maiores produtores mundiais de pescado, superando a produção pesqueira de 1999 que foi de 774,7 mil toneladas, sendo 15,4% dessa produção proveniente da aquicultura.

Para Kubitz (2000) a criação de peixes em tanques-rede (Figura 2.3) apresenta vantagens do ponto de vista técnico, ecológico, social e econômico sobre o extrativismo e a piscicultura tradicional, por ser perfeitamente adaptável à realidade regional.

Em concordância com a legislação referente à atividade piscícola, pesqueira e de conservação ambiental, o cultivo em tanques-rede ou gaiolas, deve levar em conta a capacidade de suporte do corpo hídrico, o impacto visual do empreendimento, as flutuações do nível de água do reservatório e a renovação da água, considerando a

operação dentro do volume útil do mesmo e o nível d'água mínimo operacional, no intuito de evitar ou minimizar impactos sobre nos demais usos aos quais foram destinados os corpos hídricos.

O conflito que pode ocorrer envolvendo a piscicultura em tanques-rede em açudes de uso múltiplo refere-se principalmente, à alteração da qualidade da água, pelo impacto dessa atividade na aceleração da eutrofização e as conseqüências deste fenômeno, que pode inviabilizar seu uso para consumo humano, animal e do próprio projeto de piscicultura.

Diversos estudos partem da relação entre as cargas de fósforo afluentes ao reservatório e da concentração de fósforo permitida para ser eliminada ao reservatório pela atividade de piscicultura. A maioria dos estudiosos das alterações da qualidade da água, sejam engenheiros sanitaristas ou limnólogos, atribuem ao fósforo à capacidade de acelerar a eutrofização, favorecendo o desenvolvimento de organismos fotossintetizadores, entre eles as algas e as cianobactérias que alteram a cor, odor, turbidez, e outros atributos de qualidade, dificultando os usos múltiplos, entre eles o uso para consumo humano. Assim o fósforo total foi o parâmetro escolhido para definir o direito de outorga de uso da água para a piscicultura intensiva, ou seja, se aceita que a atividade da piscicultura intensiva altera a qualidade da água e pode prejudicar os usos múltiplos caso não se apliquem medidas integradas de gestão na bacia em questão, sendo que, dentre os usos que podem ser mais facilmente limitados ou até impedidos, se destaca a potabilização da água destinada ao consumo humano, justamente numa região que passa por crises periódicas de abastecimento.

Para Von Sperling (1996) a fixação de um valor para a concentração limite de fósforo, mais flexível ou mais restritivo, deve ser feita analisando os usos múltiplos do reservatório e seu grau de importância e as condições climáticas da região.

Independentemente do estado trófico do reservatório, os modelos de capacidade de suporte têm-se trabalhado com o valor total de $0,005\text{g/m}^3$ ou $0,005\text{mg/L}$ (fósforo total) como limite para a variação da concentração de fósforo proporcionada pela piscicultura em tanques-rede (ONO & KUBITZA, 2003). Esse valor, em função da segurança pretendida quanto ao incremento de cargas poluidoras em mananciais de usos múltiplos, é inferior à recomendação de 1/6 da concentração definida (VMP) na Resolução CONAMA nº. 357/05 para ambientes intermediários que apresentam tempo de residência hidráulica de 2 (dois) até 40 (quarenta) dias e para tributários diretos de ambientes lênticos, pertencentes à classe 2. Esse limite foi proposto devido a uma série

de incertezas relativas à concentração de nutrientes eutrofizantes, como a presença de outras fontes pontuais ou difusas de fósforo, o regime de operação dos reservatórios, as variações do nível de água dos reservatórios e a estratificação térmica do corpo hídrico (GISLER *et al.*, 2005).

2.3 Parâmetros de Qualidade da Água

O conjunto de parâmetros que definem a qualidade de uma água são atributos físicos, químicos e biológicos que permitem caracterizar a água e definir seus usos, traduzindo a sua excelência ou não para atender todos os requisitos pré-estabelecidos por normas vigentes.

A necessidade de atendimento aos padrões físicos, químicos e biológicos que atestam a qualidade da água, parte da importância que o fósforo tem no ambiente para manutenção da biota terrestre e aquática, para o consumo humano e animal, agrícola e industrial (ESTEVES, 1998).

A água constitui um dos compostos de maior importância para a vida na terra, é o solvente universal e nenhum processo metabólico ocorre sem a sua ação direta ou indireta. Nos seres vivos, a água constitui entre 60 a 99% de seu peso corporal, de acordo com o tipo de espécie e seu estágio de desenvolvimento (BLACK, 1996; TUCCI, 2004).

Durante o ciclo hidrológico a água se movimenta entre o solo e seu subsolo e na atmosfera, experimentando alterações no seu estado físico (de vapor para líquido e para sólido) e na sua qualidade, fruto das condições naturais e das inter-relações dos componentes do sistema homem-ambiente, quando o volume dos recursos hídricos é influenciado por demandas dos núcleos urbanos, das indústrias e da agricultura com as conseqüentes alterações no solo (SILVA & PRUSKI, 2005).

Para entender a qualidade da água é importante compreender que, de fato, existem qualidades, ou seja, características físicas, químicas e biológicas que variam no tempo e no espaço, em cada corpo de água e que são definidas pelos atributos ou parâmetros de qualidade. Em função de seus usos, os parâmetros mais importantes de qualidade a serem avaliados são diferentes. Entretanto, há alguns parâmetros que são essenciais à compreensão do conceito de qualidade. Entre eles se destacam a temperatura, o pH, a alcalinidade, as concentrações de matéria orgânica, a salinidade, e os macronutrientes.

- Temperatura – a temperatura é uma característica física das águas, sendo uma medida de intensidade de calor ou energia térmica em trânsito, pois indica o grau de agitação das moléculas (ESTEVES, 1998). É causada pela influência da radiação solar na água.

Com o aumento progressivo da temperatura, as concentrações dos gases (oxigênio dissolvido, dióxido de carbono, metano e outros), a viscosidade, a tensão superficial, o calor específico, a compressibilidade, a constante de ionização e o calor latente de vaporização, diminuem. O acréscimo de 10°C na temperatura reduz em até 20% a solubilidade do oxigênio dissolvido e duplica a atividade metabólica dos organismos aquáticos de acordo com a Lei de Van'T Hoof (LAWS, 1993; HELLER & PADUA, 2006).

A temperatura tem um efeito direto sobre a cinética das reações químicas, nas estruturas protéicas e funções enzimáticas dos organismos. Desta forma as atividades biológicas dos organismos aquáticos se alteram devido às freqüentes modificações do ecossistema, onde a elevação da temperatura provoca um consumo maior de oxigênio pelos organismos aeróbios. (HELLER & PADUA, 2006).

Outro fator relacionado à temperatura e de grande importância ecológica nos sistemas hídricos refere-se à estratificação térmica, que origina, na coluna de água, uma camada superficial mais quente (epilímnio) e outra inferior e mais fria (hipolímnio) separadas de forma dinâmica pelo termoclina (metalímnio). A estratificação térmica causa estratificações físicas, químicas e biológicas. Na grande maioria dos lagos e represas de regiões tropicais, devido à variação diária da temperatura (de até 18°C nos açudes nordestinos) ocorre estratificação e desestratificação durante o dia, na coluna d'água, ou seja, enquanto que durante a noite, devido ao decréscimo da temperatura na superfície, se verifica sua mistura completa. Esse fenômeno é mais fácil de ser observado nos lagos e represas com grande espelho de água e pouca profundidade. O aumento da produtividade, expresso como o crescimento de algas e cianobactérias na camada superficial, provoca aumento da turbidez com conseqüente diminuição da transparência, o que afeta a fotossíntese na coluna do corpo d'água e com isso, diminui o oxigênio dissolvido embaixo do epilímnio aumentando a concentração de CO₂ com a profundidade. Como conseqüência do crescimento algal, pode haver liberação de toxinas, surgimento de odores e sabores inadequados à água para consumo humano e animal (DI BERNARDO & DANTAS, 2005; HELLER & PADUA, 2006). A desestratificação completa, devido à perda de calor para a atmosfera depende de cada

corpo aquático sendo completa em torno das 22:00 horas à 01:00 hora da manhã nos açudes nordestinos pouco profundos. Já em lagos de regiões temperadas, a estratificação térmica é caracterizada sazonalmente, ocorrendo uma no verão e outra no outono-inverno (estratificação inversa, onde a camada inferior da água circula, por apresentar temperatura mais elevada do que a camada superior da coluna d'água (ESTEVEVES, 1998).

- Turbidez – é a medida de capacidade que a água tem em dispersar a radiação solar. É um fenômeno que pode ser expresso em termos de coeficiente de dispersão ou alguma unidade empírica como unidades nefelométricas de turbidez – UNT ou UT. A turbidez da água pode ser interpretada também como ausência de limpidez (ESTEVEVES, 1998).

As principais causas da turbidez da água são as partículas em suspensão de natureza orgânica (bactérias, fitoplâncton, detritos orgânicos) e inorgânica, sejam compostos dissolvidos como sais e outros em suspensão, como argilas, areia, etc. As partículas em suspensão de natureza orgânica são responsáveis pela cor verdadeira da água e o material em suspensão pela cor aparente (ESTEVEVES, 1998). Branco (1986) caracterizou a turbidez como biogênica (a de origem biológica) e abiogênica (a de origem inorgânica).

A turbidez bruta é um dos principais parâmetros de seleção da tecnologia de tratamento da água, da quantidade de produtos químicos a serem usados na coagulação e é um parâmetro de controle operacional para as águas de mananciais superficiais (BRANCO, 1986). Todavia, a turbidez da água bruta pode apresentar variações significativas entre períodos de chuva e estiagem. Assim, deve ser eliminada para produzir água limpa e livre de microrganismos. Estes constituem parte dos sólidos orgânicos em suspensão (SSV) e podem ficar protegidos nas partículas de turbidez dificultando sua morte na desinfecção da água

Na água filtrada, a turbidez assume uma função de indicador sanitário e estético. A remoção de turbidez por meio da filtração indica a remoção de partículas em suspensão, incluindo bactérias, vírus, fungos, cistos de protozoários e ovos de helmintos (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

- Transparência – a transparência é o oposto da turbidez. Sua avaliação mais simples é feita através de um disco branco e preto de 20 a 30 cm de diâmetro, denominado disco de Secchi, amarrado a uma corda graduada em centímetros (ESTEVEVES, 1998).

A transparência é afetada pelas partículas em suspensão como o excesso de algas e materiais inorgânicos. O excesso de nutrientes, principalmente compostos de fósforo e nitrogênio, estimula a grande multiplicação das algas, reduzindo a transparência (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Em caráter geral, a redução extrema da transparência e em consequência o aumento de turbidez, tendem a prejudicar o desenvolvimento da biota, uma vez que afetam a concentração de oxigênio dissolvido na água e a distribuição da temperatura, além de dificultar os processos de tratamento para o consumo humano (ESTEVES, 1998).

- pH – é definido como o cologarítmo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons hidrogênio. Trata-se de um termo que expressa a intensidade da condição ácida ou básica de um determinado meio (BOYD, 1997).

Nos sistemas de abastecimento de água o pH intervém decisivamente na coagulação química, no controle da corrosão, no abrandamento e na desinfecção. O pH das águas naturais continentais varia entre 6,00 e 8,00 aproximadamente. A faixa de pH entre 6,5 e 8,5 corresponde ao padrão de potabilidade em vigor no Brasil (CONAMA nº. 357/05). Os açudes nordestinos, especialmente durante o período de estiagem, apresentam valores de pH geralmente superiores a 8,00 (ESTEVES, 1998).

Adições, numa água, de ácidos como sulfúrico, clorídrico ou ácido orgânicos como o cítrico, o ascórbico entre outros, podem tornar a água rica em íons hidrogênio em relação às hidroxilas. As substâncias como soda cáustica, amoníaco e cal, ao contrário dos ácidos liberam alta concentração de íons hidroxilas, tornando a água alcalina ou básica.

Segundo Sawyer *et al.* (1994), Boyd (1997) e Esteves (1998) o pH flutua consideravelmente ao longo do dia com a profundidade da água e com a concentração de dióxido de carbono. Este gás reage com a água, formado parte do sistema carbônico e pode liberar íon hidrogênio H^+ (ácido) ou OH^- (básico). Durante o dia, os íons bicarbonato (HCO_3^-), em função da fotossíntese, são decompostos pelo metabolismo de algas e cianobactérias que após consumirem o CO_2 dissolvido na água, degradam o bicarbonato, usam o CO_2 da molécula e liberam OH^- , elevando o pH. Não é raro em sistemas aquáticos eutrofizados, observar valores de pH superiores a 8,00, e até de 12,00 ou 13,00, em especial em corpos de água tropicais. À noite, a fotossíntese pára e o dióxido de carbono proveniente da respiração dos organismos aeróbios e das próprias algas e cianobactérias se acumula na água gerando condições ácidas, ou seja, ocorre o

declínio do pH. Outros fatores que influenciam no pH têm sua origem na decomposição de rochas em contato com a água, a absorção de gases da atmosfera, a oxidação química e biológica de matéria orgânica, além da introdução de substâncias exógenas ao ecossistema, como os despejos domésticos e industriais que exacerbam os processos metabólicos de decomposição e biossíntese.

- Oxigênio Dissolvido – trata-se da concentração de oxigênio gasoso dissolvido no meio aquático. As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Sua perda ocorre devido à decomposição da matéria orgânica (no processo de respiração dos organismos decompositores aeróbios, principalmente fungos e bactérias), perdas para a atmosfera, respiração dos organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e o manganês (ESTEVES, 1998).

O nível de oxigênio dissolvido em águas naturais ou residuárias depende diretamente das atividades físicas, químicas e bioquímicas nelas existentes. A concentração de oxigênio dissolvido também está intrinsecamente relacionada com a temperatura do ambiente. Considerando aspectos físicos, quanto maior a temperatura, menor será a concentração de oxigênio dissolvido para as mesmas condições de pressão atmosférica. Entretanto, nos ambientes naturais, a maior incidência de radiação solar reflete na maior realização da fotossíntese, condicionando a liberação de oxigênio de origem biológica para o ambiente (SAWYER *et al.*, 1994; ESTEVES, 1998). Esse oxigênio biológico pode sobre-saturar a água até valores superiores a 20ppm nos momentos de máxima fotossíntese. Quando ocorre a estratificação química, condicionada na maioria das vezes pela estratificação térmica, se observa, a estratificação do oxigênio dissolvido (ESTEVES, 1998).

Dessa forma o oxigênio dissolvido apresenta, dentre as demais variáveis limnológicas, grandes variações diárias (apenas em ambientes eutrofizados). Segundo Esteves (1998) os processos de fotossíntese (produção de OD) e de respiração (consumo de OD) ou decomposição de matéria orgânica (libertação de CO₂) estão diretamente relacionados com o fotoperíodo, a intensidade luminosa e a temperatura, juntamente com fatores externos ao ecossistema como ventos e chuvas, que são fatores importantes da variabilidade da concentração do oxigênio no meio aquático.

- Condutividade Elétrica – a condutividade ou condutância específica de uma amostra de água é a medida de sua capacidade de conduzir corrente elétrica sendo dependente do número e do tipo de espécies iônicas nela dispersas (SAWYER *et al.*, 1994).

A água pura é um meio isolante, porém sua capacidade de solvência das substâncias, principalmente de sais, faz com que as águas naturais tenham, em geral, poder de condutividade elétrica. Esta condutividade depende do tipo de mineral dissolvido bem como da sua concentração. O aumento da temperatura eleva a condutividade elétrica ao favorecer a solubilidade dos sais (SAWYER *et al.*, 1994; ESTEVES, 1998).

A condutividade elétrica avalia indiretamente a concentração de íons no ambiente aquático. Quanto maior for a taxa de decomposição de matéria orgânica e de ionização das substâncias inorgânicas na água, maior será a concentração de sais dissolvidos, e conseqüentemente, a sua condutividade. A condutividade está relacionada com a dureza e alcalinidade, de modo que quanto mais elevadas sejam, maior será a condutividade.

Segundo Esteves (1998) os teores dos íons de cálcio e magnésio são importantes para a dureza da água, refletindo principalmente o teor desses íons que estão combinados com carbonatos, bicarbonatos, sulfatos e cloretos.

Os açudes nordestinos apresentam geralmente águas com elevada condutividade elétrica, fruto dos altos teores de sais dissolvidos, associados às características geológicas regionais do embasamento cristalino pré-cambriano. As numerosas fontes subterrâneas e superficiais possuem águas duras, alcalinas e salinizadas, com predominância de íons de sódio, cloretos, cálcio, carbonatos e bicarbonatos principalmente (LEPRUM, 1983).

- Alcalinidade Total – a alcalinidade total é a capacidade de uma água em neutralizar ácidos e equivale à soma de todas as bases tituláveis. Traduz-se como sendo a medida de bases na água (SAWYER *et al.*, 1994).

Este parâmetro constitui reserva de dióxido de carbono para as plantas e algas e cianobactérias. Alcalinidade acima de 20mg CaCO₃/L indica adequado poder tampão, enquanto que em condições de baixa alcalinidade (≤ 15 mg/L) a produção de fitoplâncton torna-se limitada podendo causar a síndrome do baixo oxigênio dissolvido em espécies animais, como os peixes, causando sua morte súbita junto com o plâncton (SIPAÚBA-TAVARES, 1994 *apud* LIMA, 2006).

- Carbono – é o elemento químico mais abundante na natureza é básico na composição dos organismos vivos, tornando-o indispensável para a vida no planeta. Este elemento é estocado na atmosfera, nos oceanos, solos, rochas sedimentares e está presente nos combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural). Contudo, o

carbono não fica fixo em nenhum desses estoques. Existe uma série de interações por meio das quais ocorre a transferência de carbono de um estoque para outro (fluxos) seja de forma natural ou pela ação do homem, como a exploração e queima dos combustíveis fósseis. (ESTEVEVES, 1998).

Os organismos fotossintéticos absorvem o carbono gasoso da atmosfera e dissolvido na água, na forma CO_2 . Por outro lado, vários organismos, como os animais e os próprios fotossintetizadores, liberam dióxido de carbono para a atmosfera no processo de respiração. Existe ainda o intercâmbio de dióxido de carbono entre os oceanos e a atmosfera por meio de difusão (ESTEVEVES, 1998).

Nos sistemas aquáticos o carbono se apresenta na forma gasosa inorgânica (CO_2), orgânica e na forma inorgânica dos sais, geralmente como carbonatos e bicarbonatos, relacionados com a dureza e a alcalinidade. O carbono orgânico dissolvido, segundo alguns estudos, chega a constituir cerca de 71% a 90% do carbono orgânico total (carbono orgânico detrital e carbono orgânico particulado da biota). (ESTEVEVES, 1998).

O carbono orgânico dissolvido desempenha importante papel como fonte de energia para os microrganismos e atua como agente complexador de metais, que tendem a se depositar no fundo dos corpos de água e possibilitam assim, o uso de águas superficiais poluídas por metais pesados para o abastecimento humano (ESTEVEVES, 1998).

O carbono inorgânico tem influência sobre o pH, a alcalinidade e a dureza da água. Segundo Esteves (1998) a assimilação do CO_2 pelas macrófitas aquáticas e algas, elevam o pH do meio especialmente de águas com baixa alcalinidade, ou sejam, com baixa capacidade em neutralizar ácidos (baixo poder tamponante). O carbono inorgânico na forma de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (ou seja, a alcalinidade de uma água) apresenta forte influência na capacidade do ambiente aquoso em neutralizar ácidos e esta relacionada com as concentrações desses sais. Já a dureza da água relaciona-se com o teor de cálcio, fator que pode ser utilizado para caracterizá-la quanto ao grau de dureza, termo freqüentemente utilizado em tratamento de água (ESTEVEVES, 1998).

- Fósforo Total – trata-se de um dos elementos fundamentais nos processos metabólicos dos seres vivos para o armazenamento de energia (ATP), na estruturação da membrana celular, na formação dos ácidos nucléicos, lipídios complexos, entre outros componentes vitais das células (SAWYER *et al.*, 1994).

A presença do fósforo dissolvido no ambiente ocorre por meio de fontes naturais e artificiais. As fontes artificiais mais importantes são os esgotos domésticos e industriais, e de zonas agrícolas e os contidos na atmosfera de ambientes antropizados. As fontes naturais são rochas, que através do intemperismo liberam compostos inorgânicos de fósforo, e os gases da atmosfera (BRANCO, 1986).

As formas de fósforo são: ortofosfato (P-orto), fosfato condensado (compreendendo o pirofosfato, metafosfato e polifosfato) e o fósforo combinado organicamente (ESTEVES, 1998).

Na água sua presença ocorre na forma de fósforo total, ortofosfato, fosfato particulado e fosfato orgânico dissolvido. Todas as formas de fósforo são importantes pelos aspectos limnológicos, entretanto, o ortofosfato (P-orto) assume maior importância, por ser a forma mais facilmente assimilada pelos organismos fotossintetizantes (ESTEVES, 1998).

As concentrações de ortofosfato ou P-orto em ambientes aquáticos apresentam variações em função do pH da água. Nas águas doces continentais, com pH entre 6,0 e 8,0, predominam as formas H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} . Essas formas, junto com o P-orto, são facilmente assimiladas na fotossíntese, especialmente em ambientes tropicais sob influências das elevadas temperaturas. Em açudes nordestinos podem ocorrer baixos valores de P-orto, embora as concentrações de P-total sejam altas, devido às elevadas taxas metabólicas que permitem a rápida assimilação das formas solúveis.

Vale ressaltar que parte do fósforo que entra no ambiente precipita no fundo sob ação de fatores físicos e químicos. Em águas com pH entre 5,5 e 8,0 e bem oxigenadas, a presença de íons férricos possibilita a formação de sais férricos hidratados que adsorvem fosfatos que precipitam e passam a formar parte do sedimento. Há também as bactérias ferruginosas que facilitam essa precipitação (ESTEVES, 1998). Já sob condições anaeróbicas no fundo, como pode ocorrer nos momentos de estratificação térmica da coluna de água, parte desse fósforo retorna a água, liberando-se dos complexos com ferro, o qual passa a forma reduzida (SAWYER *et al.*, 1994).

As classificações tróficas e os Índices de Estado Trófico das águas se baseiam em variáveis que correspondem a fatores físicos, químicos e biológicos. Assim, as principais variáveis utilizadas são N-NH_3 , nitrato, nitrito, fósforo total e ortofosfato (fatores químicos), transparência (fator físico) e clorofila “a” (fator biológico).

Os Índices de Estado Tróficos (IET) se relacionam com as concentrações de P-total, concentração de oxigênio na superfície e transparência da coluna de água, que

pela sua vez dependem da temperatura e seus efeitos, tais como a estratificação térmica e a produtividade primária do ecossistema. Esta última se expressa como biomassa através da concentração da clorofila “a”, também usada no cálculo do IET.

O parâmetro P-total é considerado na maioria das vezes fator limitante da eutrofização e aplicado como um indicador simples de estado trófico (SAWYER *et al.*, 1994; ESTEVES, 1998).

A Tabela 2.2 apresenta os valores do fósforo total utilizado na classificação trófica das águas. A faixa de concentração apresentada por cada autor, demonstra as variações de características entre ambientes temperados e tropicais, quanto a temperatura, o tempo de residência do fósforo total no ambiente e o pH influem na assimilação do fósforo total pelos organismos fotossintetizantes, e na sua precipitação para o sedimento.

Tabela 2.2 – Concentração do Fósforo-total no Ambiente

| ANÁLISE DE ESTADO TRÓFICO | | | |
|----------------------------------|---|-----------------|--------------------------------|
| (Fósforo-total em µg/l) | | | |
| Autor | Vollenweidaer 1968 (apud Esteves 1998) | | Von Sperling (1994) |
| Estado Trófico | Temperado | Tropical | Trop. |
| Ultra-oligotrófico | < 5 | < 10 | < 5 |
| Oligotrófico | 5-10 | > 10 | < 10 - 20 |
| Mesotrófico | 10 -30 | > 20 | 10 - 50 |
| Eutrófico | 30-100 | > 50 | 25 - 100/ > 100 |
| Hipertrófico | > 100 | > 200 | |

Fonte: Esteves (1998) e Von Sperling (1996)

O Índice de Estado Trófico (IET) é uma forma de analisar um conceito multidimensional que envolve critérios de oxigenação, de transparência, de nutrientes eutrofizantes, de biomassa (produtividade). Alguns índices mais complexos incluem a composição e concentração de fito e zooplâncton, entre outros dados, devendo-se considerar na sua interpretação a morfometria do lago. Esta constatação leva a se estabelecer índices multiparamétricos o que limitam sua utilização, devido ao número elevado de variáveis a serem consideradas (VON SPERLING, 1996). Nesse contexto, os índices de estado trófico, propostos e calculados por diversos autores têm valor genérico de caracterização da trofia nos lagos tropicais.

Usando as concentrações de clorofila “a”, transparência da água e de fósforo total, Carlson (1977) desenvolveu o Índice de Estado Trófico (IET) dos ambientes aquáticos através de análise da concentração de biomassa, avaliada através das medidas de transparência do disco de Secchi. Esta é inversamente proporcional ao somatório da absorvância da luz pela água e sólidos dissolvidos e à concentração de matéria particulada.

Para usar a transparência, transformou as leituras do disco de Secchi em \log_2 :

$$\text{IET} = 10(6 - \log_2 T_{ra}) \quad \text{Eq. (2.1)}$$

O valor foi multiplicado por 10 para se obter uma faixa de valores de 0 a 100. O autor introduz também P-total. Com análise de regressão utilizando as medidas de transparência versus clorofila "a" e fósforo total, chegou às seguintes equações:

$$\ln T_{ra} = 2,04 - 0,68 \ln Cl_a, \text{ com } n = 147 \text{ e } R = 0,93 \quad \text{Eq. (2.2)}$$

$$T_{ra} = 64,9/PT, \text{ com } n = 61 \text{ e } R = 0,89 \quad \text{Eq. (2.3)}$$

Os valores de clorofila "a" e de P-total são medidos em amostras coletadas próximo à superfície da massa de água. Verificou que o fósforo total se correlaciona bem com a transparência, quando este elemento é o ator limitante principal.

O Índice de Estado Trófico proposto por Carlson (1977) foi modificado por Kratzer & Brezonik (1981) *apud* Minoti (1999). Para seu cálculo, foram utilizadas as seguintes equações:

1. Equações de Carlson (1977), modificado por Kratzer & Brezonik (1981):

$$\bullet \text{ IET (Ds)} = 10 \times (6 - \ln Ds / \ln 2) \quad \text{Eq. (2.4)}$$

$$\bullet \text{ IET (Pt)} = 10 \times [6 - \ln 48 / (Pt / \ln 2)] \quad \text{Eq. (2.5)}$$

$$\bullet \text{ IET (Cl "a")} = 10 \times \{6 - [(2,04 - 0,68 \times \ln Cl "a") / \ln 2]\} \quad \text{Eq. (2.6)}$$

Onde:

Ds = leitura da transparência do Disco de Secchi (m);

Pt = concentração de fósforo total na superfície ($\mu\text{g/L}$);

Cl "a" = concentração do pigmento clorofila “a” na superfície ($\mu\text{g/L}$).

Os resultados obtidos com as equações anteriores são comparados aos determinados na Tabela 2.3 a seguir, para se obter o grau de trofia do corpo d'água:

Tabela 2.3 – Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977) modificado por Kratzer & Brezonik (1981)

| Estado Trófico | IET |
|-----------------------------|------------|
| Ultra – oligotrófico | < 20 |
| Oligotrófico | 21 – 40 |
| Mesotrófico | 41 – 50 |
| Eutrófico | 51 – 60 |
| Hipereutrófico | > 61 |

Fonte: Minoti (1999)

Como forma de avaliar os resultados obtidos pelo IET de Carlson (1977), desenvolvido para países de clima temperado, e melhorar sua eficiência, foi proposto um modelo simplificado para a análise do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. Para este índice, realizaram-se também, transformações lineares dos valores obtidos para as variáveis já utilizadas no modelo anterior, acrescentando-se ainda o fosfato solúvel (ortofosfato).

2. Equações de Toledo Jr. (1983):

$$\bullet \text{ IET (S)} = 10 \times \{6 - [0,64 + (\ln S / \ln 2)]\} \quad \text{Eq. (2.7)}$$

$$\bullet \text{ IET (P)} = 10 \times [6 - \ln(80,32/P) / \ln 2] \quad \text{Eq. (2.8)}$$

$$\bullet \text{ IET (PO}_4\text{)} = 10 \times [6 - \ln(21,67/\text{PO}_4) / \ln 2] \quad \text{Eq. (2.9)}$$

$$\bullet \text{ IET (Cl)} = 10 \times [6 - 2,04 - (0,695 \times \ln \text{Cl}) / \ln 2] \quad \text{Eq. (2.10)}$$

Onde:

S = leitura da transparência do Disco de Secchi (m);

P = concentração de fósforo total na superfície ($\mu\text{g/L}$);

PO_4 = concentração de fosfato inorgânico ($\mu\text{g/L}$);

Cl = concentração do pigmento clorofila “a” na superfície ($\mu\text{g/L}$).

O autor propõe a utilização de um IET médio abrangendo todas as outras equações anteriormente citadas. Para este cálculo, utiliza a seguinte equação:

$$IET = \frac{IET(S) + 2[IET(P) + IET(PO_4) + IET(Cl)]}{7} \quad \text{Eq. (2.11)}$$

Os resultados obtidos com a Equação (2.11) são comparados aos determinados na Tabela 2.4 a seguir, para se obter o grau de trofia do corpo d'água:

Tabela 2.4 – Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. (1983)

| Estado Trófico | IET |
|-----------------------|---------------|
| Oligotrófico | < 44 |
| Mesotrófico | 44 < IET < 54 |
| Eutrófico | ≥ 54 |

Fonte: Minoti (1999)

Observa-se que este IET modificado é levemente mais permissível em relação ao limite máximo entre os diferentes níveis de trofia. Um índice de estado trófico funciona como registro das atividades humanas em bacias hidrográficas, constituindo-se um indicador importante para base de planejamento, controle da eutrofização e dos usos da bacia hidrográfica (TUNDISI, 2003). Para Von Sperling (1996) as diferenças de classificação e de faixas de valores para cada autor (Tabelas 2.3 e 2.4), tornam difícil uma classificação trófica definida do corpo d'água. Devido a estes complicadores, é recomendada a adoção de avaliação da produtividade primária para uma melhor visualização do estado trófico de corpos d'água tropicais.

Os Índices de Estado Trófico apresentam faixas limites bem distintas (Tabela 2.5) caracterizando a influência do tempo de retenção do fósforo e das alterações no ambiente aquático, fruto das variações mais acentuadas da temperatura, influenciando a produtividade e o metabolismo dos organismos.

Tabela 2.5 – Concentração do Fósforo-total e Clorofila “a” e IET em Ambiente Aquático para Diferentes Estados Tróficos

| Autor | Estado Trófico | Fósforo Total (µg/L) | Clorofila "a" (µg/L) Méd ---- Máx |
|---|-----------------------|---------------------------------------|--|
| Vollenweider (1968) citado por Esteves (1998) – Ambientes Temperados | Ultraoligotrófico | < 5 | - |
| | Oligotrófico | 5 - 10 | - |
| | Mesotrófico | 10 - 30 | - |
| | Eutrófico | 30 - 100 | - |
| | Hipereutrófico | > 100 | - |
| Vollenweider (1968) citado por Esteves (1998) – Ambientes Tropicais | Ultraoligotrófico | < 10 | - |
| | Oligotrófico | > 10 | - |
| | Mesotrófico | > 20 | - |
| | Eutrófico | > 50 | - |
| | Hipereutrófico | > 200 | - |
| Von Sperling (1994) – Ambientes Tropicais | Ultraoligotrófico | < 5 | - |
| | Oligotrófico | < 10 - 20 | - |
| | Mesotrófico | 10 - 50 | - |
| | Eutrófico | 20 - 100/ > 100 | - |
| | Hipereutrófico | | - |
| Tundisi et al. (1988) – Ambientes Temperados | Ultraoligotrófico | < 4 | < 1 - < 2,5 |
| | Oligotrófico | < 10 | < 2,5 - < 8 |
| | Mesotrófico | 10 - 35 | 2,5-8 - 8-25 |
| | Eutrófico | 35 -100 | 8-25 - 25-75 |
| | Hipereutrófico | > 100 | > 25 - > 75 |
| Autor | Estado Trófico | IET – Índice de Estado Trófico | |
| IET - Carlson (1977) modificado por Toledo Jr (1983) – Amb. Tropicais | Oligotrófico | < 44 | - |
| | Mesotrófico | 44 < IET < 54 | - |
| | Eutrófico | >= 54 | - |
| IET - Carlson (1977) modificado pro Kratzer e Brezonik (19810 – Ambientes Temperados | Ultraoligotrófico | < 20 | [--- 0,34 |
| | Oligotrófico | 21 - 40 | 0,34 - 2,6 |
| | Mesotrófico | 41 - 50 | 2,6 - 6,4 |
| | Eutrófico | 51 - 60 | 6,4 – 20 |
| | Hipereutrófico | > 61 | > 20 |

Os valores refletem a variação no limite de mudança de estado trófico entre as regiões temperadas e tropicais, enfatizando valores menos restritivos para sistemas tropicais tendo em vista das maiores taxas metabólicas resultantes da intensa fotossíntese pela alta radiação solar e temperatura mais elevada ao longo do ano.

- Nitrogênio – assim como o fósforo, o nitrogênio é um dos elementos mais importantes nos ecossistemas aquáticos, devido a sua participação no metabolismo dos microrganismos, de animais e de vegetais. Proteínas e ácidos nucleicos apresentam elevadas concentrações de nitrogênio em suas moléculas (ESTEVES, 1998).

As formas de nitrogênio, em ordem decrescente de acordo com o estado de oxidação, são: nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal. Estas formas são bioquimicamente interconversíveis (SAWYER *et al.*, 1994). O nitrato e o íon amônio (NH_4^+) representam as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários (ESTEVES, 1998).

A fixação do nitrogênio molecular da atmosfera é feita por organismos procariontes (bactérias e cianobactérias) que tem a capacidade de transformar o nitrogênio molecular em nitrogênio orgânico (protéico) e as bactérias podem oxidá-lo até nitrato, repassando este elemento para as plantas aquáticas, algas e cianobactérias não fixadoras de N_2 (ESTEVES, 1998). De modo geral, nos ambientes aquáticos, as formas de nitrogênio encontram-se em diferentes concentrações, apesar de sua solubilidade na água ser relativamente baixa. Sua distribuição é heterogênea ao longo da coluna de água em ambientes produtivos. O hipolímnio apresenta-se saturado desse elemento em função de dois fatores principais: à baixa temperatura que causa aumento da solubilidade do nitrogênio e ao processo de desnitrificação que é intenso nesta região da coluna de água e que tem o nitrogênio molecular como produto final (ESTEVES, 1998).

Na água, o nitrogênio amoniacal pode estar como íon amônio (NH_4^+) ou como amônia (NH_3), dependendo do valor do pH. Valores de pH superiores a 8,5 e em particular iguais ou superiores a 9 favorecem a conversão de NH_4^+ para NH_3 , o qual dependendo de sua concentração, pode ser altamente tóxico para os organismos, em especial para os peixes.

A amônia é um composto gasoso cuja [molécula](#) é constituída por um [átomo](#) de [nitrogênio](#) (N) e três átomos de [hidrogênio](#) (H) de fórmula NH_3 . Denomina-se amonificação a formação da amônia (NH_3) resultado da decomposição anaeróbia e aeróbia da parte nitrogenada da matéria orgânica por organismos heterotróficos, que junto com a excreção de amônia por animais aquáticos, constitui fonte importante de nitrogênio na água (ESTEVES, 1998). As concentrações do nitrogênio amoniacal, dependem da variação do pH do ambiente. Quando o pH do meio passa de básico a neutro, verifica-se que NH_4^+ (íon amônia na forma ionizada) predomina, enquanto NH_3 (íon amônia não ionizada) prevalece quando o pH está acima de 10, ou seja, quando o

meio é alcalino. Por essa razão, quanto mais elevado for o pH, maior será a porcentagem da amônia total presente como NH_3 , forma não ionizada (forma tóxica) (SAWYER *et al.*, 1994).

A oxidação biológica desse composto a nitrato é denominada nitrificação. A nitrificação é um processo que usa compostos inorgânicos de nitrogênio, NH_3 e NH_4^+ como doadores de hidrogênio, sendo que, através de sua oxidação, os microrganismos obtêm poder redutor para o processo de biossíntese. O Nitrato é a forma mais estável de nitrogênio (BLACK, 1996).

Segundo Margalef (1983) a presença do nitrato em ambientes aquáticos é fortemente influenciada pela atividade de bactérias nitrificantes e desnitrificantes na coluna d'água que atuam simultaneamente, sendo uma importante fonte de nitrogênio para as comunidades aquáticas.

A nitrificação é um processo aeróbio e como tal, ocorre somente nas regiões do corpo de água onde há oxigênio molecular disponível, geralmente na coluna d'água oxigenada e na superfície do sedimento, enquanto que a desnitrificação ocorre em condições anaeróbias. Nos ecossistemas aquáticos, acontece no sedimento, onde há baixas condições de oxigenação, havendo disponibilidade de grande quantidade de substrato orgânico e na zona profunda da coluna de água.

Segundo Esteves (1998) a nitrificação e a desnitrificação são processos acoplados. Assim, no hipolímnio, no final de um período em condições anaeróbias, ocorre, em geral, grande quantidade de nitrogênio amoniacal. Com a oxigenação do meio aquático, inicia-se um intenso processo de nitrificação, que resulta no consumo de grande parte da amônia acumulada.

Durante o período de estratificação térmica da massa de água, tanto no epilímnio como no hipolímnio, as concentrações de nitrato podem ser baixas, isso se deve ao fato de que o nitrato no epilímnio, é assimilado pelo fitoplâncton e no hipolímnio com baixas concentrações de oxigênio, ocorre a amonificação do nitrato (BARBOSA *et al.*, 1988; ESTEVES, 1998).

As concentrações de nitrito são baixas, comparado com as de nitrogênio amoniacal e de nitrato na água, por ser altamente instável de fácil oxidação ou redução (ESTEVES, 1998).

O excesso de compostos de nitrogênio contribui para o processo de eutrofização do corpo hídrico. Fontes artificiais como esgotos domésticos e industriais transportam diferentes compostos de nitrogênio exógeno para o ambiente aquático, contribuindo

para a aceleração da produtividade primária e floração de algas e cianobactérias potencialmente tóxicas que prejudicam o desenvolvimento da biota e de espécies animais e podem atingir o ser humano. A eutrofização pode causar danos à saúde das populações. Os riscos à saúde são maiores quando a água eutrofizada é usada para o consumo sem tratamento adequado (BRANCO, 1986; CEBALLOS *et al.*, 2006).

A Tabela 2.6 apresenta a classificação trófica para lagos desenvolvida por Vollenweider (1968), usando valores de diferentes formas de nitrogênio (ESTEVES, 1998).

Tabela 2.6 – Classificação Trófica de Lagos Segundo as Diferentes Formas de Compostos Nitrogenados (VOLLENWEIDER, 1968)

| Tipos de Lagos | Nitrogênio Amoniacal (mg/L) | Nitrato (mg/L) | Nitrito (mg/L) |
|---------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| Oligotrófico | 0,0 - 0,3 | 0,0 - 1,0 | 0,0 - 0,5 |
| Mesotrófico | 0,3 - 2,0 | 1,0 - 5,0 | 0,5 - 5,0 |
| Eutrófico | 2,0 - 15,0 | 5,0 - 50,0 | 5,0 - 15,0 |

Fonte: Esteves (1998)

- **Parâmetros Biológicos** – referem-se à parte viva do ecossistema aquático (bactérias, protozoários, algas, cianobactérias, os crustáceos, etc.) Nos exames microbiológicos que buscam definir o grau de poluição fecal de um manancial, são detectados os microorganismos indicadores de contaminação fecal. Exames hidrobiológicos incluem a identificação de algas, cianobactérias, zooplâncton e outros, assim como a estimativa do seu número (ARAÚJO, 2005).

A clorofila “a” é o parâmetro básico de avaliação da biomassa fitoplanctônica de um corpo hídrico. A clorofila “a” é o pigmento fotossintético presente nos cloroplastos das algas e plantas e em membranas internas das cianobactérias, capaz de transformar a energia solar em energia química (BLACK, 1996). Para Esteves (1998), este parâmetro está intimamente ligado com as medidas de transparência e turbidez, uma vez que o aumento da clorofila “a” diminui a transparência do disco de Secchi e aumenta a turbidez. Essa é a turbidez biogênica, citada por Branco (1986).

A identificação de espécies fitoplanctônicas é requerida de forma obrigatória pela legislação vigente sobre a qualidade da água destinada a usos múltiplos, sobretudo o abastecimento humano (PORTARIA n.º 518/04; CONAMA n.º 357/05).

A análise biológica do conteúdo de microalgas e cianobactérias para avaliação da qualidade da água foi fortalecida pela Portaria do Ministério da Saúde n.º 518/04, após a morte de 60 pessoas submetidas à hemodiálise em uma clínica da cidade de Caruaru, estado de Pernambuco, no ano de 1996, onde a água usada apresentava-se contaminada com cianotoxinas. Essas mortes mudaram os padrões de potabilidade de todo o mundo (CEBALLOS *et al.*, 2006).

As cianotoxinas são produzidas pelas cianobactérias. São microorganismos aeróbicos fotoautotróficos. Seus processos vitais requerem somente água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz. A fotossíntese é seu principal modo de obtenção de energia para o metabolismo, a igual que as plantas e as algas (AZEVEDO, 1998). Esses microorganismos são bem adaptados em ambientes aquáticos diversos, seja frios ou quentes, embora, se multiplicam mais facilmente nestes últimos. Sua distribuição ampla se deve a sua habilidade em armazenar nutrientes e consumi-los em fases posteriores de crescimento, quando houver deficiências no ambiente, além de possuírem a capacidade de boiar e de locomover-se na coluna d'água, o que lhes permite procurar locais com melhores condições hidrodinâmicas, de luz e de nutrientes (WHO, 1999).

As toxinas produzidas por diversas espécies destes organismos são consideradas mecanismos de defesa contra os predadores, mas com a proliferação das cianobactérias nos mananciais eutrofizados, em especial os destinados para água potável, passaram a ser uma grande preocupação para as companhias de tratamento de água, pois a água contendo cianotóxicas apresenta grande risco à saúde humana, por não serem sempre eliminadas nas estações de tratamento convencional de água nem pela cloração, podendo causar problemas como irritações na pele e até mesmo a morte por parada respiratória após pouco tempo de sua ingestão (BLACK, 1996)

A Portaria do Ministério da Saúde n.º 518/04, em seu artigo número quatro, caracteriza as cianobactérias como os organismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis), capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial, especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir efeitos adversos à saúde. Segundo Heller e Pádua (2006) as cianotoxinas são substâncias que se enquadram entre as mais letais aos organismos pluricelulares.

As cianobactérias provocam impactos no ambiente nos sistemas de potabilização de água, porque entopem os filtros (colmatação) e diminuem o tempo da corrida da filtração, aumentando o consumo de água para a lavagem dos filtros, que se torna mais

freqüente, alteram a cor, o sabor e o odor da água no manancial, e mesmo na água depois de tratada, aumentam os gastos com produtos químicos e se precisa incorporar carbono ativado nos filtros. Assim, a concentração de cianobactérias limita não apenas a captação, mas também o tratamento, tornando-se um parâmetro de grande importância a ser considerado na análise da qualidade da água. A Portaria do Ministério da Saúde n.º 518/04 estabelece níveis de alerta para a captação de água num manancial e para o tipo de tratamento segundo as concentrações desses microrganismos. O artigo 19, inciso 1º, estabelece que no ponto de captação de água no manancial, o monitoramento de cianobactérias deverá ser mensal se seu número não exceder de 10.000 células/ml (ou 1mm³/L) e semanal se exceder esse valor. O inciso número dois estabelece que seja vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de cianobactérias o de qualquer outra intervenção no manancial que provoque a ruptura (lise) das células das cianobactérias, quando sua densidade seja superior a 20.00 células/ml (ou 2mm³/Litros de biovolume) sob pena de comprometimento da avaliação de risco à saúde associada às cianotóxicas.

Segundo Ceballos *et al.* (2006) ainda não existe uma técnica padronizada, simples e econômica para identificar e quantificar, na rotina das estações de tratamento de água, em curto e médio prazo, a presença da maioria dos contaminantes cianotoxigênicos no ambiente e que podem atingir os seres vivos. São necessárias políticas públicas de prevenção e controle da eutrofização, registros da qualidade da água dos mananciais, tratamentos da água e esgotos cada vez mais eficientes, além da proteção dos mananciais, através de modificações técnicas nos métodos de captação, tratamento, adução, reservação e distribuição da água.

2.4 A Qualidade da Água No Cultivo Piscícola

Devido à ação impactante da piscicultura na qualidade da água, em especial na aceleração da eutrofização, são necessários estudos que avaliem os efeitos dessa atividade nas possíveis limitações do corpo hídrico para usos múltiplos, em especial para a captação e tratamento para o consumo humano, uma vez que o cultivo excessivo de peixes contribui para o aumento de formas de fósforo e nitrogênio no ambiente aquático (BARBOSA *et al.*, 2000).

Conhecer esses impactos é fundamental para o manejo dos recursos hídricos na sua bacia hidrográfica, requerendo monitoramento periódico da atividade já instalada e

de um acompanhamento sistemático da qualidade da água em relação aos usos múltiplos, antes e durante o cultivo piscícola, considerando as variações sazonais, uma vez que períodos de chuva são geralmente aptos a essa atividade, enquanto que períodos de estiagem são limitantes (FERNANDES, 2001; IETC, 2001).

A escassez de dados confiáveis sobre a qualidade da água nos açudes nordestinos ocorre em virtude do crescimento demográfico desordenado, falta de infraestrutura de saneamento básico na maior parte dos municípios, uso arbitrário do solo e das águas, sua forte salinização natural pela geologia da região e pouco acompanhamento pelos órgãos competentes. A avaliação da qualidade da água destinada ao cultivo da piscicultura em tanques-rede é feita, sobretudo, em função da incorporação de matéria orgânica no ambiente, principalmente o composto de fósforo e nitrogênio (macronutrientes eutrofizantes) provenientes da alimentação e do metabolismo dos peixes (IETC, 2001; GISLER *et al.*, 2003).

Para Ono e Kubitzka (2003) os parâmetros ideais da qualidade da água são:

- Oxigênio dentro do Tanque-rede – maior que 60% de saturação (um valor de 4mg/L é ideal);
- pH – 6.5 a 8.0;
- Alcalinidade Total – maior que 10mg CaCO₃/L (acima de 20mg/L é o ideal);
- Dureza Total – maior que 10mg CaCO₃/L (acima de 20mg/L é o ideal);
- Amônia Tóxica – valores inferiores a 0,20mg/L;
- Nitrito – menor que 30mg/L.

A qualidade da água é agravada pelo confinamento, grande adensamento de peixes por tanque-rede e qualidade da ração, entre outros. Por isso, a alimentação que é uma importante fonte de nutrientes para o sistema aquático, deve ser controlada com o uso de rações de alta qualidade em quantidades apropriadas, minimizando os impactos ambientais (BARBOSA *et al.*, 2000). Parte dos nutrientes fornecidos através da ração é consumida pelos peixes e retirada na forma de biomassa, outra parte é eliminada nas excretas e ainda uma parte não é consumida pelo peixe. O nitrogênio e o fósforo em excesso presentes no alimento são dissolvidos na água ou permanecem em suspensão.

A manutenção da qualidade de água em viveiros de piscicultura (escavados ou os próprios tanques-rede) é requisito básico para o sucesso econômico do sistema produtivo e pode ser influenciada por vários fatores, como a origem da fonte de

abastecimento de água e o manejo alimentar. Sendo o emprego de alimentos industrializados o maior responsável pela queda da qualidade de água (IETC, 2001).

Segundo Branco (1986) uma concentração de 0,30 mg/L de nitrogênio amoniacal é suficiente para promover floração de algas. No período das florações de algas e cianobactérias, o empreendimento de piscicultura esta em risco, porque esses organismos conferem sabor desagradável à carne do peixe, devido à produção de geosmina e de 2-metillisoborneol, entre outros compostos, comprometendo o valor de mercado do peixe (BOYD, 1997).

Xavier *et al.* (1991) avaliaram a influência da floração de *Euglena sanguínea* em tanque adubado na Estação de Piscicultura do Instituto de Pesca em Pindamonhangaba, Estado de São Paulo, e constataram asfixia e perda de peso de alguns peixes, sugerindo que o excesso de adubo e a intensa respiração das algas contribuíram para a redução dos valores de oxigênio dissolvido no tanque. Ainda nesse estudo, Xavier *et al.* (1991) observaram que amônia, cujos valores variaram entre 0,77 e 1,58 mg/L, favoreceu o crescimento das algas. Altas concentrações de amônia diminuem a capacidade de combinação da hemoglobina com o oxigênio, causando morte dos peixes por asfixia. A acumulação do nitrogênio na forma de amônia é um dos principais obstáculos para o desenvolvimento intensivo de peixes. Segundo Sipaúba-Tavares (1994), as principais fontes desse elemento em viveiros de criação são os fertilizantes, os excrementos dos próprios peixes e os produtos resultantes da decomposição microbiana de compostos nitrogenados, como a própria ração utilizada na alimentação dos peixes, independentemente do estágio de desenvolvimento.

Para Schmittou (1997) *apud* Gisler *et al.* (2005) a quantidade de ração aplicada pode ser facilmente convertida em carga de carbono, nitrogênio e fósforo total, disponibilizadas para o corpo d'água. Segundo este pesquisador é relativamente constante as quantidades de nutrientes contidas na ração e aquelas liberadas nas excretas. Segundo Kubitzka (1999) devido sua maior digestibilidade e aproveitamento pelos peixes, as rações do tipo extrusado ou flutuante são as mais utilizadas em tanques-rede. Através da avaliação de cinco tipos de rações extrusadas comercializadas, identificando itens como a composição de cada ração, a taxa de conversão alimentar e o potencial poluidor, este pesquisador concluiu que:

- O uso de rações com maior teor protéico não garante melhores índices de conversão alimentar, ou seja, a qualidade da proteína é o que importa e não apenas a quantidade deste nutriente na ração;

- O uso de rações mais baratas nem sempre resultam em menor custo de alimento por quilo de peixe produzido;
- Produtos com mesmas especificações, porém de fabricantes distintos, podem resultar em desempenhos distintos;
- Quanto melhor é a qualidade da ração, considerando-se a ração própria para cada estágio de desenvolvimento do peixe, menor é o seu potencial poluente e maior é a possibilidade de produção de peixes no açude.

Para Schmittou (1997) e Ono & Kubitza (2003) a escolha de uma ração de boa qualidade por parte dos produtores piscícolas é importante, pois o impacto poluente dos alimentos permite aumentar a produção e a receita líquida obtida por área de cultivo. A definição das quantidades de arraçoamento e a taxa de conversão alimentar influem diretamente no potencial poluidor da piscicultura, pelo fato de que, a razão de consumo de ração por ganho de peso no peixe é diretamente proporcional ao potencial poluidor da ração, ou seja, quanto menor (melhor) a conversão alimentar menor o potencial poluidor. Além disso, uma melhor conversão alimentar significa utilizar menos ração para produzir a mesma biomassa de peixe, traduzindo em menor custo ou maior lucro na atividade.

A redução da entrada de poluentes é importante, tendo em vista que o acúmulo de matéria orgânica resulta em aumento da concentração de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, que possibilitam o crescimento excessivo das plantas aquáticas, algas e cianobactérias, tanto planctônicas quanto aderidas, até níveis que causem interferências aos usos desejáveis do corpo d'água. A eutrofização traz sérios problemas aos açudes, principalmente os de pequeno porte devido ao menor efeito atenuante da massa de água, além de encarecer substancialmente os custos no tratamento da água para abastecimento humano, pelo aumento de sólidos dissolvidos particulados e a eventual presença de toxinas prejudiciais aos seres humanos que aumentam os custos de tratamento (ROBERSON, 2003 *apud* CEBALLOS *et al.*, 2006).

Segundo Salas & Martino (2001) na maioria dos reservatórios artificiais da América Latina, o fósforo é o nutriente limitante do processo de eutrofização.

Segundo Vollenweider (1983) *apud* Salas & Martino (2001) a razão entre o nitrogênio e fósforo (N/P) para estimar o crescimento de algas, é de 9:1. Desta forma, lagos ou represas com a relação nitrogênio e fósforo superiores a nove podem ser considerados potencialmente limitados por fósforo, caso contrário, se apresentarem razão inferior a nove podem ser limitados por nitrogênio. Já Thomann e Mueller (1987)

apud Von Sperling (1996) sugerem que esta razão é de 10:1. De acordo com Von Sperling (2001), a demanda de nutrientes da alga é equivalente a distribuição dos mesmos na sua biomassa, e esta, é normalmente derivada da chamada relação de Redfield ($C_{106}H_{118}O_{45}N_{16}P$) e para estabelecer a razão com as concentrações de nitrogênio e fósforo na água, devem ser divididas pela respectiva massa atômica (14 e 31), ou seja, uma razão de aproximadamente 7,2:1.

Por meio de análises da floração de algumas algas no lago Wisconsin (Estados Unidos), Sawyer *et al.* (1994) observaram que o fenômeno ocorria quando as concentrações de nitrogênio e de fósforo eram iguais ou superiores a 0,30 mg/L e 0,01 mg/L, respectivamente, portanto em uma razão 30:1. A relação observada evidenciaria a maior necessidade de nitrogênio por parte dos organismos fotossintetizantes. Entretanto, o nitrogênio pode ser fixado a partir do ar atmosférico ou provir de águas de chuvas, enquanto que o fósforo possui como única fonte alóctone, os despejos industriais e agropastoris, além dos despejos domésticos com concentrações médias de 2,0 a 3,0 mg/L de fósforo inorgânico e 0,50 a 1,0 mg/L de fósforo orgânico. Daí, ser a redução total ou parcial deste nutriente a mais visada em sistemas de tratamento terciários de esgotos.

Para Barbosa *et al.* (2000) e Ono & Kubitzka (2003) a eutrofização prejudica o desenvolvimento dos peixes confinados nos tanques-rede, tornando-se um fator agravante, já que os peixes não conseguem buscar refúgio em locais com águas de melhor qualidade. Entretanto, o nível de eutrofização onde serão implantados os tanques-rede, pode ser avaliado indiretamente pela transparência da água, medida com o disco de Secchi (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 – Avaliação do Nível de Eutrofização Pela Transparência da Água e Produtividade Esperada de Peixes (Adaptado de Schmittou, sem data)

| Transparência (Disco de Secchi) | Grau de Enriquecimento de Nutrientes | Expectativa de Biomassa – TQ de Baixo Volume/Alta Densidade |
|--|---|--|
| ≥ 200cm | Pobre (Oligotrófico) | Alta (> 200Kg/m ³) |
| 80 a 200cm | Médio (Mesotrófico) | Média (Até 200Kg/m ³) |
| 40 a 80cm | Rico (Eutrófico) | Regular (Até 200Kg/m ³) |

Fonte: Ono e Kubitzka (1999)

Mesmo sendo possível desenvolver a piscicultura em ambientes eutróficos, a eutrofização uma vez iniciada, é difícil de controlar, deste modo, o atendimento dos parâmetros de qualidade da água para a piscicultura segue disposições voltadas para a boa produção e minimização dos impactos ambientais. Estes são detalhados a seguir:

- Temperatura – temperaturas entre 25°C e 35°C são ideais para essa atividade, enquanto que temperaturas acima dos 42°C e aos 12°C ou abaixo dessa temperatura, os peixes morrem (PERU, 2004).

Segundo Ono & Kubitzka (2003) o conforto térmico das espécies tropicais é alcançada dentro de faixa de temperatura entre 26°C e 30°C. A Tabela 2.8 apresenta o efeito da temperatura sobre o consumo de alimento e o crescimento dos peixes tropicais.

Tabela 2.8 – Relação Entre a Temperatura da Água e o Desenvolvimento dos Peixes Tropicais

| Temperatura (°C) | Resposta Esperada |
|------------------|---|
| > 30° | Redução no consumo de alimento e crescimento |
| 26° a 30° | Crescimento ótimo |
| < 22° | Redução no consumo de alimento e crescimento |
| < 18° | Consumo de alimento e crescimento praticamente cessam |
| 10° a 15° | Faixa letal para a maioria dos peixes tropicais |

Fonte: Ono e Kubitzka (1999)

Para os peixes a concentração de matérias em suspensão, que afeta a transparência da água, reduz a concentração de oxigênio dissolvido e eleva o pH no período diurno, além de prejudicar a excreção desses animais (PERU, 2004).

- pH – as variações do pH de um ecossistema aquático podem provocar sérias conseqüências sobre o fitoplâncton e na criação dos peixes. Segundo Silva (2001) *apud* Maia Jr. (2003) as tilápias aparentemente crescem melhor em águas com pH neutro ou ligeiramente básico, e embora apresentem boa tolerância ao pH 5,0, ou valores inferiores, ocorre baixa produção primária, que pode afetar a produção destes peixes. O pH entre 6,0 e 8,5 é ideal para as tilápias, valores abaixo de 4,5 e acima de 10,5 podem causar mortalidade significativa. Valores de pH superiores a 9,0 favorecem a formação de NH₃ (amônia) forma tóxica para os peixes.

Segundo Ono e Kubitzka (2003) variações bruscas de pH podem prejudicar o desempenho dos peixes. O ideal é que a variação diária do pH não exceda a 2 (duas)

unidades. De acordo com Kubitzka (1999) valores de amônia não ionizada (NH_3) acima de 0,20 mg/L já são suficientes para induzir toxicidade crônica e levar à diminuição do crescimento e da tolerância dos peixes a doenças. Níveis de amônia entre 0,70 e 2,40 mg/L podem ser letais para os peixes, quando expostos por curto período. Exposição contínua ou freqüente às concentrações de amônia tóxica acima de 0,02 mg/L pode causar intensa irritação e inflamação nas brânquias.

Mesmo na ausência de níveis detectáveis de amônia na água, grande elevação do pH da água durante períodos de intensa fotossíntese prejudica a excreção da amônia. Tal condição invariavelmente resulta na auto-intoxicação dos peixes pela amônia gerada em seus próprios processos metabólicos. A intoxicação por amônia é a condição principal para o estabelecimento da Doença Ambiental das Brânquias (DAB) que geralmente causa grande mortalidade de peixes em piscicultura intensiva.

Em tanques e viveiros de grandes dimensões e com pouca disponibilidade de água para renovação rápida em situações de emergência, a melhor maneira de reduzir o potencial tóxico da amônia é evitar que o fitoplâncton desencadeie grandes elevações do pH da água. Para tanto, é necessário a aplicação de estratégias de controle da população fitoplanctônica e melhoria do poder tampão da água. De acordo com Kubitzka (1999) as estratégias de controle do crescimento da população fitoplanctônica podem ser classificadas em duas categorias:

1.0) Estratégias baseadas no uso de produtos algicidas; atualmente estão proibidos pela legislação (Portaria do Ministério da Saúde nº. 518/04);

2.0) Estratégias que utilizam a manipulação da disponibilidade de nutrientes, principalmente aquela que conduz à redução dos teores de ortofosfatos solúveis na água e da penetração de luz na água.

- Oxigênio Dissolvido – é altamente limitante em ambientes de cultivo de peixes tanto sua falta como seu excesso são prejudiciais aos peixes. O excesso causa a morte dos peixes por embolia, enquanto que a falta causa a morte por asfíxia (LIMA, 2006).

Segundo Ono & Kubitzka (2003) a concentração mais adequada de OD para os tanques-rede é de aproximadamente 5mg/L. As tilápias resistem a baixas concentrações de OD, aproximadamente 3 a 3,5 mg/L, em temperaturas de 28°C a 30°C (ROSS & ROSS, 1983 *apud* LIMA, 2006). Em concentrações de 0,5mg/L, foi observado sobrevivência de tilápias por até seis horas (MAIA JR, 2003).

- Condutividade Elétrica – para os peixes de água doce, é recomendada uma dureza em torno de 0 a 75mg CaCO₃/L (SIPAÚBA-TAVARES, 1994 *apud* LIMA, 2006).

- Carbono – seu monitoramento em relação à qualidade da água para a piscicultura em tanques-rede se relaciona com o carbono orgânico dissolvido, o gás carbônico e o estado trófico do manancial. A liberação do carbono orgânico dissolvido esta vinculada a decomposição de matéria orgânica, abundante em ambientes eutrofizados, liberando grande quantidade de carbono orgânico no ambiente aquático.

Quanto ao gás carbônico, a manutenção de adequadas concentrações desse gás no interior dos tanques-rede depende da intensidade da troca de água entre estas estruturas e o ambiente aquático. De acordo com Ono & Kubitza (2003) e Silva (2001) *apud* Maia Jr. (2003), as concentrações de CO₂ no interior dos tanques-rede não deve ultrapassar 10mg/L, pois altas concentrações prejudicam a respiração dos peixes.

- Nitrogênio – em sistemas piscícolas a entrada de compostos nitrogenados ocorre principalmente através das excretas dos peixes. Segundo Schmittou (1997) a concentração de nitrogênio na ração peletizada é de 55Kg de nitrogênio para cada 1000Kg de ração, sendo que, aproximadamente 58% dessa concentração é excretada pelos peixes, o que contribui com o excesso de matéria orgânica, sobretudo em ambientes com grande biomassa de peixes.

- Amônia e Nitrito – a transformação da amônia em nitrato tem como produto intermediário o nitrito (NO₂). Concentrações de 0,30mg/L de nitrito na água são estressantes para os peixes, pois alteram a cor do sangue dos peixes. Concentrações superiores a 0,70mg/L podem ser letais para os peixes de água doce (ONO & KUBITZA, 2003).

Segundo Buras *et al.* (1987) *apud* Maia Jr. (2003) a concentração máxima de amônia para as tilápias deve ser de 8mg/L, valores acima desse valor são limitantes para o desenvolvimento desses peixes, causando mortandade. Para Ono & Kubitza (2003) níveis de amônia (NH₃) próximos de 0,20mg/L podem prejudicar o crescimento do peixes e concentrações de amônia tóxica na faixa de 0,70mg/L até 2,40mg/L podem ser letais mesmo sob exposição por curtos períodos.

- Fósforo Total – em sistemas de criação de peixes a principal contribuição do fósforo total para o processo de eutrofização do ambiente hídrico, provém da ração e das fezes dos animais, valor que varia em função do estágio de desenvolvimento dos

animais, entretanto na bibliografia são utilizados valores médios dessa concentração, independente do estágio de desenvolvimento.

Tabela 2.9 – Resultados Globais de Taxa de Excreção de Fósforo Total

| Experimento 1 (08:00 s) | Peixes Pequenos | Peixes Médios |
|--|------------------------|----------------------|
| Peso (g) | 30,4 | 51,3 |
| Taxa - Fósf. Total ($\mu\text{g PT/g peso/hora}$) | $9,17 \pm 0,19$ | $3,84 \pm 2,33$ |
| Taxa - Ortofosfato ($\mu\text{g PO}_4/\text{g peso/hora}$) | $2,18 \pm 1,40$ | $0,93 \pm 0,43$ |
| Experimento 2 (18:00 s) | Peixes Pequenos | Peixes Médios |
| Peso (g) | 30,2 | 67,6 |
| Taxa - Fósf. Total ($\mu\text{g PT/g peso/hora}$) | $8,38 \pm 2,74$ | $3,66 \pm 6,91$ |
| Taxa - Ortofosfato ($\mu\text{g PO}_4/\text{g peso/hora}$) | $5,38 \pm 0,62$ | $1,53 \pm 0,18$ |
| Experimento 3 (18:00 s) | Peixes Pequenos | Peixes Médios |
| Peso (g) | 28,5 | 62,4 |
| Taxa - Fósf. Total ($\mu\text{g PT/g peso/hora}$) | $7,06 \pm 0,91$ | $3,65 \pm 0,85$ |
| Taxa - Ortofosfato ($\mu\text{g PO}_4/\text{g peso/hora}$) | $3,06 \pm 0,63$ | $1,25 \pm 0,40$ |
| Experimento 4 (24:00 s) | Peixes Pequenos | Peixes Médios |
| Peso (g) | 30,7 | 71,9 |
| Taxa - Fósf. Total ($\mu\text{g PT/g peso/hora}$) | $4,84 \pm 0,75$ | $3,09 \pm 0,77$ |
| Taxa - Ortofosfato ($\mu\text{g PO}_4/\text{g peso/hora}$) | $1,75 \pm 0,37$ | $0,90 \pm 0,25$ |

Fonte: Starling et al. (2003)

A Tabela 2.9 descreve as análises em ciclos diurnos realizadas por Starling *et al.* (2003) em sistemas com água deionizada por 4:00 a 24:00 horas contendo tilápias pequenas e médias. A avaliação da qualidade da água mostrou que em função da maior atividade metabólica, as concentrações finais de fósforo total e ortofosfato foram maiores para os peixes pequenos. Essa análise fortalece a necessidade de sistematizar a quantidade e qualidade da ração utilizada na alimentação dos peixes, buscando o uso de rações propícias para cada estágio de desenvolvimento do pescado, uma vez que a quantidade de fósforo total na ração para peixes varia de acordo com a fase de criação, em função dos tamanhos dos pêsques, da densidade nutricional e da quantidade do alimento empregada, mas geralmente está em torno de 12Kg por tonelada de ração peletizada, onde cerca de 7Kg são liberados para o ambiente, principalmente através das excretas dos peixes (SCHMITTOU, 1997).

CAPÍTULO 3

INSTRUMENTOS DE GESTÃO E PISCICULTURA

3.0 Políticas de Recursos Hídricos

A Política Nacional de Recursos Hídricos foi instituída pela Lei nº. 9.433, de 8 de fevereiro de 1997. Segundo essa lei, a água é um bem de domínio público, é um recurso limitado e dotado de valor econômico (CAMPOS, 2001).

A Lei Federal Nº. 9.433/97, em seu art. 1º se baseia nos seguintes fundamentos:

- I - A água é um bem de domínio público;
- II - A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III - Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV - A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V - A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI - A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

No artigo 5º desta lei, estão definidos os seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- Os planos de recursos hídricos;
- O enquadramento dos corpos de água em classes;
- A outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos;
- A cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- A compensação a municípios;
- Os sistemas de informação de recursos hídricos.

Na Paraíba a Lei nº. 6.308, de 02 de julho de 1996, estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos, fixando critérios que determinam os períodos propícios para uso dos mananciais e das áreas ao seu redor, possibilitando a conservação da qualidade da água. Ambas constituem os aparatos legais que fundamentam os principais instrumentos de gestão da água na União e no Estado, dentre eles o enquadramento dos corpos aquáticos e a outorga de direito de uso dos da água.

3.1 Enquadramento dos Corpos Hídricos

O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, é um instrumento previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo fundamental no gerenciamento de recursos hídricos e no planejamento ambiental (BRASIL, 1997; RIBEIRO, 2000;). O enquadramento esteve estabelecido pela Resolução CONAMA n.º. 20 de 1986, marco legal inicial para o enquadramento dos corpos hídricos que estabeleceu para o território brasileiro nove classes de uso, com padrões de qualidade para as águas doces (5 classes), salobras (2 classes) e salinas (2 classes), uma classificação baseada na qualidade que os corpos de água deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade em relação aos usos preponderantes desejados.

Segundo a Resolução n.º. 12/00 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) esse primeiro instrumento de gestão (Resolução CONAMA nº. 20/86) baseado nos usos preponderantes visava a assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição, mediante ações preventivas permanentes. A Lei n.º. 9.433/97 dispõe que as classes de corpos de água serão estabelecidas pela legislação ambiental e delega aos Comitês de Bacia a proposição do enquadramento dos corpos de água em classes de uso para encaminhamento ao Conselho Nacional ou Estadual de Recursos Hídricos, conforme o domínio das águas.

Segundo o Art. 4º, da Resolução n.º. 12/00 do CNRH, os procedimentos para o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes deverão ser desenvolvidos em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos da bacia e os Planos de Recursos Hídricos Estaduais ou Distrital, Regionais e Nacionais e, se não existirem ou forem insuficientes, com base em estudos específicos propostos e aprovados pelas respectivas instituições.

O enquadramento dos corpos de água é um instrumento de planejamento ambiental, pois estabelece o nível de qualidade (ou classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento do corpo de água ao longo do tempo e, em função disso, são estabelecidos limites de lançamento de resíduos (RIBEIRO, 2000).

Hoje, a Resolução CONAMA n.º. 357/05 substitui a Resolução CONAMA n.º. 20/86, e atende ao enquadramento, dividindo as águas em treze classes segundo seu

grau de salinidade e seus usos. São cinco classes para águas doces, quatro para águas salobras e quatro para as salinas. A nova resolução estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e classifica as águas doces do território tendo como base os usos preponderantes. Outro marco legal é a Portaria do Ministério da Saúde nº. 518/04, que não funciona como instrumento para o enquadramento, mas, argüi sobre a responsabilidade da manutenção da qualidade da água para o consumo humano.

3.1.1 Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº. 357/2005

A Resolução CONAMA nº. 357/05 divide as águas em treze classes segundo seu grau de salinidade e seus usos. São cinco classes para águas doces, quatro para águas salobras e quatro para as salinas. A nova resolução estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e classifica as águas doces do território tendo como base os usos preponderantes assim citados:

I - Classe Especial – águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - Classe 1 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas;
- e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

III - Classe 2 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
- d) à irrigação de hortaliças e de plantas frutíferas;
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - Classe 3 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário;
- e) à dessedentação de animais.

V - Classe 4 - águas destinadas:

- a) à navegação;
- b) à harmonia paisagística.

Conforme as disposições desta resolução, os lançamentos de efluentes nos corpos hídricos, direta ou indiretamente, serão permitidas após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, padrões e exigências necessárias para evitar a degradação da água.

A Resolução CONAMA n.º 357/05 representou um considerável avanço em relação à Resolução CONAMA n.º 20/86. Diversos autores destacaram a necessidade de aperfeiçoamento da Resolução CONAMA n.º 20/86 em função de vários fatores, entre os quais:

- A aprovação de a Resolução ter ocorrido em uma época em que, no Brasil, encontrava-se pouco desenvolvidos os estudos sobre recuperação ambiental, o que deu margem a que os enquadramentos realizados apresentassem uma avaliação muito otimista das possibilidades de recuperação ambiental (PEREIRA e LANNA, 1996);
- Falha da Resolução em estabelecer claramente um regime hidrológico de referência, visto que “ao se estipular limites para diversos indicadores está se lidando com pelo menos duas variáveis aleatórias que determinam as suas concentrações: a carga do indicador e a vazão fluvial” (PEREIRA e LANNA, 1996);
- Inconsistências em padrões ambientais: ausência de parâmetros importantes em água e de padrões ambientais para sedimentos e biota; padrões ambientais muito restritivos, como o caso do fosfato; limite de detecção de alguns parâmetros muito maior que o padrão estabelecido pela Resolução (PORTO, 1997);
- Poucas classes de águas salobras e salinas (PORTO, 1997);

- Necessidade de adequação à Lei n.º 9.433/97, tornando o enquadramento um efetivo instrumento para a gestão integrada dos recursos hídricos (PORTO, 1997);
- Necessidade de prover flexibilidade à norma para que as características peculiares, de cada bacia hidrográfica, sejam obedecidas (PORTO, 1997).

A proposta de Revisão da Resolução CONAMA n.º 20/86 em 2002, e que levou posteriormente a Resolução CONAMA n.º 357/05 deu uma ênfase muito grande na discussão dos valores máximos permissíveis dos parâmetros, mas os avanços obtidos na Revisão vão além desse aspecto. Podem ser citados:

- Compatibilização com a Política Nacional de Recursos Hídricos e com o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- Compatibilização com a Resolução CNRH n.º 12/00 e com a Portaria do Ministério da Saúde n.º 518/04;
- Atualização de conceitos e padrões de gestão da qualidade da água;
- Distinção das ferramentas de enquadramento (planejamento) e de controle da qualidade da água (licenciamento e fiscalização);
- Criação de mais classes para as águas salinas e salobras, facilitando a sua classificação;
- Introdução de metas progressivas de melhoria da qualidade da água, para efetivação do enquadramento;
- Aumento do número de parâmetros e alteração de valores, tornando os padrões mais compatíveis com a realidade brasileira;
- Validação dos valores máximos dos parâmetros, para cada classe, em relação às condições da vazão de referência a ser definida pelo Comitê de Bacia (ou órgão gestor de recursos hídricos) em conjunto com o órgão ambiental competente;
- Flexibilização do uso de indicadores biológicos (organismos e/ou comunidades aquáticas) para avaliação da qualidade dos ambientes aquáticos;
- Explicitação da relação do enquadramento com outros instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (enquadramento-planos-outorga-cobrança) e da Política Nacional do Meio Ambiente (enquadramento-licenciamento-controle da poluição);
- Introdução de regras especiais para o enquadramento de rios intermitentes ou com regime de vazão com diferença sazonal significativa;

- Introdução de regras específicas para a zona de mistura de efluentes em corpos hídricos.

Na Resolução CONAMA n.º. 357/05, artigo dois, são apresentadas algumas definições conceituais importantes em quaisquer análises qualitativas de cursos de água, quais sejam:

- Classificação: qualificação das águas doces, salobras e salinas com base nos usos preponderantes (sistemas de classes de qualidade);
- Enquadramento: estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água ao longo do tempo;
- Condição de qualidade: qualificação do nível de qualidade apresentado por um segmento de corpo de água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada;
- Efetivação do enquadramento: alcance da meta final de enquadramento a partir de conjunto de medidas necessárias para colocar e/ou manter a condição de um segmento de corpo de água em correspondência com a sua classe;
- Padrão: valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente.

Na Resolução CONAMA n.º. 357/05 nos art. 14 a 17 estabelece o limite máximo (VMP: valor máximo permissível) da concentração de fósforo total (P-total) nos ambientes lênticos, lóticos e intermediários para que esses ambientes se mantenham nas classes que lhe foram atribuídas.

A classificação dos corpos de água é a base para a gestão dos recursos hídricos, que incluem a outorga e o enquadramento. A Tabela 3.1 apresenta os VMP de P-total para cada classe de água doce, segundo essa resolução.

Os valores máximos permissíveis de P-total expressos na Tabela 3.1 são padrões estabelecidos para evitar a eutrofização excessiva, mantendo o nível de trofia do corpo aquático entre mesotrófico e eutrófico. Volenweider (1968) *apud* Esteves (1998) e Von Sperling, (1996) analisaram os valores limites para cada nível de trofia e concluíram que nos países tropicais, os VMP poderiam ser mais elevados que nos países temperados, devido às altas taxas metabólicas dos microrganismos sob as condições climáticas regionais.

Tabela 3.1 - Valores Máximos Permissíveis (VMP) de Fósforo-total Para a Aqüicultura e Piscicultura

| Parâmetros | Und. | Resolução CONAMA n.º. 357/05 | | |
|---|------|------------------------------|-----------|-----------|
| | | Classe 01 | Classe 02 | Classe 03 |
| P-total (ambiente lêntico) | mg/L | até 0,020 | até 0,030 | até 0,050 |
| | µ/L | até 20 | até 30 | até 50 |
| P-total (ambiente intermediário) Tempo de Residência Hidráulica (2 a 40 dias) e Tributários Diretos de Ambientes Lênticos | mg/L | até 0,025 | até 0,050 | até 0,075 |
| | µ/L | até 25 | até 50 | até 75 |
| P-total (ambiente lótico) e Tributários Diretos de Ambientes Intermediários | mg/L | 0,10 | 0,10 | 0,15 |
| | µ/L | 100 | 100 | 150 |

Fonte: Resolução CONAMA n.º. 357/05

Entende-se que dependendo do estado trófico de um manancial, quanto maior a quantidade de fósforo gerada pela piscicultura em tanques-rede, menor será a possibilidade desse corpo hídrico absorver outras cargas de fósforo oriundas de fontes difusas e pontuais. Dentre essas fontes se destacam o lançamento de esgotos domésticos e de efluentes industriais, da drenagem de áreas agrícolas e da drenagem de áreas de matas e florestas naturais.

3.2 Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos

Segundo a Resolução n.º. 16/01 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a outorga de direito de uso de recursos hídricos é o ato administrativo mediante o qual a autoridade outorgante faculta ao outorgado previamente ou mediante o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato, consideradas as legislações específicas vigentes. A outorga visa disponibilizar o acesso à água de modo racional, condicionado à disponibilidade hídrica e ao regime de racionamento, sujeitando o outorgado à suspensão da outorga. Desta forma, na literatura, a outorga brasileira é classificada como um instrumento de comando e controle (SILVA, 1998).

Silva (1998) considera que a outorga, de um modo geral, pode ocorrer segundo três distintas doutrinas orientadoras:

- Outorga ripária - está relacionada à propriedade da terra, ou seja, o proprietário de terras ribeirinhas tem direito à água que passa no seu terreno. A possibilidade de ocorrência de conflitos pelo uso da água é grande, pois não existem critérios de usos definidos por organismos administradores. É a doutrina orientadora do uso da água na porção leste dos Estados Unidos;
- Outorga controlada - o poder público exerce controle sobre as concessões de uso da água; são observados critérios como quantidade de água solicitada e local de captação, objetivo do uso, possíveis impactos para outros usuários decorrentes da emissão ao requerente, e infra-estrutura do usuário requerente;
- Outorga transferível - está relacionada à outorga inicial, que antecede o estabelecimento de um mercado de águas, dependendo da situação prévia. Havendo direitos de água já definidos, é possível transformá-los em transferíveis, com base na situação vigente.

No Brasil, a outorga definida pela Lei nº. 9.433/97 pode ser enquadrada como outorga controlada. O poder público pode facultar o direito de uso da água sob o cumprimento pelo usuário de critérios pré-estabelecidos, podendo ainda revogar a emissão caso os critérios estabelecidos não sejam cumpridos pelo outorgado, ou em caso de interesse público, por necessidade de atendimento a situações ocasionadas por condições climáticas adversas, entre outros casos definidos pela própria Lei nº. 9.433/97.

As outorgas no Brasil podem ser estabelecidas segundo três modalidades diferentes (RAMOS, 2005):

- Concessão – Quando as obras, serviços ou atividades forem desenvolvidos por pessoa jurídica de direito público ou quando se destinarem à finalidade de utilidade pública;
- Autorização – Quando as obras, serviços ou atividades forem desenvolvidos por pessoa física ou jurídica de direito privado e quando não se destinarem à finalidade de utilidade pública;
- Permissão – Quando as obras, serviços ou atividades forem desenvolvidos por pessoa física ou jurídica de direito privado, sem destinação de utilidade pública e quando produzirem efeitos insignificantes nas coleções hídricas.

De acordo com o art. 21 da Lei nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997) os usos sujeitos à outorga são:

- 1) Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo d'água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- 2) Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- 3) Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- 4) Aproveitamento de potenciais hidrelétricos;
- 5) Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

O artigo 13 da Lei nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997) estabelece que toda outorga esteja condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso. Além disso, a outorga deverá preservar o uso múltiplo dos recursos hídricos.

Todavia, nota-se que a outorga não é um instrumento de fácil implantação e administração. Sua complexidade advém, de um lado, da própria natureza dos recursos hídricos, com seus usos e atributos múltiplos em um quadro de ocorrência estocástica e demandas crescentes, e de outro, do contexto em que se insere seu gerenciamento envolvendo interesses conflitantes e os mais distintos atores, desde os órgãos públicos gestores e entidades da sociedade civil até os usuários finais da água (AZEVEDO *et al.*, 2003).

3.2.1 Outorga Para a Piscicultura no Brasil

A autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura está caracterizada no Decreto nº. 4.895, de 25 de novembro de 2003. De acordo com o seu art. 1º, os espaços físicos em corpos d'água da União poderão ter seus usos autorizados para fins da prática de aquicultura, observando-se critérios de ordenamento, localização e preferência, com vistas ao:

- I - desenvolvimento sustentável;
- II - aumento da produção brasileira de pescados;

III - inclusão social;

IV - segurança alimentar.

Para fins da prática da aquicultura de que trata este Decreto, consideram-se da União os seguintes bens:

I - Águas interiores, mar territorial e zona econômica exclusiva, a plataforma continental e os álveos das águas públicas da União;

II - Lagos, rios e quaisquer correntes de águas em terrenos de domínio da União, ou que banhem mais de uma Unidade da Federação, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham;

III - Depósitos decorrentes de obras da União, açudes, reservatórios e canais, inclusive aqueles sob administração do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS ou da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF e de companhias hidroelétricas.

A INI (Instrução Normativa) nº. 07, de 28 de abril de 2005, em razão do artigo 19 deste código, estabelece:

I - A profundidade da área selecionada para implantação de cultivos que necessitam de arraçoamento deverá considerar a altura submersa da estrutura de cultivo mais uma distância mínima de 1,50m entre a parte inferior da estrutura e o álveo do corpo d'água, ou a relação de 1:1,75m entre a parte submersa da estrutura de cultivo e o vão livre sob a mesma, prevalecendo sempre a que for maior;

II - Não deverá existir uso conflitante no corpo d'água;

III - No caso de reservatórios deverá ser observada a cota média e a operação do mesmo;

IV - Deverá ser resguardado o fim primário do reservatório;

V - A locação das estruturas de cultivo não deve impedir o livre acesso às margens dos corpos d'água;

VI Em Unidade de Conservação deverá ser observada a legislação específica; e

VII - Serão reservadas faixas de preferência para as populações tradicionais.

Estabelece, além disso:

I - Um limite máximo de até 1,0% da área superficial dos corpos d'água fechados ou semi-abertos considerando-se o ponto médio depleção;

II - Em enseadas, baías e em mar aberto, o limite máximo a ser ocupado será definido nos procedimentos de licenciamento ambiental.

No entanto, segundo o Decreto nº. 4.895, de 25 de novembro de 2003, a falta de definição e delimitação de parques e áreas aquícolas não constituirá motivo para o indeferimento liminar do pedido de autorização de uso de águas públicas da União, ficando a mercê da Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca solicitação da reserva de disponibilidade hídrica à Agência Nacional das Águas – ANA, para cessão de espaços físicos em corpos d'água de domínio da União, que analisará o pleito e emitirá a respectiva outorga preventiva.

A outorga preventiva será convertida automaticamente pela Agência Nacional das Águas em outorga de direito de uso de recursos hídricos ao interessado que receber o deferimento da Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca para emissão da cessão de espaços físicos para a implantação de parques e áreas aquícolas, de preferência. A autorização de uso referida neste Decreto nos espaços físicos decorrentes de áreas de preferência ou de fronteira, inclusive em áreas e parques aquícolas já delimitados, será concedida a pessoas físicas ou jurídicas, observado o seguinte:

- I - Nas faixas ou áreas de preferência, a prioridade será atribuída a integrantes de populações tradicionais, atendidas por programas de inclusão social, com base em critérios estabelecidos em ato normativo de que trata o art. 19 deste Decreto;
- II - Na faixa de fronteira, a autorização de uso será concedida de acordo com o disposto na legislação vigente.

Para a ANA (2003) os dados mínimos requeridos para a implantação da atividade piscícola destinada ao cultivo em tanques-rede, são;

- I - Coordenadas geográficas dos vértices do polígono onde o conjunto de tanques-rede estará inserido: 06°16'21" de Latitude Sul e 39° 00'04" de Longitude Oeste; 06° 16'21" de Latitude Sul e 39° 00'01" de Longitude Oeste; 06° 16'18" de Latitude Sul e 39° 00'01" de Longitude Oeste; e 06°16'18" de Latitude Sul e 39° 00'04" de Longitude Oeste;
- II – Área do espelho de água ocupado pelo conjunto de tanques-rede: máximo de 1,0 ha;
- III – Volume ocupado pelos tanques-rede: máximo de 1.300,00 m³;
- IV – Produção anual máxima de peixe: 325.000 kg;
- IV – Carga máxima anual de fósforo gerada no sistema de cultivo: 2.515,50 kg/ano;
- V – Quantidade máxima diária de ração aplicada: 1.442,47 kg/dia;
- VI – Prazo de vigência desta outorga: 5 (cinco) anos.

Segundo o disposto no artigo seis, a União poderá conceder às instituições nacionais, com comprovado reconhecimento científico ou técnico, a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de seu domínio, para a realização de pesquisa e unidade demonstrativa em aqüicultura.

A aqüicultura em unidade de conservação ou em seu entorno obedecerá aos critérios, métodos e manejo adequados para garantir a preservação do ecossistema ou seu uso sustentável. O uso de formas jovens para o cultivo aqüícola ficará na responsabilidade, dentre outros, do próprio aqüicultor, que deverá comprovar por meios legais a origem das formas jovens, as quais devem provir dentre outras fontes, dos laboratórios registrados junto à SEAP.

Em 2006, a ANA recebeu cerca de 200 solicitações de outorga para a implantação de empreendimentos desse tipo em reservatórios de domínio da União e há em torno de 1,5 mil processos em análise na Secretaria Especial de Aqüicultura e Pesca (SEAP) que deveriam ter sido encaminhados à agência ao longo de 2007 (ANA, 2007).

3.2.2 Outorga Para a Piscicultura no Estado de Pernambuco

No Estado do Pernambuco a política estadual de recursos hídricos está discriminada na Lei nº. 12.984, de 30 de dezembro de 2005, que revogou a Lei n.º. 11.426, de 17 de janeiro de 1997, e instituiu, no artigo número cinco, os seguintes instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos: os planos diretores de recursos hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga do direito de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; o sistema de informações de recursos hídricos; a fiscalização do uso de recursos hídricos e o monitoramento dos recursos hídricos.

A Política Estadual de Recursos Hídricos conforme o artigo segundo do título I baseia-se nos seguintes fundamentos:

- I - A água é um bem de domínio público;
- II - A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III - Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo e a dessedentação de animais;
- IV - A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas.

V - A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implantação da Política Estadual de Recursos Hídricos e para atuação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos está fundamentada na seção I do capítulo quatro, onde segundo as disposições, estão sujeitos à outorga os usos referentes à implementação de atividades que utilizem os recursos hídricos, além de obras e serviços que possam vir a alterar o regime de qualidade e quantidade do mesmo. A concessão administrativa, modalidade de outorga referente a usos de interesse público e a autorização administrativa, modalidade de outorga referente à captação da água para outros usos, são as modalidades de outorga administrativa existentes no estado.

No que se refere ao uso aquícola, sobretudo a piscicultura, o estado não possui uma política definida a respeito de todas as exigências e padrões de qualidade para a implantação dessa atividade, talvez por isso, seja tão marcante o conflito entre as empresas que pretendem instalar empreendimentos aquícolas em reservatórios utilizados para abastecimento público, e a população, que teme a deterioração da qualidade da água.

Nesse estado, a análise dos impactos gerados por empreendimentos de piscicultura baseia-se no monitoramento periódico da qualidade da água e na avaliação preliminar da capacidade de suporte por meio do modelo desenvolvido por Ono e Kubitzka (2003), modelo utilizado também no estado da Paraíba. Entretanto, foi constatado que essa atividade em reservatórios de uso para abastecimento humano contribui para a deterioração da qualidade da água.

Fiscalizando o impacto do cultivo piscícola em tanques-rede sobre a qualidade da água dos reservatórios para abastecimento em Pernambuco, a COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) realizou um projeto piloto no reservatório do Prata, no município de Bonito, visando avaliar possíveis impactos de florações de algas cianofíceas potencialmente toxigênicas (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Esse projeto, com duração de sete meses, constou da coleta periódica de amostras de água, onde foram analisados turbidez, DBO, cor, pH, concentração de fósforo total, entre outros parâmetros. Os resultados permitiram a COMPESA não considerar adequado o desenvolvimento de empreendimentos de aquíicultura intensiva em tanques-rede em reservatórios de abastecimento público de água, a não ser em pequena escala e

dependendo das condições do manancial e da bacia hidrográfica, especialmente em relação à concentração de nutrientes, processo de eutrofização e histórico de desenvolvimento de cianobactérias. Para cada uso deve ser feito um estudo específico apropriado, com envolvimento dos diversos setores para uma gestão compartilhada do reservatório, que inclua também ações para minimizar a contribuição de outras fontes, sob pena de se contribuir para aceleração da eutrofização e seus problemas decorrentes, tais como a suspensão de abastecimento (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Este estudo reforçou a necessidade da implantação de normas específicas para o cultivo aquícola no estado de Pernambuco e pode servir de exemplo para o estado da Paraíba.

3.2.3 Outorga Para a Piscicultura no Estado do Ceará

No Ceará a outorga de direito de uso da água/licença para construção de obras hídricas, está assinalada de acordo com o disposto na Lei nº. 11.996/92 na Lei nº. 13.497/04 e nos Decretos Números 23.067/94 e 23.068/94.

Os procedimentos de outorga contemplam (SRH-CE, 2007):

- I. Requerimento/Dados do requerente;
- II. Informações do Empreendimento/Da propriedade/Posse da terra;
- III. Dados da fonte de suprimento d'água e local da captação;
- IV. Coordenadas do ponto de captação - Dados tirados da carta da SUDENE, Escala 1:100.000, ou com o uso de GPS;
- V. Características do conjunto de bombeamento;
- VI. Período de irrigação ou de uso e horas diárias de bombeamento;
- VII. Vazão máxima requerida e vazão média mensal;
- VIII. Volume total requerido e volume médio mensal;
- IX. Área total a irrigar/consumos para outros usos;
- X. Culturas, método de irrigação e período de plantio;
- XI. Instituição financeira de crédito;
- XII. Dados da fonte de suprimento d'água e local da captação.

A outorga para atividades aquícolas é emitida pela Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH, integrante do Sistema Estadual da Pesca e da Aqüicultura – SEPAQ, nos termos da Lei nº. 13.497, de 06 de julho de 2004.

De acordo com as disposições da lei específica, o projeto aquícola deverá ocupar apenas 1% do espelho d'água do reservatório, sendo 50% dessa área outorgada para particulares, e os 50% restante, outorgados para associações, cooperativas ou colônias de pescadores.

A seleção de áreas dos reservatórios para a implantação de projeto de aquíicultura é feita pela Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH, e por sua vinculada, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH, ou suas sucessoras, integrantes do Sistema Estadual da Pesca e da Aquíicultura – SEPAQ, nos termos de decisão aprovada pelo SEPAQ e que respeite os usos múltiplos dos recursos hídricos.

As normas sanitárias são seguidas em todas as etapas do ciclo produtivo. A outorga para implantação de aquíicultura em tanques-rede é deferida para projetos cujas gaiolas se situem a no mínimo 200 (duzentos) metros de distância de pontos de captação d'água dos sistemas de abastecimento público.

A Coordenadoria do Desenvolvimento da Pesca – CODEP, órgão da Secretaria do Desenvolvimento Agrário – SDA, vem intensificando programas voltados para a instalação de tanques-rede em açudes públicos. No período 2006/2007, foram investidos quase R\$ 2.000.000,00 na instalação de 781 tanques-rede para cultivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), produzindo 762,30 toneladas de pescado nesse período, beneficiando 120 famílias de baixo poder aquisitivo, com uma renda mensal de R\$ 562,50.

3.2.4 Outorga Para a Piscicultura no Estado do Rio Grande do Norte

De acordo com a Lei Estadual n.º 6.908 de 01/07/1996 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Decreto Estadual n.º 13.283, de 22/03/1997, que a regulamenta, é obrigatória a outorga de direito de uso de água com fins de abastecimento humano e animal, irrigação, piscicultura, ranicultura, aquíicultura, produção industrial, uso comercial e de prestação de serviços.

O Programa de Outorga do Direito de Uso de Água e Licença de Obras Hidráulicas foi concebido e elaborado pela Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, no âmbito da Coordenadoria de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH, e vem sendo implementado desde 1996, com área de atuação em todo o território estadual (SERHID, 2007).

Para a instalação de atividades aquícolas, dentre as quais a piscicultura, a SERHID exige alguns requisitos que devem ser seguidos à sua concessão. Dentre os quais:

- Fotocópia recente e autenticada de: Título de Propriedade prova de posse regular, cessão ou autorização de uso da área de terra onde está localizado o projeto de uso da água;
- Apresentar projeto técnico, subscrito por profissionais especialistas credenciados nas áreas de Biologia, Engenharia de Pesca, Engenharia Civil e Hidráulica, ou por empresa credenciada, contendo:
 - Documento técnico descritivo do projeto de piscicultura ou carcinicultura, incluindo a memória de cálculo das demandas de água ou requerimento hídrico mensal do empreendimento;
 - Vazão máxima diária requerida (m^3/dia) a ser utilizada da fonte de água, considerando as vazões de manutenção;
 - Plantas do planejamento físico e dimensionamento hidráulico do projeto de aquíicultura;
 - Mapa de localização do empreendimento, indicando as coordenadas geográficas do ponto de captação e como chegar à área;
 - Gráficos, tabelas, e outros elementos pertinentes ao projeto que sejam esclarecedoras;
 - Tempo médio de bombeamento diário ou de derivação de água para a manutenção dos viveiros e enchimento dos mesmos;
 - Volume de água mensal, requerido pelo projeto, e para os 12 meses do ano.
- Apresentar análise da qualidade de água do manancial para caso de uso na piscicultura e outros usos, ou seja, análise físico-química específica da água;
- No caso de captação de água de rios, riachos ou canal, informar o nome conhecido na região indicando a localização exata no município e na bacia hidrográfica, informando a vazão aproximada (m^3/s), assinado por técnico credenciado, responsável;
- No caso de captação de água de açudes ou lagoas, informar o nome conhecido na região indicando a localização exata no município e na bacia hidrográfica, a capacidade de acumulação (m^3) e profundidade máxima estimada do reservatório, assinado pelo técnico responsável;

- No caso de captação de água de poços, anexar a “Ficha Técnica do poço”, indicando a sua localização exata e a bacia hidrográfica a que pertence, contendo:
 - Informações de vazão máxima de exploração (m³/hora);
 - Profundidade do poço; nível estático e nível dinâmico das águas subterrâneas;
 - Teste de bombeamento, assinado por técnico ou empresa credenciada.
- Apresentar análise da qualidade de água do poço;
- Independente do tipo de captação deve-se apresentar: Licença Prévia do órgão estadual de meio ambiente, IDEMA/RN.

De acordo com o Decreto Estadual nº. 13.283, de 22/03/1997, em seu artigo 21, é de 35 (trinta e cinco) anos o prazo máximo de vigência da outorga de direito de uso de água, podendo ser renovado a critério da Secretaria de Recursos Hídricos - SERHID ou de entidades por ela delegada para gerenciamento dos recursos hídricos estaduais, cabendo aos atuais usuários, que não disponham de outorga de que trata este regulamento, o prazo de 180 (cento e oitenta) dias para requerê-la, na forma estabelecida neste regulamento, conforme o artigo 22 do mesmo decreto.

CAPÍTULO 4

ÁREA DE ESTUDO



4.0 Área de Estudo

4.1 Aspectos Legais e Institucionais no Estado da Paraíba

a) Outorga Para a Piscicultura no Estado da Paraíba

A Paraíba vem outorgando água para usos múltiplos desde 1997. Tem apresentado avanços tanto em termos dos aspectos legais como no desenvolvimento de ferramentas técnicas para apoiar a gestão e o planejamento de recursos hídricos através da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs). A AESA foi criada pela Lei Estadual nº. 7.779 de 07 de julho de 2005, sob a forma jurídica de uma Autarquia, estando vinculada a SECTMA (Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente) conforme o artigo número três da lei citada é objetivo da AESA o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais de domínio do Estado da Paraíba e de águas originárias de bacias hidrográficas localizadas em outros Estados que lhe sejam transferidas através de obras implantadas pelo Governo Federal e, por delegação, na forma da Lei de Águas de Domínio da União que ocorrem em território do Estado da Paraíba.

A outorga esta fundamentada no Plano Estadual de Recursos Hídricos, contemplado pela Lei Estadual de Recursos Hídricos nº. 6.308, de 02 de julho de 1996, e em decretos. Na Paraíba, os usos da água que envolva: derivação ou captação de parcela de recursos hídricos existentes em um corpo d'água, para consumo final ou para insumo de processo produtivo; lançamento em um corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos com o fim de sua diluição, transporte e assimilação de esgotos urbanos e industriais; qualquer outro tipo de uso que altere o regime, a quantidade e a qualidade da água, dependerá de prévia outorga da Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais, segundo o art. 6º do Decreto nº. 19.260, de 31 de outubro de 1997.

Em caráter mais detalhado, na Paraíba, dependem de outorga: abastecimento humano e animal; irrigação; aqüicultura (piscicultura, carcinicultura, etc.); usos industriais e comerciais; lazer; lançamento de efluentes (esgotos) em corpos d'água para fins de diluição, transporte e assimilação; outros tipos de uso que alterem o regime, a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos.

São dispensados de outorga de direito de uso de água, a captação direta na fonte, superficial ou subterrânea, cujo consumo não exceda de 2.000 L/h (dois mil litros por hora), sendo vedada a outorga para lançamento em corpos d'água de resíduos sólidos, radioativos, metais pesados e outros resíduos tóxicos e lançamento de poluentes em águas subterrâneas.

A outorga pode se constituir de:

I - Cessão de uso, a título gratuito ou oneroso, sempre que o usuário seja órgão ou entidade pública;

II - Autorização de uso que consiste na outorga passada em caráter unilateral precário, conferindo ao particular, pessoa física ou jurídica, o direito de uso de determinada quantidade e qualidade de água, sob condições explicitadas;

III - Concessão de uso que consiste na outorga de caráter contratual, permanente e privativo, de uma parcela de recursos hídricos, por pessoa física ou jurídica, que dela faça uso ou explore segundo sua destinação e condições específicas.

A outorga terá vigência mínima de 10(dez) anos, podendo ser renovado a critério da SECTMA. Na Paraíba as atividades aquícolas (entre elas a piscicultura) são regularizadas através da Secretaria de Estado do Desenvolvimento da Agropecuária e Pesca – SEDAP, e através do Conselho Estadual de Pesca e Aqüicultura – CONESPA, que tem função consultiva, informativa e de assessoramento à SEDAP, com a finalidade de propor a formulação de políticas públicas, para promover a articulação e o debate dos diferentes níveis de Governo e da sociedade civil organizada, para o desenvolvimento e o fomento das atividades da pesca e da aqüicultura no Estado da Paraíba.

Para a obtenção da outorga de direito de uso da água para implantação de atividade piscícola, é necessário que o produtor, obtenha e preencha corretamente o Roteiro de Análise dos Processos de Piscicultura, descrito pela AESA, este roteiro apresenta algumas exigências, dentre as quais:

- Local de implantação do projeto, município, bacia e sub-bacia hidrográfica (se for o caso);
- Indicação das coordenadas geográficas dos vértices do polígono da área a ser ocupada pelos tanques-rede dentro do corpo hídrico, observando a distância mínima dos tanques até ao corpo da barragem, que será sugerida de acordo com porte e tipos de utilização do açude;
- Informar as espécies a serem cultivadas (nome popular e científico);

- Indicar número de tanques-rede, área dos tanques, formatos e medidas;
- Indicar número de animais /tanque, produção mensal e anual;
- Identificar previamente impactos ambientais passíveis de ocorrência em função da implantação do projeto e proposição de medidas mitigadoras que visem à manutenção dos padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução CONAMA nº. 357/05, de acordo com as finalidades de uso da água do açude;
- Quanto à capacidade de suporte do lago, devem constar as bases de dados que forem usados nesse cálculo, detalhes de como foi feito, formulas, bibliografias e o cálculo da determinação dessa capacidade suporte, segundo o modelo de avaliação desenvolvido por Ono e Kubitza (2003);
- Incluir no projeto o programa de monitoramento da qualidade da água da barragem. Na descrição desse monitoramento, devem-se indicar os pontos de amostragem, nível e altura da coluna de água a ser monitorado, número de pontos, hora do dia, preservação das amostras, laboratório de referência que será usado para efetuar essas análises e metodologias de análises. Sugere-se incluir no monitoramento mensal, além dos parâmetros mais comuns, outros como: Fósforo Solúvel, Nitrato, Coliformes Termotolerantes e Contagem do Fitoplâncton com identificação das espécies predominantes (Portaria do Ministério da Saúde nº. 518/04);
- Antes da instalação do projeto, é condição básica fornecer a AESA análise completa da qualidade da água do açude nos seguintes locais:
 - Onde serão colocados os tanques-rede;
 - Em cada um dos pontos do açude a serem monitorados durante a execução do projeto, para controle de qualidade da água e que, portanto, deverão estar incluídos no Plano de Monitoramento da Qualidade da Água, a ser apresentado.
- É importante ressaltar que em açudes que tenham captação de água para consumo humano, segundo o Decreto nº. 4.895, de 25 de novembro de 2003, a instalação do conjunto dos tanques-rede deverá assegurar uma distância mínima da captação (100 metros) para que sua área de influência não prejudique o tratamento e abastecimento da água.

A SEAP foi a responsável pelo desenvolvimento inicial da piscicultura em tanques-rede. A espécie escolhida para cultivo foi a tilápia do Nilo, em função de sua

adaptação às condições climáticas do semi-árido nordestino e viabilidade econômica no cultivo. A licença para os projetos de piscicultura em tanques-rede na Paraíba são concedidos para pequenos piscicultores que se unem em associações ou cooperativas, que conseguem o apoio financeiro e técnico. Geralmente estes projetos são planejados para oito tanques-rede por família, para que estas possam obter sua renda.

No projeto instalado no reservatório Acauã são beneficiadas 21 famílias, possibilitando um total teórico de 168 tanques-rede (Figura 4.1). Porém, nem todos os tanques-rede foram colocados dentro d'água e, mesmo sem toda a produção planejada, a geração de renda mensal é de cerca de R\$ 400,00 por família (AESAs, 2007). Nesse projeto, a análise do oxigênio dissolvido, tendo em face à qualidade da água desse reservatório, denota altas variações, segundo a medição realizada com oxímetro portátil, a concentração de oxigênio dissolvido encontra-se na faixa de 4,0 mg/L (às 4 horas da manhã) chegando à 16 mg/L (entre às 13 e 14 horas da tarde) em dias normais de insolação. Em um caso particular de dias nublados, a concentração de oxigênio no horário de pico estava em 1,5 mg/L esperando concentração ainda menor no período noturno; neste dia cerca de mil peixes morreram por falta de oxigênio nos tanques-rede (AESAs, 2007).



Figura 4.1 – Tanques-Rede no Reservatório Acauã, Paraíba

Fonte: AESA (2007)

A análise dos impactos gerados por empreendimentos de piscicultura intensiva em açudes de usos múltiplos (abastecimento humano, recreação, captação para irrigação, entre outros.) baseiam-se no monitoramento periódico da qualidade da água e na avaliação preliminar da capacidade de suporte por meio do modelo desenvolvido por Ono e Kubitza (2003). Este modelo se baseia na estimativa da carga admissível e concentrações máximas permitidas de fósforo total nos açudes, através de modelagem matemática simplificada. O teor de fósforo total na ração e a taxa de conversão alimentar da espécie de peixe cultivada são utilizados para a definição das condições de outorga, estimando a capacidade produtiva máxima dos açudes, segundo as condições dadas pelos projetos de piscicultura. O cumprimento adequado dessas exigências possibilita para a atividade piscícola, um desenvolvimento que não venha a impactar o meio ambiente, nem prejudicar os demais usos da água dos mananciais.

b) Enquadramento dos Corpos Hídricos na Paraíba

O enquadramento dos corpos de água é um instrumento previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo fundamental no gerenciamento de recursos hídricos e no planejamento ambiental (RIBEIRO, 2000).

No Estado da Paraíba o enquadramento foi realizado pelo Conselho de Proteção Ambiental – COPAM, em 1988, através das Diretrizes 204, 205, 206, 207, 208, 209 e 210, que dispõem sobre o Enquadramento dos Corpos de Água das Bacias Hidrográficas do Rio Piranhas, do Rio Paraíba, do Rio Mamanguape, do Rio Curimataú, dos rios do Litoral e Zona da Mata, do Rio Jacu e do Rio Trairi, respectivamente (PERH, 2007). Os reservatórios foram enquadrados na classe 2 e até o momento não foi feito nenhum re-enquadramento e, portanto, estão vigentes aqueles citados, ou seja, todos os reservatórios permanecem enquadrados na classe 2. Todavia, para os corpos hídricos não enquadrados, a Resolução CONAMA nº. 357/05 considera o enquadramento de fato, em classe 2.

c) Monitoramento dos Mananciais

Na Paraíba, existem 9.985 açudes, sendo que apenas 192 possuem capacidade superior a 300.000,00 m³, chegando a acumular cerca de 4,0 bilhões de metros cúbicos. Outros 9.793 açudes, com capacidades inferiores a 300.000,00 m³, podem chegar a

acumular 1,3 bilhões de metros cúbicos, sendo todos destinados ao abastecimento humano (PARAÍBA, 2006). O monitoramento da qualidade da água pela Superintendência do Meio Ambiente (SUDEMA) restringe-se à análise dos mananciais destinados ao abastecimento humano (192 açudes com capacidade superior a 300.000,00 m³) (Figura 4.2). A falta de séries extensas de dados do monitoramento qualitativo em grande parte dos mananciais paraibanos quanto às concentrações dos principais parâmetros eutrofizantes (fósforo total, ortofosfato, nitrato, nitrito e amônia) limitam estudos de modelagem (AESAs, 2007; PERH, 2007). De acordo com o PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (2007), todas as bacias hidrográficas do Estado apresentam impactos de origem antrópica, que alteram a qualidade e a quantidade da água.

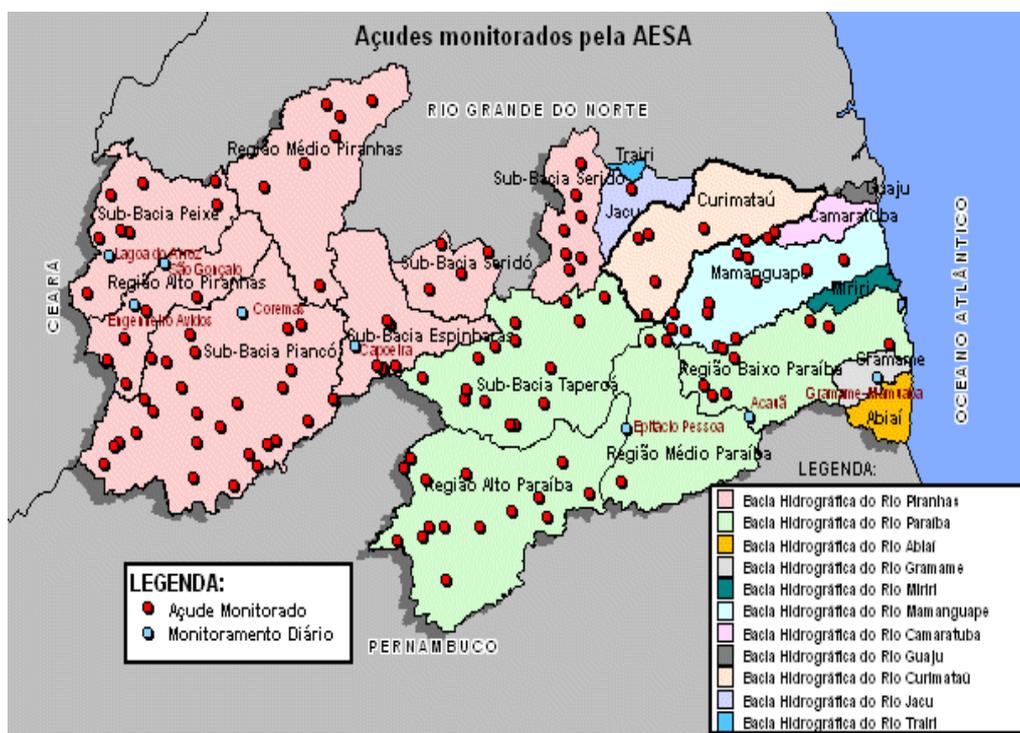


Figura 4.2 – Reservatórios Monitorados Pela AESA

Fonte: AESA (2007)

Os dados apresentados pela AESA (2007) sobre a concentração de poluentes nos mananciais do estado mostrou que a relação entre o nitrogênio e fósforo (N/P), em muitos açudes (inclusive aqueles onde não é desenvolvida a piscicultura em tanques-rede) apresenta valores inferiores a nove, indicando que o crescimento algal pode estar sendo limitado pela concentração do nitrogênio, acarretando sérios riscos para os usos

da água para consumo, pois a real limitação pelo nitrogênio pode significar um ambiente favorável para a proliferação de cianobactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico. Além disso, foi constatado que todos os reservatórios possuem valores de concentração de fósforo total superiores ao limite (VMP) estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357/05, para ambientes lênticos classe 2, em de 0,030 mg/L e em 0,050 mg/L para ambientes aquáticos intermediários com tempo de residência entre 2 e 40 dias.

Por está inserido no semi-árido nordestino, as variações no nível de água dos reservatórios da Paraíba ao longo dos períodos de chuvas e estiagens devem ser avaliadas na análise de qualidade da água e nos processos de outorga. Também devem ser considerados os efeitos dos impactos externos na massa de água, em consequência da elevada taxa de evaporação, que junto aos usos múltiplos reduzem o volume acumulado em curto espaço de tempo. As consequências se refletem no aumento da concentração dos sais e dos macronutrientes trazidos pelas chuvas e os aportados continuamente pelos afluentes, alterando drasticamente a qualidade da água. De acordo com o PERH (2007), os açudes mais afetados são aqueles com menos de 300.000,00 m³, os quais chegam a perder mais da metade de seu volume nos primeiros quatro meses de estiagem. No Estado da Paraíba, todos os açudes destinados aos usos múltiplos e em particular aqueles que incluem o abastecimento humano devem sustentar a oferta de água com garantias elevadas (90% a 100%), entretanto, isto só ocorre com aqueles com mais de 20.000.000,00 m³, enquanto os outros são extremamente vulneráveis.

4.2 Características Gerais da Região do Médio Curso do Rio Paraíba

A Região do Médio Curso do Rio Paraíba (Figuras 4.3 e 4.4) situa-se ao sul do Planalto da Borborema e se limita ao sul com o estado de Pernambuco, a oeste com a Sub-bacia do Rio Taperoá e a Região do Alto Curso do Rio Paraíba e a leste com a Região do Baixo Curso do Rio Paraíba. Situa-se entre as latitudes 7°3'50'' e 7°49'13'' Sul e entre as longitudes 35°30'15'' e 36°16'38'' a Oeste de Greenwich.



Figura 4.3 – Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba

Fonte: UFSM/UFCG (2006)



Figura 4.4 – Região do Médio Curso do Rio Paraíba

Fonte: UFSM/UFCG (2006)

O Médio Curso do rio Paraíba abrange uma área de aproximadamente 3.797,58 km². Recebe contribuições de vários cursos d'água como os rios Ingá, São Pedro e Catolé além do riacho Bodocongó.

Os dados de evaporação, obtidos a partir de tanque classe A, variam entre 2.200 a 3.000 mm/ano. Os dados pluviométricos indicam precipitação média anual entre 600 a 1.100 mm, com valores decrescentes de leste para oeste. Em termos de valores médios anuais, a umidade relativa do ar varia de 68% a 85%, com valores máximos nos meses de junho a agosto e os mínimos de novembro a janeiro. A insolação ao longo do ano apresenta variações diárias nos meses de janeiro a julho de 7 a 8 horas e nos meses de agosto a dezembro de 8 a 9 horas. Quanto à velocidade média do vento, esta não apresenta valores significativos, oscilando entre 2,0 e entre 4,0 m/s (PERH, 2007).

O relevo da área do planalto da Borborema apresenta três faixas de transição entre a Depressão Sublitorânea e a região da Serra da Borborema, no município de Campina Grande com setores ondulado, forte ondulado e montanhoso (PERH, 2007). Os solos são dos tipos: Bruno Não Cálcico de pouca espessura, Litólicos, Solonetz, Solodizado, Regossolos e Cambissolos. A litologia da Região do Médio Curso do rio Paraíba apresenta predominância do complexo cristalino sobre terrenos sedimentares e

ocorrências de rochas vulcânicas e plutônicas de idades diversas - graníticas e vulcânicas (PERH, 2007).

Tabela 4.1 – População Urbana e Rural da Região do Médio Curso do rio Paraíba

| Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba /Municípios/Distritos | População | |
|--|-------------------|-------------------|
| | Urbana | Rural |
| Alcantil | 1.707 | 3.359 |
| Aroeiras | 6.462 | 12.712 |
| Barra de Santana | 624 | 7.995 |
| Boqueirão | 11.148 | 4.729 |
| Campina Grande | 352.423 | 18.637 |
| Caturité | 749 | 3.718 |
| Gado Bravo | 629 | 7.607 |
| Natuba | 2.991 | 7.049 |
| Puxinanã | 3.405 | 9.504 |
| Queimadas | 18.395 | 20.488 |
| Riacho de Santo Antônio | 812 | 712 |
| Santa Cecília do Umbuzeiro | 1.218 | 5.790 |
| Umbuzeiro | 3.513 | 5.501 |
| Região do Médio Curso do rio Paraíba | 404.076,00 | 107.801,00 |

Fonte: IBGE (2007)

A vegetação natural dominante é do tipo Caatingas hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia (PERH, 2007).

Nesta região estão total ou parcialmente incluídos os municípios de Alcantil, Aroeiras, Barra de Santana, Boqueirão, Campina Grande, Caturité, Gado Bravo, Natuba, Puxinanã, Queimadas, Riacho de Santo Antônio, Santa Cecília e Umbuzeiro, de acordo com a tabela 1, onde os quais reúnem mais de 500.000,00 habitantes nas zonas urbanas e rurais. As principais fontes econômicas são a agricultura e a indústria, destacando-se indústrias alimentícias e laticínios, sobretudo, na cidade de Campina Grande. A agricultura apresenta destaque das culturas de algodão arbóreo, banana, cajú, manga e côco da baía, cuja área de cultivo, em 2003, correspondeu a 1.450ha (SILVA, 2006).

Nesta região se encontra o quarto maior reservatório do estado, Acauã, formada a partir do barramento do rio que dá nome a bacia (Rio Paraíba) e do rio Paraibinha (AESA, 2007). Acauã corresponde ao último barramento de uma série em cascata de açudes de médio e grande porte. Possui uma área de espelho d'água de 1.876,88ha e 253.142,247 m³ de capacidade máxima de acumulação, com profundidade máxima de

40 m e média de 25m. Sua bacia hidráulica tem área de 1.725ha, abrangendo as zonas rurais dos municípios de Itatuba, Aroeiras e Natuba (AESAs, 2007).

4.3 Potencialidades Hídricas da Região do Médio Curso do Rio Paraíba

O potencial hídrico de uma bacia ou sub-bacia corresponde à vazão natural anual média, ainda sem intervenção humana (a bacia hidrográfica é considerada no seu estado natural), calculada pela média de vazões anuais. Essa média é determinada a partir de uma série representativa das condições de escoamento natural dos recursos hídricos (SEMARH, 2004).

Segundo o PERH (2007) a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba tem potencialidade superficial e subterrânea de $31,53\text{m}^3/\text{s}$ e $189,53\text{hm}^3/\text{ano}$, respectivamente, sendo de $4,68\text{m}^3/\text{s}$ a potencialidade superficial e de $19,73\text{hm}^3/\text{ano}$ a potencialidade subterrânea da Região do Médio Curso do Rio Paraíba.

4.4 Características da Ocupação da Região do Médio Curso do Rio Paraíba

Na Região do Médio Curso do rio Paraíba a maior parte das terras destina-se a pecuária, agricultura, além da ocupação humana. Sobre o ponto de vista hídrico, as diversas atividades humanas (abastecimento público, irrigação, indústrias, recreação, aqüicultura, dessedentação de animais, entre outros) exigem usos múltiplos destes recursos que junto com a falta de fiscalização por parte do poder público e falta de educação, sobretudo ambiental, por parte da população, tendem a degradar de forma progressiva os recursos hídricos dessa região.

Silva (2006) quantificou a carga de poluentes oriundos do uso humano, industrial e da irrigação que são lançados nessa bacia, entre abril de 2003 e março de 2004. Para a determinação destes dados, a autora necessitou de levantamentos de campo na área de estudo, incluindo amostragem dos poluentes, análises de laboratório, medição de vazões entre outros, entretanto, como não foi possível a execução de todos estes itens, fez-se complementos com cálculos a partir de dados da literatura de Von Sperling (1996).

A quantificação das cargas poluidoras dos parâmetros (DBO e DQO) representativos da poluição dos usuários urbanos e rurais foi realizada da seguinte maneira: para a quantificação das cargas poluidoras de DBO utilizou-se a Equação (4.1)

sendo a carga “per capita” de DBO da ordem de 45 a 60 g/hab.dia, usualmente adotada como 54g/hab.dia (VON SPERLING, 1996). De posse do número de habitantes ora da bacia, ora dos municípios multiplicado pela carga per capita estimou-se a carga poluidora potencial referente a este parâmetro.

$$\text{Carga (Kg DBO/dia)} = \frac{\text{população(hab)} \cdot \text{carga per capita (g/hab/dia)}}{1000 \text{ (g/kg)}} \quad \text{Eq. (4.1)}$$

Quanto à carga poluidora de DQO, a carga per capita foi tomada como sendo 2xDBO, ou seja, a carga poluidora de DQO é igual ao dobro da carga poluidora de DBO (VON SPERLING, 1996).

Para o setor irrigação, a estimativa da carga poluidora foi realizada conforme a Equação (4.2) para os parâmetros fósforo total (P-total) e nitrogênio orgânico(N) considerados como representantes deste usuário. A contribuição por unidade de área foi obtida do estudo de Pereira *et al.* (1999) para fontes difusas rurais, sendo a contribuição para fósforo total de 0,0008 ton/ha.ano ($2,22 \cdot 10^{-03}$ kg/ha.dia) e para nitrogênio orgânico 0,0026 ton/ha.ano ($7,22 \cdot 10^{-03}$ kg/ha.dia).

$$\text{Carga (kg/dia)} = \text{contribuição/und. de área (kg/km}^2\text{)} \cdot \text{área (km}^2\text{)} \quad \text{Eq. (4.2)}$$

Os resultados obtidos pelo autor referentes às cargas poluidoras lançadas no ambiente estão descritos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Cargas Poluidoras Lançadas

| Usuário | Kg de P/Ano | Kg de N/Ano |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Irrigação | 812,00 | 2.639,00 |
| Usuário | Kg de DBO/Ano | Kg de DQO/Ano |
| População (Urbana e Rural) | 9.224.474,40 | 18.448.948,80 |
| Usuário | Kg de DBO/Ano | Kg de DQO/Ano |
| Indústria | 122.579,18 | 245.158,36 |

Fonte: SILVA (2006)

P – Fósforo Total; N – Nitrogênio;

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO – Demanda Química de Oxigênio

As quantificações dos parâmetros de qualidade da água para essa região apresentados por Silva (2006) e pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (2007), evidenciam poluição marcante em duas fontes hídricas importantes, o riacho de Bodocongó e o reservatório Acauã.

a) Riacho Bodocongó

O riacho Bodocongó, afluente do médio curso do Rio Paraíba, deságua a jusante do reservatório Epitácio Pessoa, causando uma preocupação no planejamento e gestão dos recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba. O riacho, com uma extensão aproximada de 75 km, nasce à jusante do reservatório de Bodocongó, na cidade de Campina Grande, onde é usado para diluição de efluentes de uma indústria de papel, e recebe aportes de esgotos domésticos ao longo de todo seu percurso, até chegar ao bairro da Catingueira. Ali descarregam, no seu curso, o efluente final da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da cidade de Campina Grande. Esses esgotos são parcialmente tratados na ETE devido às falhas de funcionamento no sistema. As águas do riacho de Bodocongó, após receberem o efluente final da ETE, deságuam no rio Paraíba, no município de Barra de Santana. No seu percurso até o reservatório Acauã, o rio Paraíba recebe outras contribuições de esgotos, provenientes de córregos de cidades não saneadas e situadas nessa parte do Médio Curso do rio Paraíba (PERH, 2007).

O reservatório Acauã foi construído para abastecer com água potável as populações de Natuba e de outros municípios próximos assim como para contribuir com o abastecimento de Campina Grande, em particular nos meses de crises pelas estiagens mais prolongadas (PERH, 2007). Um estudo encomendado pela SEMARH (2000) sobre o impacto das águas do riacho de Bodocongó no reservatório Acauã dividiu o riacho em três trechos: alto, médio e baixo. Embora os estudos se concentrassem no baixo curso, o relatório verificou que a poluição se inicia com os córregos contribuintes ao Reservatório de Bodocongó, na zona urbana de Campina Grande. Dessa forma o Alto Curso do riacho de Bodocongó (de aproximadamente 10 km de extensão) já é poluído e nessa seção descarregam esgotos industriais, além dos esgotos de áreas não saneadas de Campina Grande. No trecho caracterizado como Médio Bodocongó, a carga de poluentes aumenta significativamente pelo lançamento dos esgotos de diferentes bairros e no baixo Bodocongó, recebe o efluente final da ETE de Campina Grande, tornando o riacho de Bodocongó um transportador de esgoto “in natura”.

Os resultados qualitativos mostraram elevados teores de fósforo total e das diferentes formas de N nesse riacho e que chegavam até o reservatório Acauã. As concentrações de P-total, das diferentes formas de Nitrogênio e de DBO₅ eram superiores aos VMP para esse tipo de corpo hídrico, enquadrado pela COPAM (Conselho Estadual de Política Ambiental) em classe 2 (dois), e destinado a usos múltiplos. Embora a contaminação com coliformes fecais era elevada no riacho, havia diminuição no percurso do rio, atingindo o açude concentrações mais baixas. (SEMARH, 2004).

b) Reservatório Acauã – Local de Estudo

A construção deste reservatório teve por objetivo gerar uma nova fonte de abastecimento para as cidades de Natuba e Campina Grande, entre outras. Sua construção apresentou problemas de ordem econômica, social e política. Dentre os problemas sociais, se destaca o deslocamento das populações das comunidades de Cajá e Melancia, que tiveram interrompidas as suas atividades agrícolas de subsistência, além do forte impacto na criação de animais de pequeno porte. A qualidade da água do reservatório Acauã sintetiza as informações das principais cargas poluidoras dos ambientes a montante de sua bacia (LINS, 2006; AESA, 2007).

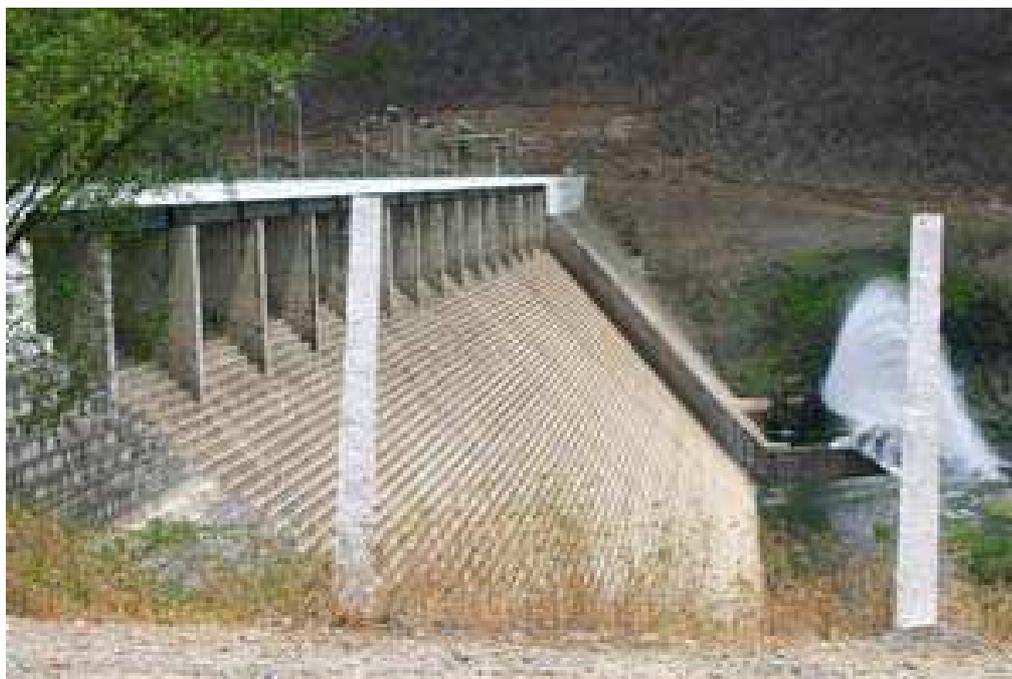


Figura 4.5 – Vista a Jusante do Reservatório Acauã

Fonte: AESA (2007)

A água armazenada no reservatório recebe grande carga de matéria orgânica proveniente de esgotos domésticos e industriais transportados ao longo da Região do Médio Curso do rio Paraíba. As concentrações dos parâmetros limnológicos de maior impacto, como P-total evidenciam a carga poluidora já acumulada nesse manancial, ao longo da coluna de água e no fundo, o qual se mostra permanentemente eutrofizado (LINS, 2006).



Figura 4.6 – Vista a Montante do Reservatório Acauã

Fonte: AESA (2007)

A Superintendência de Administração do Meio Ambiente – SUDEMA realiza análises periódicas da qualidade da água de Acauã, incluído no programa de monitoramento dos açudes do Estado da Paraíba. Os dados referentes aos anos de 2003, 2004, 2005 e 2006, apontam a uniformidade de valores, em particular de condutividade elétrica, cloretos, alcalinidade total e fósforo total (Tabela 4.3). A regularidade nas altas concentrações desses parâmetros se associa às entradas constantes de poluentes (SUDEMA, 2007). Comparando esses resultados com os VMP pela Resolução CONAMA nº. 357/05 para águas nas classes 2 e 3, observa-se que os valores de cloretos, de sólidos dissolvidos totais, de DBO_5 e de P-total excedem os VMP em vários semestres, independente de serem períodos de estiagem ou de chuva.

Tabela 4.3 – Valores Médios de Parâmetros Limnológicos da Barragem Acauã no Período 2003 - 2006

| Parâmetros | Unidades | 1 ^o | 2 ^o | Resolução CONAMA N.º. 357/2005 | |
|----------------------------|---------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------------|----------|
| | | Semestre 2003 | Semestre 2003 | Semestre 2004 | Semestre 2004 | Semestre 2005 | Semestre 2005 | Semestre 2006 | Semestre 2006 | Classe 2 | Classe 3 |
| Temperatura Ambiente | °C | 31 | 33 | 31 | 28 | 33 | 30 | 28 | 31 | N.E | N.E |
| Temperatura Amostra | °C | 28 | 29 | 28 | 27 | 31 | 28 | 26 | 26 | N.E | N.E |
| pH | - | 8,81 | 8,53 | 8,47 | 8 | 8,37 | 8,35 | 7,59 | 8,51 | 6 a 9 | 6 a 9 |
| Condutividade Elétrica | uS/cm | 1836 | 1843 | 667 | 1566 | 1143 | 1268 | 1238 | 1243 | N.E | N.E |
| Alcalinidade Total | mg/L CaCO ₃ | NE | 176 | 80 | NE | 13 | 7 | 6 | 135 | N.E | N.E |
| Cloreto | mg/LCL | NE | 395 | 144 | NE | 213 | 284 | 285 | 245 | 250 | 250 |
| Dureza Total | mg/L CaCO | NE | 312 | 164 | NE | 268 | 272 | 256 | 20 | 500 | 500 |
| Oxigênio Dissolvido | mg/L O ₂ | 14,8 | 11 | 11 | NE | 5,2 | 8,8 | 4,5 | 8,4 | Min. 5 | Min. 4 |
| DBO ₅ | mg/L O ₂ | 6,8 | 7 | 16,8 | 1,4 | 4 | 3,9 | 1 | 2,4 | Máx. 5 | Máx. 10 |
| Fósforo Total | mg/L Pt | NE | NE | NE | NE | NE | 3,18 | 0,73 | 0,18 | 0,050 | 0,075 |
| Sólidos Dissolvidos Totais | mg/L | 1377 | 1382 | 454 | 1174 | 857 | 951 | 929 | 932 | 500 | 500 |
| Cor | mg Pt/L | Verde | 70 | Verde | 50 | 50 | 24,7 | 16 | 24 | 75 | 75 |

Fonte: SUDEMA (2007)

NE: Não especificado

De acordo com a Tabela 4.3, o parâmetro fósforo total somente foi medido a partir de 2005, ou seja, há escassez de dados para a uma avaliação segura (apenas três valores), entretanto, nos três períodos monitorados, as concentrações medidas excederam os VMP para águas na classe 2 e classe 3, ou seja, trata-se de um ambiente com alto grau de eutrofização. Observam-se também altos valores de oxigênio dissolvido, que somente são alcançados num corpo de água sob efeito de intensa fotossíntese, o qual é confirmado em Acauã, que apresenta florescimentos constantes de cianobactérias. Considerando que as coletas são feitas na sub-superfície da água, pode-se concluir que esse florescimento ocorre com acúmulo de fitoplâncton nesse nível. Entretanto, estudos de Lins (2006) evidenciam distribuição de cianobactérias e de microalgas em toda a extensão iluminada da coluna água. As espécies *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa*, potencialmente toxigênicas foram isoladas com bastante frequência nesse açude. Os dados analisados por esta autora referem-se ao período 08/2004 a 07/2005, e mostra águas com alta transparência, com valor médio superior aos 2,5 metros nas épocas de estiagem e de chuva, e elevadas concentrações de clorofila “a”. A alta transparência permite, portanto, a distribuição do fitoplâncton ao longo da profundidade da coluna de água. As concentrações de P-total, determinadas foram entre 6 a 100 vezes superiores aos VMP definidos na Resolução CONAMA n.º. 357/05 (Fósforo-total = 0,050mg/L para ambientes intermediários com 10 a 40 dias de detenção hidráulica) confirmam o elevado grau de eutrofização.

As águas do reservatório Acauã são disponibilizadas para usos múltiplos e mesmo não sendo adequada para o consumo humano, vem sendo utilizada para a atividade de piscicultura. A AESA concedeu outorga par a instalação de 168 tanques-rede em 2006 como parte de um projeto piloto para avaliar o desenvolvimento de tilápias do Nilo. Os resultados evidenciaram o aumento na concentração de fósforo total no ambiente, fruto da não assimilação de todo o alimento disponibilizado para os peixes e fezes, o que contribuiu com a floração de cianobactérias, prejudicando o desenvolvimento dos peixes. Inclusive houve episódios de morte da grande maioria dos peixes (AESAs, 2007).

Partindo dessa base de dados e de estudos que confirmam o lançamento de poluentes, e a degradação existente, torna-se necessário o desenvolvimento e implantação de medidas voltadas ao melhoramento da qualidade da água dessa região, com o objetivo de adequar seu uso às mais diversas finalidades, ou seja, tem-se o objetivo de integralizar medidas de controle do uso desse recurso hídrico, no intuito de

unificar a gestão ambiental da região. Somente dessa forma, evitar-se-á maior deterioração das águas, fruto da falta de gestão do uso e ocupação do solo, carência ou deficiência de coleta e tratamento dos esgotos, ausência de preservação ou recuperação da mata ciliar, falta de outorga de direito de uso dos recursos hídricos criteriosa, e o não respeito ao enquadramento, prejudicando o recurso hídrico tanto sobre o aspecto quantitativo como qualitativo.

CAPÍTULO 05

METODOLOGIA DE ESTUDO



5.0 Metodologia de Estudo

Neste capítulo são apresentadas as etapas metodológicas. São elas:

- Avaliação das principais fontes poluidoras que atingem o reservatório Acauã e a concentração de poluentes presentes no reservatório comparando-a com a Resolução CONAMA n.º 357/05;
- Cálculo da capacidade de suporte do ambiente usando o modelo desenvolvido por Ono & Kubitzka (2003) utilizado pela AESA, e o modelo desenvolvido por Dillon & Rigler (1974) utilizado pela ANA;
- Descrição de medidas de gerenciamento com capacidade potencial de diminuir gradativamente o aporte de poluentes;
- Definição dos cenários de planejamento a serem simulados;
- Análise dos resultados quanto à implantação das medidas de gerenciamento, para os cenários definidos anteriormente;
- Análise da importância da implantação dos cenários de planejamento e do cálculo da capacidade de suporte, como meio de viabilizar a outorga de direito de usos dos recursos hídricos para a piscicultura intensiva nesse manancial.

A metodologia oportuniza a análise dos diferentes cenários de planejamento, a partir do crescimento populacional dessa região ao longo de quinze anos (2005 – 2020), com a finalidade de se alcançar resultados mais expressivos em um espaço de tempo menor do que os descritos pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos e pelo Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, que considera até 2030 como o ano final para que sejam alcançadas as metas de melhoramento da qualidade dos recursos hídricos dessa região.

Na Figura 5.1 é apresentado o fluxograma que descreve a metodologia utilizada na pesquisa.

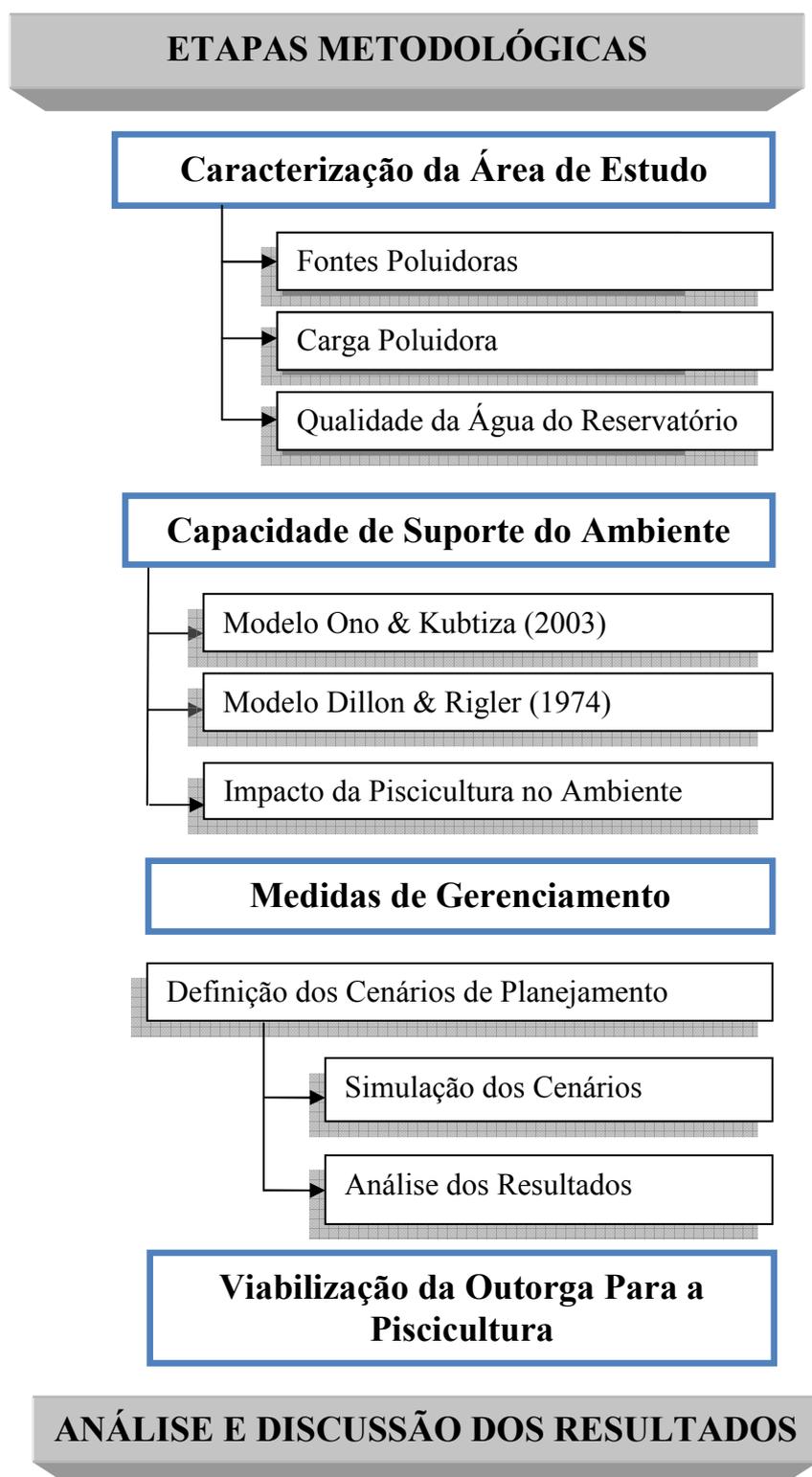


Figura 5.1 – Fluxograma das Etapas Metodológicas

5.1 Cálculo das Cargas Poluidoras na Bacia Hidrográfica

A análise da quantificação das cargas poluidoras dos parâmetros (demanda bioquímica de oxigênio - DBO, demanda química de oxigênio - DQO, e resíduos sedimentáveis - RS, fósforo total – P-total e nitrogênio orgânico - N) representativos da poluição dos usuários das populações urbana e rural, atividades industriais e irrigação de culturas agrícolas, fazem-se corretamente através de levantamentos de campo na área de estudo, incluindo amostragem dos poluentes, análises de laboratório e medição de vazões entre outros. Entretanto, como não foi possível a execução destes itens, os dados da literatura apresentado por Von Sperling (1996) serviram como meio de estimativa.

a) Cargas Poluidoras dos Esgotos Domésticos: População Urbana e Rural

Através da última contagem populacional realizada pelo IBGE em 2007, se fez a estimativa populacional para os anos seguintes, através da Equação (5.1):

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i \quad \text{Eq. (5.1)}$$

Onde:

$P_i(t)$ = população inicial no tempo (t)

a_i = constante de cálculo

b_i = constante de cálculo

Para a determinação destes coeficientes utiliza-se o período delimitado pelo Censo Demográfico de 2000 e pela contagem de 2007. Sejam t_0 e t_1 , respectivamente, as datas do Censo e da contagem. Ao substituir-se t_0 e t_1 na equação acima, tem-se que:

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i \quad \text{Eq. (5.2)}$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i \quad \text{Eq. (5.3)}$$

Através da resolução do sistema acima descrito, tem-se que:

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)} \quad \text{Eq. (5.4)}$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i P_i(t_0) \quad \text{Eq. (5.5)}$$

- de 100.000 até 300.000 habitantes QPC 150 L/hab/dia
- de 300.000 até 500.000 habitantes QPC 200 L/hab/dia
- acima de 500.000 habitantes QPC 250 L/hab/dia

Quanto à quota “per capita” (QPC) para o consumo de água do usuário população rural, segundo a SEMARH (2004), não existem dados suficientes para uma avaliação mais precisa, contudo é sugerida a adoção de uma QPC unitária de 100 L/hab/dia.

O coeficiente de retorno de esgoto é a fração da água fornecida para consumo doméstico que adentra a rede coletora em forma de esgoto ($R_{e/a}$ = vazão de esgoto/vazão de água). De acordo com Von Sperling (1996), os valores para ($R_{e/a}$) variam de 0,6 (60%) a 1,0 (100%) sendo usualmente adotado o valor de 0,8 (80%). Neste estudo o valor de ($R_{e/a}$) adotado foi de 0,8 (80%).

b) Cargas Poluidoras do Setor Industrial: Efluentes Industriais

A quantificação das cargas poluidoras dos parâmetros (DBO, DQO e RS) considerados representativos do usuário setor industrial ao longo de cada ano, foi estimada conforme a Equação (5.8). Nessa equação, a produção das indústrias no ano de 2003, conforme a Tabela 5.1, foi considerada constante para cada ano, devido à falta de dados de crescimento de produção das indústrias locais e a contribuição do parâmetro por unidade produzida foi adotada segundo Von Sperling (1996) conforme o gênero e o tipo de indústria descritos na Tabela 5.2.

$$\text{Carga(Kg/und)} = \text{contribuição/ und. produzida (Kg/dia)} \times \text{produção (und/dia)} \quad \text{Eq. (5.8)}$$

Tabela 5.1 – Número de Indústrias da Região do Médio Curso do Rio Paraíba

| Municípios | Indústrias - 2003 | Atividade da Indústria | Demanda | Produção | Und. |
|--------------------------------------|-------------------|---|-----------|------------|--------|
| | | | (m³/mês) | mensal | |
| Região do Médio Curso do Rio Paraíba | | | | | |
| Boqueirão | 1 | Boqueirão Celular (limpeza em geral) | 15,00 | - | - |
| Campina Grande | 3 | Calçados (sapatos) | 365,00 | 73.000,00 | pares |
| | 1 | Alimentícia (conservas frutas/legumes) | 28,00 | 1,04 | ton |
| | 3 | Papel (fabricação de papel) | 340,00 | 2,27 | ton |
| | 1 | Bebidas (destilaria de álcool) | 103,00 | 1,72 | ton |
| | 2 | Têxtil (algodão) | 29.830,00 | 68,57 | ton |
| | 1 | Sabão e óleo (limpeza em geral) | 61,00 | - | - |
| | 1 | Processos com lã (semelhante a lã) | 75,00 | 0,14 | ton |
| | 6 | Plástico (PVC) | 845,00 | 99,41 | ton |
| | 1 | Bebidas (refrigerantes) | 111,00 | 31,71 | m³ |
| | 1 | Alimentícias (doces) | 87,00 | 5,80 | ton |
| | 1 | Pias de concreto (semelhante a cimento) | 45,00 | 9,00 | ton |
| | 1 | Roupas (limpeza em geral) | 13,00 | - | - |
| | 1 | Laticínios (derivados de leite) | 763,00 | 138.727,00 | litros |
| | 1 | Cimento | 244,00 | 48,80 | ton |
| | 1 | Alimentícia (doces) | 14,00 | 0,93 | ton |
| | 3 | Mineração (semelhante a cimento) | 377,00 | 75,40 | ton |
| | 1 | Alimentícia (semelhante a vinho) | 497,00 | 99,40 | m³ |
| | 1 | Laticínios (derivados de leite) | 23,00 | 4.181,82 | litros |
| | 1 | Produtos Higiênicos (semelhante a sabão) | 348,00 | 3,09 | ton |
| | 1 | Estruturas Metálicas (limpeza em geral) | 19,00 | 19,00 | - |
| Caturité | 1 | Agroindústria (destilaria de álcool) | 449,00 | 7,48 | ton |
| | 1 | Laticínios (derivados de leite) | 552,00 | 100.363,64 | litros |
| Puxinanã | 2 | Alimentícia (limpeza em geral) | 36,00 | - | - |
| Queimadas | 1 | Postos para iluminação de concreto (semelhante a cimento) | 120,00 | 24,00 | ton |
| | 1 | Construtora (limpeza em geral) | 22,00 | - | - |
| | 1 | Alimentícia (limpeza em geral) | 11,00 | - | - |
| | 40 | | 35.393,00 | | |

Fonte: Silva (2006)

Tabela 5.2 – Características dos Efluentes de Algumas Indústrias

| Gênero | Tipo | Produção | Unidade | Consumo específico de água (m³/und) | Carga específica de DBO (Kg/und) | Carga específica de SS (Kg/und) |
|------------------------|--------------------------------|----------|---------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Alimentícia | Conservas (frutas/legumes) | 1 | ton | 27,0 | 30,00 | - |
| | Doces | 1 | ton | 15,0 | 5,00 | - |
| | Laticínio (derivados de leite) | 1000 | litros | 5,5 | 2,50 | 135,00 |
| Bebidas | Destilação de álcool | 1 | ton | 60,0 | 220,00 | 260,00 |
| | Refrigerantes | 1 | m³ | 3,5 | 4,50 | - |
| | Vinho | 1 | m³ | 5,0 | 0,25 | - |
| Têxtil | Algodão | 1 | ton | 435,0 | 150,00 | 70,00 |
| | Lã | 1 | ton | 550,0 | 300,00 | 200,00 |
| Couro e Curtume | Sapatos | 1000 | pares | 5,0 | 15,00 | - |
| Polpa e Papel | Fabricação de Papel | 1 | ton | 150,0 | 10,00 | - |
| Indústria Química | Sabão | 1 | ton | 112,5 | 50,00 | - |
| | PVC | 1 | ton | 8,5 | 10,00 | 1,50 |
| Indústria não metálica | Vidro e sub produtos | 1 | ton | 50,0 | - | 0,70 |
| | Cimento (processo seco) | 1 | ton | 5,0 | - | 0,30 |

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996).

Nota: DBO - Demanda Biológica de Oxigênio

c) Cargas Poluidoras do Setor Agrícola: Efluentes da Irrigação

A estimativa da carga poluidora anual foi realizada conforme a Equação (5.9) para os parâmetros Fósforo total (P-total) e Nitrogênio orgânico (N) considerados como representantes deste usuário. A contribuição por unidade de área foi obtida do estudo de PEREIRA *et al.* (1999) para fontes difusas rurais, sendo a contribuição para fósforo total de 0,0008 ton/ha.ano ($2,22 \cdot 10^{-03}$ kg/ha.dia) e para nitrogênio orgânico 0,0026 ton/ha.ano ($7,22 \cdot 10^{-03}$ kg/ha.dia).

$$\text{Carga(Kg/dia)} = \text{contribuição/ und. de área (Kg/m}^2) \times \text{área (m}^2) \quad \text{Eq. (5.9)}$$

As áreas, em hectare, das culturas irrigadas estudadas nesta pesquisa dispostas nas Tabelas 5.3 e 5.4, foram consideradas semelhantes para cada ano de pesquisa, tendo em vista a indisponibilidade de estimativas futuras da produção agrícola, no semi-árido nordestino em consequência das variações irregulares de chuva e estiagem.

Tabela 5.3 – Culturas Permanentes Irrigadas Consideradas Nesta Pesquisa

| Região do Médio Curso do Rio Paraíba - Ano 2005 | Culturas | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-------|-------|--------|----------|-----------|------------------|-------|-------|--------------|--------|-------|-------|--------|-------|
| | Algodão Arbóreo | | | Banana | | | Castanha de Caju | | | Côco-da-Baía | | | Manga | | |
| | A | P | VP | A | P | VP | A | P | VP | A | P* | VP | A | P | VP |
| Alcantil | 10,00 | 3,00 | 3,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 30,00 | 15,00 | 18,00 | 5,00 | 17,00 | 3,00 | 1,00 | 8,00 | 2,00 |
| Aroeiras | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,00 | 150,00 | 83,00 | 5,00 | 2,00 | 2,00 | 3,00 | 9,00 | 2,00 | 6,00 | 48,00 | 13,00 |
| Barra de Santana | 10,00 | 4,00 | 4,00 | 10,00 | 170,00 | 82,00 | 4,00 | 2,00 | 2,00 | 10,00 | 90,00 | 28,00 | 3,00 | 27,00 | 7,00 |
| Boqueirão | 10,00 | 5,00 | 5,00 | 30,00 | 360,00 | 180,00 | 5,00 | 2,00 | 2,00 | 15,00 | 360,00 | 72,00 | 5,00 | 40,00 | 11,00 |
| Campina Grande | 10,00 | 4,00 | 4,00 | 5,00 | 75,00 | 36,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,00 | 120,00 | 24,00 | 20,00 | 160,00 | 32,00 |
| Caturité | 10,00 | 3,00 | 3,00 | 2,00 | 28,00 | 14,00 | 2,00 | 1,00 | 1,00 | 10,00 | 50,00 | 13,00 | 1,00 | 8,00 | 2,00 |
| Gado Bravo | 12,00 | 4,00 | 4,00 | 1,00 | 15,00 | 8,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Natuba | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 700,00 | 7.000,00 | 10.000,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,00 | 60,00 | 19,00 | 6,00 | 90,00 | 18,00 |
| Puxinanã | 44,00 | 11,00 | 10,00 | 5,00 | 75,00 | 34,00 | 30,00 | 15,00 | 15,00 | 2,00 | 8,00 | 2,00 | 5,00 | 40,00 | 11,00 |
| Queimadas | 8,00 | 4,00 | 4,00 | 5,00 | 75,00 | 38,00 | 6,00 | 3,00 | 3,00 | 18,00 | 106,00 | 32,00 | 12,00 | 96,00 | 19,00 |
| Riacho de Santo Antônio | 20,00 | 10,00 | 9,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 3,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Santa Cecília do Umbuzeiro | 4,00 | 3,00 | 3,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,00 | 4,00 | 4,00 | 3,00 | 12,00 | 3,00 | 4,00 | 36,00 | 10,00 |
| Umbuzeiro | 16,00 | 7,00 | 6,00 | 2,00 | 32,00 | 15,00 | 3,00 | 1,00 | 1,00 | 4,00 | 40,00 | 8,00 | 5,00 | 40,00 | 11,00 |

Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2005);
 Culturas Permanentes Mais Representativas;
 A – Área Plantada (ha);
 P – Produção (ton);
 P* - Produção Mil Frutos;
 VP – Valor da Produção (mil R\$).

Tabela 5.4 – Culturas Temporárias Irrigadas Consideradas Nesta Pesquisa

| Região do Médio Curso do Rio Paraíba - Ano 2005 | Culturas ¹ | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|-------|--------|--------|--------|
| | Fava | | | Feijão | | | Milho | | | Mandioca | | | Tomate | | |
| | A | P | VP | A | P | VP | A | P | VP | A | P* | VP | A | P | VP |
| Alcantil | 150,00 | 45,00 | 50,00 | 800,00 | 240,00 | 264,00 | 600,00 | 180,00 | 63,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Aroeiras | 600,00 | 180,00 | 180,00 | 1.100,0 | 180,00 | 198,00 | 800,00 | 240,00 | 84,00 | 10,00 | 80,00 | 16,00 | 10,0 | 400,00 | 160,00 |
| Barra de Santana | 100,00 | 30,00 | 30,00 | 500,00 | 170,00 | 187,00 | 500,00 | 300,00 | 105,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,0 | 400,00 | 160,00 |
| Boqueirão | 100,00 | 40,00 | 40,00 | 700,00 | 220,00 | 242,00 | 800,00 | 240,00 | 84,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 50 | 2.000 | 800,00 |
| Campina Grande | 500,00 | 250,00 | 250,00 | 3.500 | 1.400 | 1.540 | 3.000, | 900,00 | 315,00 | 20,00 | 200,00 | 38,00 | 20,0 | 800,00 | 320,00 |
| Caturité | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 180,00 | 216,00 | 800,00 | 320,00 | 128,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,0 | 400,00 | 160,00 |
| Gado Bravo | 100,00 | 30,00 | 30,00 | 650,00 | 170,00 | 187,00 | 500,00 | 200,00 | 70,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Natuba | 100,00 | 60,00 | 90,00 | 290,00 | 50,00 | 66,00 | 200,00 | 140,00 | 46,00 | 4,00 | 32,00 | 4,00 | 20,0 | 400,00 | 220,00 |
| Puxinanã | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2.300,0 | 1.350, | 1.350, | 600,00 | 300,00 | 120,00 | 1.600, | 13.600, | 3.400 | 5,00 | 150,00 | 60,00 |
| Queimadas | 3.000 | 1.800 | 1.980 | 3.800 | 1.220 | 1.340 | 5.000 | 2.500 | 875,00 | 5,00 | 40,00 | 8,00 | 10,0 | 400,00 | 160,00 |
| Riacho de Santo Antônio | 50,00 | 15,00 | 15,00 | 400,00 | 80,00 | 88,00 | 400,00 | 120,00 | 42,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,00 | 240,00 | 96,00 |
| Santa Cecília do Umbuzeiro | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 600,00 | 180,00 | 198,00 | 500,00 | 100,00 | 35,00 | 20,00 | 200,00 | 38,00 | 3,00 | 120,00 | 48,00 |
| Umbuzeiro | 200,00 | 60,00 | 60,00 | 600,00 | 165,00 | 198,00 | 500,00 | 150,00 | 53,00 | 20,00 | 160,00 | 32,00 | 5,00 | 200,00 | 100,00 |

Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2005);

Culturas Temporárias Mais Representativas;

A – Área Plantada (ha);

P – Produção (ton);

P* - Produção Mil Frutos;

VP – Valor da Produção (mil R\$).

5.2 Avaliação Atual da Região e do Reservatório Acauã

Segundo Lins (2006) e o PERH (2007) a qualidade da água do reservatório Acauã não apresenta viabilidade para os usos nobres, sobretudo para o abastecimento humano. Esse reservatório recebe, através dos dois rios afluentes, o Paraíba e o Paraibinha, alta carga de poluentes. O rio Paraíba transporta poluentes provenientes desde a jusante do reservatório de Boqueirão, de populações situadas no médio curso do Paraíba, não satisfatoriamente saneadas, em consequência, Acauã é um ambiente aquático eutrófico com florações constantes de cianobactérias que comprometem seus usos múltiplos, entre eles, a instalação de projetos de piscicultura, o tratamento da água nas ETAs e a saúde dos consumidores.

Entre os anos de 2005 e 2007 as cargas médias anuais de DBO₅ e DQO lançadas pelas populações urbanas, rurais e pelas indústrias da Região do Médio Curso do Rio Paraíba e que potencialmente chegam a Acauã, foram de 3.767,40 ton, 7.543,81 ton; 2.079,40 ton, 4.158,80 ton e 103.820,33 Kg, 207.640,65 Kg, respectivamente, com base em estimativas de crescimento populacional e produção agrícola realizadas nesta pesquisa. Nesse mesmo intervalo de tempo, a carga potencial de fósforo total e nitrogênio orgânico lançadas em Acauã, fruto principalmente das atividades domésticas, industriais e, sobretudo das atividades agrícolas, considerando culturas temporárias e permanentes, através das estimativas aplicadas nesta pesquisa, foi de 24.293,00 Kg de P e 78.949,00 Kg de N, respectivamente. Esses dados apresentam-se representados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Cargas Poluidoras Lançadas em Acauã – Período (2005 – 2007)

| Usuários | DBO₅ (ton) | DQO (ton) | Fósforo Total (Kg) | Nitrogênio Orgânico (Kg) |
|---------------------------|----------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| População Urbana | 3.767,40 | 7.534,81 | - | - |
| População Rural | 2.079,40 | 4.158,80 | - | - |
| Indústrias | 103.820,33 | 207.640,65 | | |
| Culturas Agrícolas | - | - | 24.293,00 | 78.948,00 |

Fonte: Silva (2006)

Considerando a capacidade máxima do manancial, a carga correspondente aos efluentes da irrigação, representam uma concentração da ordem de 0,10mg de P/L e 0,31mg de N/L, concentrações acima dos limites da Resolução CONAMA n.º 357/05

para ambientes intermediários que apresentam tempo de residência hidráulica de 2(dois) até 40(quarenta) dias e para tributários diretos de ambientes lênticos, pertencentes à classe 2.

Nessa região apenas uma pequena parcela dos efluentes industriais são reutilizados pelas próprias indústrias, enquanto que os efluentes agrícolas provenientes da irrigação são carreados para os córregos superficiais, além de infiltrarem nos lençóis subterrâneos, podendo comprometer a qualidade dessas águas.

Apenas a cidade de Campina Grande possui estação de tratamento de esgotos, com capacidade para tratar apenas 60% da carga total de efluentes que chegam à estação. Na área rural não existe qualquer sistema de tratamento de esgotos que vise remover a carga poluidora.

A Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) capta e trata água para o consumo humano à montante do reservatório Acauã, no rio perenizado pela barragem. Atividades de piscicultura são desenvolvidas na massa de água, com outorga da AESA, mesmo a água não apresentando qualidade compatível para tal atividade, no entanto, a AESA mantém análises periódicas da qualidade da água, observando sua influência no desenvolvimento dos peixes. Os peixes cultivados nos tanques-rede quando não sofrem com a floração de cianobactérias, que os levam a morte, conseguem bom desenvolvimento.

A AESA, na avaliação da capacidade de suporte através do modelo desenvolvido por Ono & Kubitzka (2003) utiliza $0,005\text{mg/m}^3$ de fósforo total como limite máximo a ser liberado para o ambiente, independentemente da taxa de conversão alimentar, biomassa produzida, teor de fósforo total na ração e volume dos tanques. Entretanto, a elevada poluição existente, pode prejudicar essa atividade produtiva, que pode passar substancialmente a contribuir com a poluição, pelo fato de inserir uma concentração a mais de fósforo total no ambiente.

Com base nesses dados de qualidade da água, torna-se de extrema importância, a implantação de medidas de gerenciamento, capazes de diminuir as cargas orgânicas e retardar a eutrofização ao longo dos anos, ou seja, estabelecer medidas que incluem desde a conscientização da população até a introdução de obras, como a construção de estações de tratamento de esgotos e a avaliação periódica da qualidade da águas que chega a essa barragem (monitoramento sistemático).

É necessário dividir em etapas sucessivas a gestão, estabelecendo medidas que acompanhem o crescimento populacional e contemplar metas temporais de

investimentos e tempo, em médio e longo prazo, ou seja, deve-se trabalhar sobre a outorga e o enquadramento do corpo aquático em função dos usos desejados, os quais devem ser sustentáveis dentro do enquadramento pretendido. Só assim é possível disponibilizar a água do manancial para diversos usos, sobretudo para o abastecimento humano.

5.3 Cálculo da Capacidade de Suporte

O cálculo da capacidade de suporte piscícola, consiste em avaliar o potencial impacto que ocorre em um manancial com a instalação de tanques-rede, destinados ao cultivo de peixes.

A capacidade de suporte será analisada através dos modelos de avaliação utilizados pela AESA que foi desenvolvido por Ono e Kubitza (2003) e pelo método de Dillon e Rigler (1974) modificado de Vollenweider (1968), utilizado pela ANA.

A carga de fósforo total gerada pelo empreendimento ao longo de todo o ciclo de cultivo dos peixes, conforme apresentada por cada modelo, será somada a carga de fósforo já existente no manancial, ao longo de cada ano de análise. Com isso, a carga total gerada será comparada às especificadas pela Resolução CONAMA n.º 357/2005 para ambientes intermediários que apresentam tempo de residência hidráulica de 2(dois) até 40(quarenta) dias e para tributários diretos de ambientes lênticos, pertencentes às classes 2 e 3 de enquadramento dos corpos hídricos, possibilitando verificar o impacto dessa atividade na qualidade hídrica, o grau de melhoramento já alcançado através das medidas de gerenciamento adotadas e as diferenças existentes quanto aos parâmetros do cálculo da capacidade de suporte apresentados por cada modelo.

A partir dos resultados será possível orientar a produção piscícola frente às melhorias alcançadas através dos cenários de planejamento.

5.3.1 Modelo de Avaliação da Capacidade de Suporte Utilizado Pela AESA

Trata-se de um modelo que determina a quantidade de tanques-rede que podem ser outorgados, tomando como base o volume do epilimínio, sua profundidade, as concentrações de fósforo total que a Resolução CONAMA n.º 357/2005 permite segunda a classe 2 de enquadramento desejada para as águas do manancial, a

concentração desse parâmetro presente nas excretas dos peixes, além da área de influência do reservatório que pode ser disponibilizada para essa atividade.

Em favor da segurança o limite de fósforo total para o cálculo da capacidade de suporte é de $0,005\text{g/m}^3$, ou seja, a atividade de piscicultura durante todo o período de cultivo, só pode liberar para o ambiente aquático essa concentração máxima de fósforo total, tendo como base a concentração de fósforo presente nas excretas, que é considerada de 7Kg de P-total para cada 1000Kg de ração consumida.

O cálculo parte dos dados iniciais de área máxima do reservatório (A_m) e da profundidade média, a partir disso, obtêm o volume máximo a ser outorgado (Eq. 5.10).

$$V = (A_m \times h_m) \quad \text{Eq. (5.10)}$$

Onde:

V = volume máximo que poderá ser outorgado (m^3);

A_m = área máxima do reservatório (m^2);

H_m = profundidade média do reservatório (m).

Em seguida, é calculada a quantidade máxima de fósforo total gerada para o ambiente (CP), multiplicando a concentração pré-estabelecida (C_p) seguindo a relação de Vollenweider para ambientes mesotróficos, com o volume máximo a ser outorgado (V) e dividindo o resultado por 1000, fazendo assim a transformação de unidades.

Os estudos para a determinação da capacidade de suporte em mananciais para a atividade de piscicultura em tanques-rede, realizados pela AESA com base neste modelo, seguem uma seqüência de cálculos para que através da produção estimada de peixes por tanque-rede (Eq. 5.11), produção efetiva (Eq. 5.12), biomassa de peixes em cada tanque-rede (Eq. 5.13), quantidade de ração necessária por dia (Eq. 5.14) e do teor de fósforo total contido na ração, com isso possa a ser calculado a concentração deste nutriente no tanque-rede (Eq. 5.15) e o volume de diluição necessário para se obter uma concentração igual a $0,005\text{ mg/m}^3$ (limite máximo de fósforo total estabelecido para ser liberado pela atividade) (Eq. 5.16).

Depois, calcula-se a razão entre o volume de referência e o volume de diluição da quantidade de fósforo total lançada por tanque-rede em um dia, obtendo o número de tanques-rede que poderão ser outorgados (Eq. 5.17).

$$T_{px} = (V_{tq} \times D_{px}) \quad Eq. (5.11)$$

Onde:

T_{px} = total de peixes por tanque-rede (número de peixes);

V_{tq} = volume útil dos tanques-rede (m^3);

D_{px} = densidade de peixes por tanque-rede (número de peixes/ m^3).

$$T_e = (T_{px} \times i)/1000 \quad Eq. (5.12)$$

Onde:

T_e = total efetivo de peixes por tanque-rede (número de peixes);

T_{px} = total de peixes por tanque-rede (número de peixes).

i = índice de sobrevivência dos peixes (%);

$$B_{tq} = (T_e \times P_m)/1000 \quad Eq. (5.13)$$

Onde:

B_{tq} = biomassa de peixes/tanque-rede (Kg de peixes/tq);

T_e = total efetivo de peixes por tanque-rede (número de peixes);

P_m = peso médio dos peixes na despesca (gramas).

$$R_d = (B_{tq} \times TCA)/t \quad Eq. (5.14)$$

Onde:

R_d = ração consumida por dia em cada tanque (Kg/dia/tq);

B_{tq} = biomassa de peixes/tanque-rede (Kg/tq);

TCA = fator de conversão alimentar (Kg de ração/Kg de peixe);

T = período de cultivo (dias).

Observação: Através das relações corretas, calculam-se os consumos por m^3 de cada tanque-rede e o consumo de um tanque-rede durante todo o cultivo.

$$C_{Ptq} = (P_e \times R_d)/1000 \quad Eq. (5.15)$$

Onde:

R_d = ração consumida por dia em cada tanque (Kg/dia/tq);

P_e = fósforo excretado pelos peixes para cada 1000 quilos de ração consumida (Kg de fósforo);

C_{Ptq} = concentração de fósforo gerada por tanque-rede durante um dia de cultivo (Kg/tq/dia).

$$V_{eu} = (CPD/C_p) \times V_{tq} \quad Eq. (5.16)$$

Onde:

V_{eu} = volume de água por tanque-rede para evitar a eutrofização (m^3);

CPD = concentração de fósforo gerada por m^3 [$(C_{Ptq} \times 1000)/V_{tq}$] (gramas de fósforo);

C_p = concentração de fósforo pré-estabelecida ($0,005 \text{ mg}/m^3$);

V_{tq} = volume útil dos tanques-rede (m^3).

$$T_{tq} = (V/V_{eu}) \quad Eq. (5.17)$$

Onde:

T_{tq} = número de tanques-rede que o ambiente pode suportar (unidades).

V = volume máximo a ser outorgado (m^3);

V_{eu} = volume de água por tanque-rede para evitar a eutrofização (m^3);

5.3.2 Modelo de Avaliação da Capacidade de Suporte Utilizado Pela ANA

A ANA utiliza o modelo de Dillon e Rigler (1974), modificado de Vollenweider (1968) e descrito pela Equação (5.18):

$$L_a = (P \times h_m \times t_p)/(1-R) \quad Eq. (5.18)$$

Onde:

L_a = Carga específica afluyente de fósforo ($g/m^2 \text{ ano}$);

P = Incremento de concentração de fósforo na água (mg/m³);

hm = Profundidade média do reservatório;

tp = Taxa de renovação, igual ao inverso do tempo de detenção hidráulica;

R = Coeficiente de sedimentação.

O coeficiente de sedimentação pode ser estimado pela Equação (5.19), de acordo com Beveridge (1987).

$$R = 1/(1 + 0,614 \times tp^{-0,491}) \quad \text{Eq. (5.19)}$$

Trata-se de um modelo simplificado, que considera o tempo de residência da água no corpo hídrico, a área de espelho d'água, a profundidade média da coluna d'água, o coeficiente de sedimentação do fósforo na água, o teor de fósforo total na ração administrada aos peixes e a taxa conversão alimentar da espécie de peixe cultivada. O resultado encontrado é convertido em carga diária de fósforo que o corpo hídrico pode receber. Com base no resultado obtido, a quantidade de fósforo total gerada pelo empreendimento piscícola, tomando como base a quantidade lançada pela ração e excretas dos peixes, deve respeitar a carga diária de fósforo que o corpo hídrico pode receber, de acordo, sobretudo, com a classe em que o corpo estiver enquadrado (GISLER *et al.*, 2003).

Os parâmetros tradicionalmente usados para a definição da carga de fósforo total gerada pelo empreendimento são apresentados a seguir:

- Pe - Concentração de fósforo total gerada pela atividade que vai para água (Kg P/t de peixe);
- Pf - Concentração de fósforo total no alimento (Kg P /t de ração);
- TCA - Taxa de conversão alimentar (Kg de alimento/Kg de peixe produzido);
- Pa - Concentração de fósforo total no peixe despescado (Kg P/t de peixe).

$$Pe = (Pf \times TCA) - Pa \quad \text{Eq. (5.20)}$$

Outros parâmetros são definidos abaixo:

- Número de alevinos = Densidade de estocagem na fase adulta * 1,2 (considerando a taxa de mortalidade de 20%);

- Biomassa final = Densidade de estocagem na fase adulta * Peso do ind. na despesca;
- Biomassa inicial = Número de alevinos * Peso individual do alevino;
- Ganho de peso = Densidade final - Densidade inicial;
- Quantidade de ração por ano = Ganho de peso * Conversão alimentar média * 1,2;
- Quantidade de ração por dia = Ganho de peso/ Total de dias;
- Carga de fósforo total anual gerada pelo empreendimento = produção anual de peixes do projeto (kg) * carga máxima de fósforo total admissível para o reservatório (Kg)/ produção máxima anual de peixes (kg) do reservatório;
- Volume útil total das gaiolas para a produção considerada = (Produção anual esperada / Biomassa final) /2;
- Números de tanques-redes = Volume útil total das gaiolas para a produção considerada/ Volume útil individual das gaiolas.

5.4 Cenário de Planejamento 1 – Implantação das Medidas de Gerenciamento

Tendo em vista a situação atual da qualidade da água no reservatório Acauã, propõe-se a simulação de medidas de gerenciamento que apresentem resultados em longo prazo. Na concepção dessas medidas deve se considerar as estimativas de evolução da carga poluidora, geradas pelo crescimento populacional, aumento da irrigação em áreas agrícolas e do crescimento industrial.

Através de dados populacionais, número de indústrias mais representativas e culturas agrícolas mais difundidas, entre os anos de 2005 e 2007, com base nos dados do IBGE (2007) e AESA (2007), foi possível estimar até o ano de 2020, as cargas de DBO₅, DQO, fósforo total e nitrogênio orgânico, anuais, que potencialmente chegariam a Acauã.

Por meio dessa estimativa, torna-se possível analisar a evolução da poluição e como esta pode ser amenizada com a introdução de Estações de Tratamento de Esgotos.

Quadro 5.1 – Caracterização do Cenário de Planejamento 1

| POPULAÇÃO URBANA | |
|---|--|
| 2008 - 2011 | Manter e melhorar o funcionamento da ETE de Campina Grande, cuja capacidade de remoção do esgoto assimilado é de 60%; Construir ETEs nas demais cidades investindo no saneamento urbano. As estações de tratamento devem ter capacidade inicial de receber e tratar 40% dos esgotos líquidos gerados nos municípios, compreendendo o nível de tratamento pretendido para a etapa inicial. |
| 2012 - 2015 | Ampliar a capacidade de recebimento e tratamento das ETEs em mais 20%, mantendo o atual funcionamento da ETE de Campina Grande. |
| POPULAÇÃO RURAL | |
| 2008 - 2011 | Construção de fossas sépticas e/ou deslocamento dos esgotos para ETEs, com a finalidade de reduzir em 40% a carga lançada que potencialmente chega até Acauã. |
| INDÚSTRIAS | |
| 2008 - 2011 | Estimular o reúso de resíduos líquidos nas indústrias e conforme o resultado, intensificar a fiscalização. Caso necessário deslocar dejetos para as ETEs, no objetivo de reduzir o lançamento de efluentes em 60% do que é atualmente lançado. |
| CULTURAS AGRÍCOLAS TEMPORÁRIAS E PERMANENTES | |
| Reforçar a fiscalização nas áreas agrícolas, objetivando a remoção gradativa, em 30%, de toda a carga poluidora gerada a partir de 2008 até 2011 e, similarmente a partir de 2012 até 2015, aumentando a taxa de remoção em mais 15%, através da redução do uso de fertilizantes e agrotóxicos, seguido de análises da qualidade das águas de pequenos córregos que levam essa carga poluidora para os rios que chegam até Acauã (monitoramento sistemático). | |

Este cenário avalia a evolução da poluição, bem como a sua redução gradativa, através da introdução nos municípios da região do médio curso do rio Paraíba, das seguintes medidas de gerenciamento:

- Aplicar nas escolas e divulgar em veículos de comunicação, práticas simples como o destino adequado dos resíduos sólidos, conscientizando a população da importância na redução dos poluentes que atingem a barragem;
- Implantação, pelo poder público, de sistemas de esgotamento sanitários e tratamento de esgotos nas áreas urbanas, e nas rurais, sistemas mais simples, como fossas sépticas;
- Ampliar a rede e melhorar a ETE da cidade de Campina Grande;
- Fortalecer a fiscalização em áreas agrícolas quanto ao uso indiscriminado de fertilizantes e agrotóxicos;
- Promover incentivos fiscais para que as indústrias possam aumentar a parcela de reutilização das águas residuárias e fiscalizar esses empreendimentos.

Por intermédio da série de dados gerada, através de estimativas, a construção e eficiência das estações de tratamento serão agrupadas em etapas, levando em consideração o grau de remoção dos poluentes e a disponibilidade de recursos financeiros, conforme apresentado no Quadro 5.1.

5.5 Cenário de Planejamento 2 – Fortalecimento das Medidas de Gerenciamento

Este cenário de planejamento busca atingir um maior grau de remoção de poluentes, com base nas caracterizações apresentadas no cenário anterior, ou seja, trata-se de estimular o reúso e reforçar a fiscalização de indústrias, produtores agrícolas, intensificar e desenvolver cada vez mais os programas de conscientização populacional, manter as avaliações periódicas da qualidade da água, gerenciar a qualidade e a quantidade da água de forma sistemática, adequando as medidas de gerenciamento à diversidade de uso dos recursos, desenvolver programas voltados para o reflorestamento, recomposição da mata ciliar e melhor utilização do solo para a prática agrícola, além de ampliar os sistemas de esgotamento sanitário nos municípios da região, aumentando a eficiência das estações de tratamento de esgotos

Simultaneamente com as medidas de remoção consideradas nos cenários 1 e 2 as cargas lançadas servirão de base de cálculo da concentração de cada resíduo em

consonância com os volumes acumulados nos períodos de seca e chuva no reservatório Acauã. Desta forma será possível avaliar a contribuição anual dessas medidas, na remoção de poluentes, sobretudo a DBO₅ e o fósforo total, e na adequação da água desse reservatório para a classe 2, correspondente a seu enquadramento, segundo a Resolução CONAMA n.º 357/05, viabilizando a possibilidade da introdução da piscicultura em tanques-rede mediante o cálculo da capacidade de suporte desse manancial.

O Quadro 5.2 apresenta a caracterização do cenário de planejamento 2.

Quadro 5.2 – Caracterização do Cenário de Planejamento 2

| POPULAÇÃO URBANA | |
|---|---|
| 2016 - 2020 | Ampliar a capacidade de eficiência do tratamento das ETEs em 90% (sobretudo para DBO ₅) para todas as cidades da região. |
| POPULAÇÃO RURAL | |
| 2012 - 2020 | Aumentar o número de domicílios com fossas sépticas e/ou deslocamento dos dejetos para ETEs, com a finalidade de aumentar em 40%, em relação aos anos anteriores, a remoção ou tratamento de esgotos que potencialmente chegam ao Reservatório Acauã. |
| INDÚSTRIAS | |
| 2012 - 2020 | Intensificar a fiscalização do reuso de resíduos líquidos das indústrias e conforme o resultado, deslocar dejetos para as ETEs, afim de reduzir o lançamento de efluentes em 90%, do que é atualmente lançado. |
| CULTURAS AGRICOLAS TEMPORÁRIAS E PERMANENTES | |
| Reforçar a fiscalização nas áreas agrícolas, objetivando a remoção gradativa em 65% de toda a carga poluidora gerada a partir de 2016 até 2020. | |

CAPÍTULO 6

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.0 Resultados

6.1 Análise da Qualidade da Água do Reservatório Acauã

Usando-se os dados existentes no Plano Estadual de Recursos Hídricos (2007) e dos trabalhos de Lins (2006) e Silva (2006), fica evidente a degradação da qualidade da água da Bacia Hidrográfica Rio Paraíba, fruto das seguintes atividades:

1. Lançamento de esgotos domésticos e industriais nos rios e córregos que deságuam no rio Paraíba;
2. Uso excessivo de agrotóxicos e fertilizantes em áreas agrícolas.

A Região do Médio Curso do Rio Paraíba concentra grande parte da poluição hídrica da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, com destaque para o riacho de Bodocongó, onde deságuam os esgotos coletados na cidade de Campina Grande. O reservatório Acauã recebe água proveniente desse riacho que deságua na seção média do Rio Paraíba e ainda recebe as águas do rio Paraibinha o que contribui para aumentar o grau de eutrofização.

Segundo Silva (2006) a carga de DBO_5 lançada no trecho do médio curso do rio Paraíba entre abril de 2003 e março de 2004, e que chegou a Acauã, foi de 9.347.053,58Kg de DBO_5 , correspondente a um volume de aproximadamente 23.880.000,00m³ de esgoto. Considerando o volume total do reservatório de 253.142.247,00m³, essa carga total aportada e expressa como DBO_5 , representou uma concentração de 36,90mg/L, concentração bem acima do permitido pela Resolução CONAMA n.º. 357/05, para as classes 2 e 3, que são respectivamente, 5 mg/L (7,4 vezes superior) e 10mg/L (3,7 vezes superior).

Através de análises periódicas da qualidade da água do reservatório Acauã realizadas pela AESA (2007), verificam-se as seguintes características da água armazenada, em relação aos seus usos:

- Abastecimento Humano – Água dura, com cloretos, fósforo total e sólidos totais dissolvidos acima do padrão recomendado pela classe 2 da Resolução CONAMA n.º. 357/05, dificultando a potabilização da água desse manancial e requerendo processos de tratamento cada vez mais avançados;

- Uso Agrícola (Irrigação) – Seu uso para a irrigação se apresenta como potencialmente inviável, devido à condutividade elétrica – CE > 2250µmhos/cm e à alta contaminação fecal;
- Uso Industrial – Devido à dureza muito alta, que favorece a formação de depósitos de carbonatos (incrustações) em tubulações e caldeiras, e com alcalinidade elevada, que pode tornar a água corrosiva, o uso para essa atividade se mostra problemático, uma vez que o tratamento prévio dessa água aumentaria os custos industriais.

A SUDEMA (2007) apresenta valores de concentração de fósforo total de 0,18mg/L no segundo semestre do ano de 2006, valor superior a 0,050mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA n.º. 357/05 para a classe 2, e também acima de 0,075mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA n.º. 357/05 para a classe 3, em caso extremo de adequarmos a concentração desse poluentes, em caráter inicial, apenas para a classe 3 de enquadramento.

6.2 Análise do Cenário de Planejamento 1

Este cenário indica o início da implantação das medidas de gerenciamento propostas nesta pesquisa, tendo por objetivo reduzir o elevado grau de poluição que afeta o reservatório Acauã.

a) População Urbana

A Tabela 6.1 apresenta os dados gerados considerando a implantação de sistemas de esgotamento sanitários e construção de estações de tratamento de esgotos para o período 2008 - 2015.

Entre os anos de 2005 e 2007, sem a implantação de medidas de gerenciamento, as cargas potenciais e as lançadas são semelhantes. A implantação do gerenciamento e seus efeitos se apresentam de forma gradativa

Tabela 6.1 – Cargas Potenciais e Lançadas Com e Sem a Implantação das Medidas de Gerenciamento em Acauã – PB – Área Urbana

| Cenários | Totais | Cargas Potenciais | | | Cargas Lançadas | | | |
|-----------------------|----------|-------------------|-----------|---------------------|------------------|----------|---------------------|-----------|
| | | Ton/ano | | m ³ /ano | Ton/ano | | m ³ /ano | |
| | | DBO ₅ | DQO | RS | DBO ₅ | DQO | RS | |
| Atual sem medidas | Ano 2005 | 7.934,25 | 15.868,50 | 133.267,52 | 3.767,40 | 7.534,81 | 133.267,52 | |
| | Ano 2006 | 8.005,80 | 16.011,60 | 134.523,60 | 3.797,53 | 7.595,05 | 134.523,60 | |
| | Ano 2007 | 7.855,24 | 15.710,48 | 131.744,06 | 3.744,58 | 7.489,16 | 131.744,06 | |
| Cenário 1 com medidas | Etapa I | Ano 2008 | 7.902,09 | 15.804,19 | 132.545,50 | 4.741,26 | 9.482,51 | 79.527,30 |
| | | Ano 2009 | 7.949,27 | 15.898,54 | 133.352,27 | 4.769,56 | 9.539,13 | 93.346,59 |
| | | Ano 2010 | 7.996,78 | 15.993,56 | 134.164,41 | 4.798,07 | 9.596,14 | 93.915,08 |
| | | Ano 2011 | 8.044,62 | 16.089,24 | 134.981,94 | 4.826,77 | 9.653,54 | 94.487,36 |
| | Etapa II | Ano 2012 | 8.092,79 | 16.185,59 | 135.804,91 | 3.237,12 | 6.474,23 | 54.321,96 |
| | | Ano 2013 | 8.141,30 | 16.282,61 | 136.633,35 | 3.256,52 | 6.513,04 | 68.316,68 |
| | | Ano 2014 | 8.190,14 | 16.380,27 | 137.467,12 | 3.276,05 | 6.552,11 | 68.733,56 |
| | Ano 2015 | 8.239,34 | 16.478,68 | 138.306,81 | 3.295,74 | 6.591,47 | 55.322,72 | |

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio DQO – Demanda Química de Oxigênio
RS – Resíduos Sedimentáveis

O período entre 2008 e 2011 constitui a primeira etapa do gerenciamento. Nesses quatro anos, o objetivo principal foi manter o atual funcionamento e capacidade de degradação de 60% da DBO₅ dos esgotos na Estação de Tratamento de Esgotos de Campina Grande e implantar sistemas de saneamento e de tratamento de esgotos nas demais cidades da região capaz de tratar cerca de 40% da carga poluidora orgânica gerada anualmente em cada município.

Os resultados médios anuais para esses quatro anos mostram redução acentuada entre as cargas potenciais e lançadas da ordem de 40% para DBO₅ e DQO respectivamente, com redução de 33% para os resíduos sedimentáveis.

A etapa seguinte consiste em manter o mesmo sistema de tratamento em Campina Grande, mas ampliar em 20% a capacidade de redução da carga orgânica dos esgotos das demais cidades da Região do Médio Curso do Rio Paraíba, ou seja, elevando para 60% entre os anos de 2012 até 2015, proporcionando durante esse período, uma redução anual média entre as cargas potenciais e lançadas da ordem de 60% para DBO₅ e DQO respectivamente, com queda de 55% para os resíduos sólidos

Considerando todos os anos entre 2008 e 2015 as cargas potenciais totais geradas seriam de 64.556,34 ton de DBO₅, 129.112,68 ton de DQO e 1.083.256,32 m³

de resíduos sedimentáveis. A aplicação das medidas reduz estas cargas para um total lançado de 32.201,09 ton de DBO₅, 64.402,18 ton de DQO e 607.971,26 m³ de resíduos sedimentáveis. Considerando que essas concentrações de DBO₅ e DQO entram em Acauã, esses poluentes tenderiam a diluição, o qual significaria uma redução de 225,16 mg/L de O₂ e 510,32mg/L de O₂ para 127,30mg/L de O₂ e 225,15 mg/L O₂, respectivamente, através da divisão das cargas totais pelo volume máximo de 253.142.247,00m³. Esses valores são superiores aos estabelecidos na Resolução CONAMA n.º. 357/05, mas já indicam um avanço considerável de redução da poluição.

$$\text{Concentração dos Poluentes} = [C. \text{Totais (Ton/ano)} / \text{Volume (m}^3\text{/ano)}] * 10^6 \quad \text{Eq. (6.1)}$$

b) População Rural

Na zona rural, as medidas de gerenciamento propostas para a redução dos impactos dos efluentes lançados pelas populações locais, restringem-se a instalação de fossas sépticas, em virtude das distâncias entre as residências e destas com estações de tratamento de esgotos. A primeira etapa deste cenário de planejamento inicia-se em 2008, finalizando em 2011. Trata-se de implantar nas áreas rurais sistemas básicos de esgotamento e tratamento sanitário que sejam capazes de reduzir 40% da DBO₅, DQO, e resíduos sedimentáveis dos esgotos lançados

A Tabela 6.2 apresenta o cenário de redução que será alcançado.

Tabela 6.2 – Cargas Potenciais e Lançadas Com e Sem a Implantação das Medidas de Gerenciamento em Acauã – PB – Área Rural

| Cenários | Totais | Cargas Potenciais | | | Cargas Lançadas | | |
|-----------------------|----------|-------------------|----------|---------------------|------------------|----------|---------------------|
| | | Ton/ano | | m ³ /ano | Ton/ano | | m ³ /ano |
| | | DBO ₅ | DQO | RS | DBO ₅ | DQO | RS |
| Atual sem medidas | Ano 2005 | 2.073,58 | 4.147,16 | 20.219,98 | 2.073,58 | 4.147,16 | 20.219,98 |
| | Ano 2006 | 2.079,40 | 4.158,80 | 20.283,95 | 2.079,40 | 4.158,80 | 20.283,95 |
| | Ano 2007 | 2.095,65 | 4.191,29 | 20.419,45 | 2.095,65 | 4.191,29 | 20.419,45 |
| Cenário 1 com medidas | Ano 2008 | 2.103,90 | 4.207,81 | 20.503,47 | 1.262,34 | 2.524,68 | 12.302,08 |
| | Ano 2009 | 2.112,27 | 4.224,55 | 20.588,60 | 1.267,36 | 2.534,73 | 12.353,16 |
| | Ano 2010 | 2.120,76 | 4.241,51 | 20.674,85 | 1.272,45 | 2.544,91 | 12.404,91 |
| | Ano 2011 | 2.129,36 | 4.258,71 | 20.762,25 | 1.277,61 | 2.555,23 | 12.457,35 |

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio DQO – Demanda Química de Oxigênio
RS – Resíduos Sedimentáveis

Os resultados apontam uma redução média anual entre as cargas potenciais e lançadas de 40% tanto para DBO₅, DQO e resíduos sedimentáveis. Ao longo desses anos, fica evidente a eficiência do sistema de esgotamento e tratamento sanitário nas zonas rurais e de coleta e tratamento dos resíduos sedimentáveis, uma vez que as cargas totais geradas ao longo destes anos (2008-20011) e que podem chegar a Acauã, passam de 8.466,29 ton de DBO₅, 16.932,57 ton de DQO e 82.529,15 m³ de resíduos sedimentáveis para 5.079,77 ton de DBO₅, 10.159,54 ton de DQO e 49.517,50 m³ de resíduos sedimentáveis.

Analisando-se as concentrações médias anuais de DBO₅ e DQO, observa-se que estas tendem a decrescer de 8,36 mg/L e 16,73 mg/L para 5,00 mg/L (59,8%) e 10,00 mg/L (59,77%), respectivamente, considerando o reservatório com sua capacidade máxima. Os valores atingidos de DBO₅, de 5 mg/L, possibilitariam que o corpo aquático se enquadrasse na classe 2, de acordo com a Resolução CONAMA n.º 357/05.

c) Atividades Industriais

Os resultados obtidos quanto à implantação de medidas de gerenciamento em indústrias, estão apresentados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Cargas Potenciais e Lançadas Com e Sem a Implantação das Medidas de Gerenciamento em Acauã – PB – Indústrias

| Cenários | Totais | Cargas Potenciais | | | Cargas Lançadas | | |
|-----------------------|----------|-------------------|------------|------------|-----------------|------------------|------------|
| | | Kg/ano | | L/ano | Kg/ano | | L/ano |
| | | DBO ₅ | DQO | RS | DBO | DQO ₅ | RS |
| Atual sem medidas | Ano 2005 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 103.820,33 | 207.640,65 | 338.401,71 |
| | Ano 2006 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 103.820,33 | 207.640,65 | 338.401,71 |
| | Ano 2007 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 103.820,33 | 207.640,65 | 338.401,71 |
| Cenário 1 com medidas | Ano 2008 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 63.360,07 | 126.720,14 | 193.372,41 |
| | Ano 2009 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 63.360,07 | 126.720,14 | 193.372,41 |
| | Ano 2010 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 63.360,07 | 126.720,14 | 193.372,41 |
| | Ano 2011 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 63.360,07 | 126.720,14 | 193.372,41 |

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio DQO – Demanda Química de Oxigênio
RS – Resíduos Sedimentáveis

No período 2005 - 2007, o reuso dos resíduos por parte das indústrias nessa região era da ordem de 30%. A implantação de um sistema de gerenciamento que

reforce a necessidade do reúso objetiva a ampliação dessa prática em mais 30%, ou seja, disponibilizar a reutilização anual de 60% entre os anos de 2008 e 2011.

A implantação deste sistema torna-se possível, mediante maior fiscalização dos órgãos públicos quanto ao destino dos efluentes industriais e caso seja possível, o uso de incentivos fiscais para as empresas que invistam fortemente no reaproveitamento de seus resíduos líquidos. Em números, esta redução será da ordem de 290.058,61 L/ano, 122.162,49 Kg/ano de DBO₅ e 244.324,98 Kg/ano de DQO.

d) Atividades Agrícolas – Irrigação

As simulações foram realizadas para dois períodos: entre os anos de 2008 a 2011 e entre 2012 a 2015, respeitando o tipo de cultura plantada mais representativa para a região: permanentes (manga, algodão arbóreo, castanha de caju, côco-da-baía e banana) e temporárias (fava, milho, feijão, tomate e mandioca). As tabelas abaixo mostram os resultados obtidos.

Tabela 6.4 – Cargas Poluidoras Geradas pela Área Rural – Culturas Permanentes – Cenário 1

| Cenários | Totais | Cargas Potenciais | | Cargas Lançadas | | |
|-----------------------|----------|-------------------|----------|-----------------|----------|----------|
| | | Kg/ano | | Kg/ano | | |
| | | P-total | N | P-total | N | |
| Atual sem medidas | Ano 2005 | 952,00 | 3.094,00 | 761,60 | 2.475,20 | |
| | Ano 2006 | 952,00 | 3.094,00 | 761,60 | 2.475,20 | |
| | Ano 2007 | 948,00 | 3.081,00 | 758,40 | 2.464,80 | |
| Cenário 1 com medidas | Etapa I | Ano 2008 | 948,00 | 3.081,00 | 666,12 | 2.169,83 |
| | | Ano 2009 | 948,00 | 3.081,00 | 666,12 | 2.169,83 |
| | | Ano 2010 | 948,00 | 3.081,00 | 666,12 | 2.169,83 |
| | | Ano 2011 | 948,00 | 3.081,00 | 666,12 | 2.169,83 |
| | Etapa II | Ano 2012 | 948,00 | 3.081,00 | 521,40 | 1.694,55 |
| | | Ano 2013 | 948,00 | 3.081,00 | 521,40 | 1.694,55 |
| | | Ano 2014 | 948,00 | 3.081,00 | 521,40 | 1.694,55 |
| | | Ano 2015 | 948,00 | 3.081,00 | 521,40 | 1.694,55 |

N – Nitrogênio Orgânico

P-total – Fósforo Total

**Tabela 6.5 – Cargas Poluidoras Geradas pela Área Rural – Culturas Temporárias –
Cenário 1**

| Cenários | Totais | Cargas Potenciais | | Cargas Lançadas | | |
|--------------------------|----------|-------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
| | | Kg/ano | | Kg/ano | | |
| | | P-total | N | P-total | N | |
| Atual sem medidas | Ano 2005 | 29.414,40 | 95.596,80 | 23.531,52 | 76.477,44 | |
| | Ano 2006 | 29.414,40 | 95.596,80 | 23.531,52 | 76.477,44 | |
| | Ano 2007 | 29.414,40 | 95.596,80 | 23.531,52 | 76.477,44 | |
| Cenário 1 com medidas | Etapa I | Ano 2008 | 29.414,40 | 95.596,80 | 20.590,08 | 66.917,76 |
| | | Ano 2009 | 29.414,40 | 95.596,80 | 20.590,08 | 66.917,76 |
| | | Ano 2010 | 29.414,40 | 95.596,80 | 20.590,08 | 66.917,76 |
| | | Ano 2011 | 29.414,40 | 95.596,80 | 20.590,08 | 66.917,76 |
| | Etapa II | Ano 2012 | 29.414,40 | 95.596,80 | 16.177,92 | 52.578,24 |
| | | Ano 2013 | 29.414,40 | 95.596,80 | 16.177,92 | 52.578,24 |
| | | Ano 2014 | 29.414,40 | 95.596,80 | 16.177,92 | 52.578,24 |
| | | Ano 2015 | 29.414,40 | 95.596,80 | 16.177,92 | 52.578,24 |

N – Nitrogênio Orgânico

P-total – Fósforo Total

O teor de remoção anual destes poluentes entre 2008 a 2011 será 20% maior do que as reduções alcançadas nos anos de 2005, 2006 e 2007, cuja redução anual era de 10%, em virtude, provavelmente, de uma fiscalização menos eficiente e de um maior uso de agrotóxicos.

Os resultados mostraram um decréscimo médio anual de 8,75% para as cargas potenciais e lançadas de fósforo total e nitrogênio para o período 2008 a 2011, em relação ao período 2005 a 2007. Isto representa uma redução anual na entrada de fósforo total de 95,48 Kg e de 305,37 Kg de nitrogênio no reservatório para as culturas permanentes e de 2.900 Kg e 9.500 Kg para as culturas temporárias, respectivamente.

Considerando o nível de água máximo da barragem (253.142.427,00 m³), dividindo as cargas por este volume e fazendo as conversões necessárias nas unidades, as concentrações médias anuais desses nutrientes lançadas em Acauã neste período será de 0,002 mg/L de fósforo total e 0,009 mg/L de nitrogênio orgânico para as culturas permanentes, valores de acordo com a Resolução CONAMA n.º. 357/05 que limita as concentrações máximas permissíveis em 0,050 mg/L de P-total e 2,0 mg/L de nitrogênio amoniacal ($7,5 < \text{pH} \leq 8,0$) para a classe 2.

Quanto as culturas temporárias, o valor de 0,08 mg/L de fósforo total ficou acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n.º. 357/05 para a classe 2,

entretanto a concentração de 0,26 mg/L de nitrogênio orgânico permaneceu dentro do limite.

Analisando o período seguinte de simulações, correspondente aos anos 2012 até 2015, a remoção das cargas potenciais foi 15% maior do que o período anterior, para ambas as culturas.

A partir da relação entre as cargas lançadas anualmente neste período, e o volume máximo do reservatório, os resultados finais mostraram a manutenção da concentração de fósforo total independente do tipo de cultura plantada, de 0,002 mg/L de fósforo total e 0,007 mg/L de nitrogênio orgânico para as culturas permanentes, valores de acordo com a Resolução CONAMA n.º. 357/05 para a classe 2, e respectivamente 0,06 mg/L de fósforo total, valor acima do permitido pela classe 2, enquanto que a concentração de 0,21 mg/L de nitrogênio, ficou dentro dos limites da classe 2 conforme a Resolução CONAMA n.º. 357/05, para as culturas temporárias.

6.3 Análise do Cenário de Planejamento 2

Este cenário marca a continuidade e elevação nos percentuais de remoção das cargas poluidoras geradas pelas atividades desenvolvidas na Região do Médio Curso do Rio Paraíba e que afetam o reservatório Acauã.

a) População Urbana

Neste cenário de planejamento o período de análise situa-se de 2016 até 2020 para a população urbana. O percentual de tratamento dos esgotos mediante a implantação de sistemas de esgotamento sanitário e construção de estações de tratamento foi ampliado, anualmente, em 30%, em cada cidade da região, ou seja, o percentual de remoção dos poluentes passou de 60% para 90% em toda a Região do Médio Curso do rio Paraíba.

Os resultados apresentados na Tabela 6.6 mostram a redução média anual das cargas lançadas, de 7.550,08 ton de DBO₅, 15.100,16 ton de DQO e 126.778,06 m³ de resíduos sedimentáveis em relação à carga máxima que poderia chegar a Acauã, caso não houvesse nenhum tipo de tratamento prévio.

Tabela 6.6 – Cargas Potenciais e Cargas Lançadas Pela População Urbana – Cenário 2

| Cenário | Totais | Cargas Potenciais | | | Cargas Lançadas | | |
|--------------------------|----------|-------------------|-----------|---------------------|------------------|----------|---------------------|
| | | Ton/ano | | m ³ /ano | Ton/ano | | m ³ /ano |
| | | DBO ₅ | DQO | RS | DBO ₅ | DQO | RS |
| Cenário 2 com medidas | Ano 2016 | 8.288,87 | 16.577,75 | 139.151,89 | 828,89 | 1.657,77 | 13.915,19 |
| | Ano 2017 | 8.338,75 | 16.677,50 | 140.002,60 | 833,88 | 1.667,75 | 14.000,26 |
| | Ano 2018 | 8.388,98 | 16.777,96 | 140.858,96 | 838,90 | 1.677,80 | 14.085,90 |
| | Ano 2019 | 8.439,56 | 16.879,11 | 141.721,03 | 843,96 | 1.687,91 | 14.172,10 |
| | Ano 2020 | 8.490,49 | 16.980,97 | 142.588,83 | 849,05 | 1.698,10 | 14.258,88 |

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio DQO – Demanda Química de Oxigênio
RS – Resíduos Sedimentáveis

Em consonância com o volume máximo da barragem de 253.142.427,00m³, a concentração média anual que chegará após ter sido efetivado o tratamento prévio, será bem inferior aos obtidos no cenário 2, sendo 29,85 mg/L para a DBO₅ e 59,70 mg/L para a DQO, valores ainda acima do recomendado para a Resolução CONAMA n.º 357/05 para a classe 2 (máximo de 5,0 mg/L de O₂) mas que diminuem os custos em estações de tratamento de água para consumo humano, além de reduzir eficientemente o lançamento de grande quantidade de matéria orgânica no ambiente.

b) População Rural

A ampliação anual da construção de sistemas de esgotamentos sanitários básicos em ambientes rurais foi de 40% em cada município, entre os anos de 2012 até 2020.

A redução média anual das cargas lançadas em referência as medidas de gerenciamento aplicadas no cenário 1 (Tabela 6.2) foi de 65% para todos os poluentes orgânicos. Segundo este percentual, aplicando-se as cargas lançadas da Tabela 6.7 junto a volumes superiores aos 60.000.000 m³, na Equação (6.1), a concentração anual dos poluentes irá manter-se conforme a Resolução CONAMA n.º 357/05 para a classe 2.

Tabela 6.7 – Cargas Potenciais e Cargas Lançadas Referentes ao Cenário de Planejamento 2 – Área Rural

| Cenário | Totais | Cargas Potenciais | | | Cargas Lançadas | | |
|--------------------------|----------|-------------------|----------|---------------------|------------------|--------|---------------------|
| | | Ton/ano | | m ³ /ano | Ton/ano | | m ³ /ano |
| | | DBO ₅ | DQO | RS | DBO ₅ | DQO | RS |
| Cenário 2 com medidas | Ano 2012 | 2.138,07 | 4.276,14 | 21.197,24 | 427,61 | 855,23 | 4.239,45 |
| | Ano 2013 | 2.146,90 | 4.293,80 | 21.290,65 | 429,38 | 858,76 | 4.258,13 |
| | Ano 2014 | 2.155,85 | 4.311,71 | 21.385,28 | 431,17 | 862,34 | 4.277,06 |
| | Ano 2015 | 2.164,92 | 4.329,84 | 21.481,12 | 432,98 | 865,97 | 4.296,22 |
| | Ano 2016 | 2.174,11 | 4.348,22 | 21.578,18 | 434,82 | 869,64 | 4.315,64 |
| | Ano 2017 | 2.183,42 | 4.366,84 | 21.676,49 | 436,68 | 873,37 | 4.335,30 |
| | Ano 2018 | 2.192,86 | 4.385,71 | 21.776,05 | 438,57 | 877,14 | 4.355,21 |
| | Ano 2019 | 2.202,41 | 4.404,82 | 21.876,87 | 440,48 | 880,96 | 4.375,37 |
| | Ano 2020 | 2.212,09 | 4.424,18 | 21.978,96 | 442,42 | 884,84 | 4.395,79 |

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio DQO – Demanda Química de Oxigênio
RS – Resíduos Sedimentáveis

c) Atividades Industriais

A ampliação na porcentagem de reúso dos efluentes industriais entre 2012 e 2020, foi de 30% em comparação ao cenário 1.

A redução média anual das cargas lançadas em comparação com o cenário 1, foi de 75% para todos os parâmetros medidos (Tabela 6.8).

Tabela 6.8 – Cargas Potenciais e Cargas Geradas Através da Implantação do Cenário de Planejamento 2 - Indústrias

| Cenário | Totais | Cargas Potenciais | | | Cargas Lançadas | | |
|--------------------------|----------|-------------------|------------|------------|-----------------|-----------|-----------|
| | | Kg/ano | | L/ano | Kg/ano | | L/ano |
| | | DBO | DQO | RS | DBO | DQO | RS |
| Cenário 2 com medidas | Ano 2012 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 15.840,02 | 31.680,04 | 48.343,10 |
| | Ano 2013 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 15.840,02 | 31.680,04 | 48.343,10 |
| | Ano 2014 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 15.840,02 | 31.680,04 | 48.343,10 |
| | Ano 2015 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 15.840,02 | 31.680,04 | 48.343,10 |
| | Ano 2016 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 15.840,02 | 31.680,04 | 48.343,10 |
| | Ano 2017 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 15.840,02 | 31.680,04 | 48.343,10 |
| | Ano 2018 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 15.840,02 | 31.680,04 | 48.343,10 |
| | Ano 2019 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 15.840,02 | 31.680,04 | 48.343,10 |
| | Ano 2020 | 185.522,56 | 371.045,12 | 483.431,02 | 15.840,02 | 31.680,04 | 48.343,10 |

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio DQO – Demanda Química de Oxigênio
RS – Resíduos Sedimentáveis

A redução de 75% quantifica o lançamento dessa carga poluidora nos córregos, riachos e no rio Paraíba, e que chegam ao reservatório Acauã, em um total de 47.520,05 Kg/ano de DBO₅, 95.040,10 Kg/ano de DQO e 145.029,31 L/ano de resíduos sedimentáveis.

d) Atividades Agrícolas – Irrigação

As Tabelas 6.9 e 6.10 expressam a redução do lançamento dos poluentes, a partir da ampliação do percentual de remoção das cargas poluidoras.

Tabela 6.9 – Cargas Poluidoras Geradas pela Área Rural – Culturas Permanentes - Cenário 2

| Cenário | Totais | Cargas Potenciais | | Cargas Lançadas | |
|------------------------------|-----------------|-------------------|----------|-----------------|----------|
| | | Kg/ano | | Kg/ano | |
| | | P-total | N | P-total | N |
| Cenário 2 com medidas | Ano 2016 | 948,00 | 3.081,00 | 331,80 | 1.078,35 |
| | Ano 2017 | 948,00 | 3.081,00 | 331,80 | 1.078,35 |
| | Ano 2018 | 948,00 | 3.081,00 | 331,80 | 1.078,35 |
| | Ano 2019 | 948,00 | 3.081,00 | 331,80 | 1.078,35 |
| | Ano 2020 | 948,00 | 3.081,00 | 331,80 | 1.078,35 |

P-total – Fósforo Total; N – Nitrogênio Orgânico

Tabela 6.10 – Cargas Poluidoras Geradas pela Área Rural – Culturas Temporárias - Cenário 2

| Cenário | Totais | Cargas Potenciais | | Cargas Lançadas | |
|------------------------------|-----------------|-------------------|-----------|-----------------|-----------|
| | | Kg/ano | | Kg/ano | |
| | | P-total | N | P-total | N |
| Cenário 2 com medidas | Ano 2016 | 29.414,40 | 95.596,80 | 10.295,04 | 33.458,88 |
| | Ano 2017 | 29.414,40 | 95.596,80 | 10.295,04 | 33.458,88 |
| | Ano 2018 | 29.414,40 | 95.596,80 | 10.295,04 | 33.458,88 |
| | Ano 2019 | 29.414,40 | 95.596,80 | 10.295,04 | 33.458,88 |
| | Ano 2020 | 29.414,40 | 95.596,80 | 10.295,04 | 33.458,88 |

P-total – Fósforo Total; N – Nitrogênio Orgânico

Os resultados referentes à redução dos poluentes em mais 20% proporcionaram, para ambas as culturas, um decréscimo médio anual de 75% entre as cargas máximas geradas na Região do Médio Curso do rio Paraíba e as cargas lançadas de fósforo total e nitrogênio orgânico para o período 2016 a 2020. Isto representa uma redução anual na entrada de fósforo e nitrogênio orgânico, no reservatório, de 616,20 Kg e 2.002,60 Kg respectivamente para as culturas permanentes e 19.119,36 Kg e 62.137,92 Kg para as culturas temporárias. Relacionando estas cargas lançadas anuais com volumes do manancial acima de 60.000.000,00 m³ as concentrações de fósforo total e nitrogênio orgânico permanecem dentro da classe 2 segundo a Resolução CONAMA n°. 357/05. Utilizando a Equação (6.1) tendo o volume de 253.142.427,00 m³ como referência, obtêm-se concentrações de 0,001 mg/L e 0,004 mg/L respectivamente para as culturas permanentes e 0,04 mg/L e 0,13 mg/L para as culturas temporárias.

6.4 Análise da Concentração Total dos Poluentes no Reservatório Acauã

Através dos resultados apresentados pelas simulações dos cenários 1 e 2, foi possível avaliar a concentração anual total dos poluentes, relacionando a carga lançada de cada ano com os respectivos volumes do manancial em função de sua cota.

Tabela 6.11 – Carga Poluidora Total – Populações e Indústria Para os Dois Cenários de Planejamento

| Cenários | | Totais Anuais | Cargas Potenciais | | | Cargas Lançadas | | |
|--------------------------|--|---------------|-------------------|------------|---------------------|------------------|-----------|---------------------|
| | | | Ton/ano | | m ³ /ano | Ton/ano | | m ³ /ano |
| | | | DBO ₅ | DQO | RS | DBO ₅ | DQO | RS |
| Cen. 1 Pop. Urbana | Cen. 1 Indústria e Pop. Rural | 2008 | 10.191,52 | 20.383,04 | 153.532,40 | 6.066,96 | 12.133,92 | 92.022,75 |
| | | 2009 | 10.247,07 | 20.494,14 | 154.424,30 | 6.100,29 | 12.200,57 | 105.893,12 |
| | | 2010 | 10.303,06 | 20.606,12 | 155.322,69 | 6.133,88 | 12.267,76 | 106.513,37 |
| | | 2011 | 10.359,50 | 20.719,00 | 156.227,62 | 6.167,75 | 12.335,49 | 107.138,08 |
| | Cen. 2 Indústria e Pop. Rural | 2012 | 10.416,39 | 20.832,77 | 157.485,58 | 3.680,57 | 7.361,14 | 58.609,76 |
| | | 2013 | 10.473,73 | 20.947,46 | 158.407,44 | 3.701,74 | 7.403,48 | 72.623,15 |
| 2014 | | 10.531,51 | 21.063,02 | 159.335,83 | 3.723,06 | 7.446,13 | 73.058,96 | |
| 2015 | | 10.589,79 | 21.179,57 | 160.271,35 | 3.744,56 | 7.489,12 | 59.667,29 | |
| 2016 | | 10.648,51 | 21.297,01 | 161.213,51 | 1.279,55 | 2.559,10 | 18.279,17 | |
| Cen. 2 Pop. Urbana | Cen. 2 Indústria e Pop. Rural | 2017 | 10.707,70 | 21.415,39 | 162.162,52 | 1.286,40 | 2.572,80 | 18.383,90 |
| | | 2018 | 10.767,36 | 21.534,71 | 163.118,45 | 1.293,31 | 2.586,62 | 18.489,45 |
| | | 2019 | 10.827,49 | 21.654,98 | 164.081,33 | 1.300,28 | 2.600,56 | 18.595,82 |
| | | 2020 | 10.888,10 | 21.776,20 | 165.051,22 | 1.307,31 | 2.614,61 | 18.703,02 |
| Totais | | | 136.951,70 | 273.903,41 | 2.070.634,24 | 45.785,65 | 91.571,31 | 767.977,84 |

Tabela 6.12 – Carga Poluidora Total – Culturas Permanentes e Temporárias Para os Dois Cenários de Planejamento

| Valores Totais - Culturas Permanentes e Temporárias | | | | | |
|---|---------------|-------------------|--------------|-----------------|------------|
| Cenários | Totais Anuais | Cargas Potenciais | | Cargas Lançadas | |
| | | Kg/ano | | Kg/ano | |
| | | P-total | N | P-total | N |
| Cenário 1 | 2008 | 30.362,40 | 98.677,80 | 21.256,20 | 69.087,59 |
| | 2009 | 30.362,40 | 98.677,80 | 21.256,20 | 69.087,59 |
| | 2010 | 30.362,40 | 98.677,80 | 21.256,20 | 69.087,59 |
| | 2011 | 30.362,40 | 98.677,80 | 21.256,20 | 69.087,59 |
| | 2012 | 30.362,40 | 98.677,80 | 16.699,32 | 54.272,79 |
| | 2013 | 30.362,40 | 98.677,80 | 16.699,32 | 54.272,79 |
| | 2014 | 30.362,40 | 98.677,80 | 16.699,32 | 54.272,79 |
| | 2015 | 30.362,40 | 98.677,80 | 16.699,32 | 54.272,79 |
| Cenário 2 | 2016 | 30.362,40 | 98.677,80 | 10.626,84 | 34.537,23 |
| | 2017 | 30.362,40 | 98.677,80 | 10.626,84 | 34.537,23 |
| | 2018 | 30.362,40 | 98.677,80 | 10.626,84 | 34.537,23 |
| | 2019 | 30.362,40 | 98.677,80 | 10.626,84 | 34.537,23 |
| | 2020 | 30.362,40 | 98.677,80 | 10.626,84 | 34.537,23 |
| Totais | | 394.711,20 | 1.282.811,40 | 204.956,28 | 666.127,67 |

A soma dos valores de cada atividade possibilitou identificar a concentração final de cada poluente e sua adequação a classe 2 da Resolução CONAMA N^o. 357/05 (máximo de 5,0 mg/L para DBO₅).

A Equação (6.2) expressa o cálculo das concentrações dos poluentes em relação a cada volume do manancial.

$$\text{Concentrações} = [(Carga Anual/Volume^*)] \quad \text{Eq. (6.2)}$$

Onde:

Carga Anual = carga do poluente lançada anualmente no manancial (Tabelas 6.11 e 6.12);

Volume* = volume no reservatório de acordo com sua cota e área;

Obs = Cada carga lançada de um determinado ano é dividida por todos os volumes do manancial a partir da cota 110 m, objetivando avaliar cada concentração à medida que o volume do manancial decresce ou aumentam, entretanto, as tabelas apresentam apenas os valores mais representativos, de acordo com as respectivas cotas.

Tabela 6.13 – Concentrações da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO₅): Populações Urbana, Rural e Atividades Industriais

| Dados de Acauã | | | Concentrações | |
|----------------|------------------------|--------------------------|---|-------------------------|
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | 2007 Atual | DBO ₅ (mg/L) |
| 130,00 | 17.247.867 | 253.142.247 | | 23,48 |
| 131,00 | 17.914.599 | 270.652.350 | | 21,96 |
| 132,00 | 18.573.868 | 288.810.194 | | 20,58 |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | 2008 Cenário 1 (Urbana/Rural/ Indústria) | DBO ₅ (mg/L) |
| 130,00 | 17.247.867 | 253.142.247 | | 23,96 |
| 131,00 | 17.914.599 | 270.652.350 | | 22,41 |
| 132,00 | 18.573.868 | 288.810.194 | | 21,00 |
| Dados de Acauã | | | Concentrações | |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | 2016 Cenário 2 (Urbana/Rural/ Indústria) | DBO ₅ (mg/L) |
| 129,00 | 16.575.715 | 236.283.843 | | 5,41 |
| 130,00 | 17.247.867 | 253.142.247 | | 5,05 |
| 131,00 | 17.914.599 | 270.652.350 | | 4,72 |
| 132,00 | 18.573.868 | 288.810.194 | | 4,43 |
| Dados de Acauã | | | Concentrações | |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | 2020 Cenário 2 (Urbana/Rural/ Indústria) | DBO ₅ (mg/L) |
| 129,00 | 16.575.715 | 236.283.843 | | 5,53 |
| 130,00 | 17.247.867 | 253.142.247 | | 5,16 |
| 131,00 | 17.914.599 | 270.652.350 | | 4,83 |
| 132,00 | 18.573.868 | 288.810.194 | | 4,52 |

Os valores quanto às concentrações totais de DBO₅ geradas pelos efluentes da zona rural, zona urbana e atividades industriais, são iguais e inferiores ao valor de 5,0 mg/L de O₂, referente a classe 2, apenas para volumes do manancial acima de 253.000.000,00 m³ (cota 130 m) e a partir do ano de 2016, entretanto, os valores mantidos acima do nível de enquadramento representam elevada redução da carga poluidora lançada (Tabela 6.13).

Quanto à concentração de nitrogênio orgânico, os valores apresentados na Tabela 6.14 mostram a elevada concentração para volumes abaixo dos 36.000.000,00 m³, no entanto, a partir de 2008, para volumes acima dos 36.000.000,00 m³ (cota 111 m) os resultados mantiveram-se inferiores a 2 mg/L e 5,6 mg/L, níveis de referência para as classes 2 e 3 (condição extrema em caso de não adequação a classe 2) de acordo com a Resolução CONAMA n.º. 357/05. Com o aumento das taxas de remoção dos poluentes, a partir de 2012, os resultados mantiveram-se abaixo deste limite.

Tabela 6.14 – Concentrações de Nitrogênio Orgânico (N) em Acauã – PB

| Dados de Acauã | | | Concentrações | | |
|----------------|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | 2007(Atual) N (mg/L) | 2008(Cenário 1) N(mg/L) | 2012(Cenário 2) N(mg/L) |
| 110,00 | 4.984.227 | 36.585.907 | 2,15 | 1,88 | 1,97 |
| 111,00 | 5.463.553 | 41.851.027 | 1,88 | 1,65 | 1,70 |
| 112,00 | 5.963.081 | 47.622.892 | 1,65 | 1,45 | 1,48 |
| 113,00 | 6.482.087 | 53.919.561 | 1,46 | 1,28 | 1,29 |
| 114,00 | 7.019.778 | 60.757.934 | 1,29 | 1,13 | 1,14 |
| 115,00 | 7.575.292 | 68.153.751 | 1,15 | 1,01 | 1,00 |
| 116,00 | 7.147.698 | 76.121.596 | 1,03 | 0,90 | 0,89 |
| 117,00 | 8.735.993 | 84.674.890 | 0,93 | 0,81 | 0,79 |
| 118,00 | 9.339.108 | 93.825.900 | 0,84 | 0,73 | 0,71 |
| 119,00 | 9.955.903 | 103.585.730 | 0,76 | 0,66 | 0,64 |
| 120,00 | 10.585.167 | 113.964.327 | 0,69 | 0,60 | 0,57 |
| 121,00 | 11.225.622 | 124.970.480 | 0,63 | 0,55 | 0,52 |
| 122,00 | 11.875.919 | 136.611.817 | 0,57 | 0,50 | 0,47 |
| 123,00 | 12.534.640 | 148.894.817 | 0,53 | 0,46 | 0,43 |
| 124,00 | 13.200.298 | 161.824.768 | 0,48 | 0,42 | 0,39 |
| 125,00 | 13.871.335 | 175.405.846 | 0,45 | 0,39 | 0,36 |
| 126,00 | 14.546.126 | 189.641.037 | 0,41 | 0,36 | 0,33 |
| 127,00 | 15.222.975 | 204.532.176 | 0,38 | 0,33 | 0,30 |
| 128,00 | 15.900.116 | 220.079.939 | 0,35 | 0,31 | 0,28 |
| 129,00 | 16.575.715 | 236.283.843 | 0,33 | 0,29 | 0,26 |
| 130,00 | 17.247.867 | 253.142.247 | 0,31 | 0,27 | 0,24 |
| 131,00 | 17.914.599 | 270.652.350 | 0,29 | 0,25 | 0,23 |
| 132,00 | 18.573.868 | 288.810.194 | 0,27 | 0,23 | 0,21 |

O fósforo total, elemento principal na análise da capacidade de suporte dos ambientes hídricos, de acordo com a Tabela 6.15, apresentou entre os anos de 2008 até 2011 concentrações superiores a 0,050 mg/L e 0,075 mg/L estabelecidos respectivamente para as classes 2 e 3 da Resolução CONAMA n.º 357/05 para volumes do reservatório Acauã acima de 200.000.000,00 m³ (a partir da cota 127 m). A partir de 2012 até 2015 para volumes acima dos 220.000.000,00 m³ (cota 128 m), as concentrações de P-total não atenderam a classe 2, entretanto, mantiveram-se na classe 3, aceita como mínimo de atendimento quando não for possível alcançar a classe 2.

Para volumes acima dos 148.000.000,00 m³ (acima da cota 123 m) a partir de 2016, as concentrações mantiveram-se na classe 3, alcançando a classe 2 para volumes acima dos 220.000.000,00 m³ (cota 128 m).

Tabela 6.15 – Concentrações de Fósforo Total (P-total) em Acauã – PB

| Dados de Acauã | | | Concentração | |
|----------------|------------------------|--------------------------|--------------|----------------|
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | 2008 | P-total (mg/L) |
| 127,00 | 15.222.975 | 204.532.176 | | 0,104 |
| 128,00 | 15.900.116 | 220.079.939 | | 0,097 |
| 129,00 | 16.575.715 | 236.283.843 | | 0,090 |
| 130,00 | 17.247.867 | 253.142.247 | | 0,084 |
| 131,00 | 17.914.599 | 270.652.350 | | 0,079 |
| 132,00 | 18.573.868 | 288.810.194 | | 0,074 |
| Dados de Acauã | | | | Concentração |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | 2014 | P-total (mg/L) |
| 124,00 | 13.200.298 | 161.824.768 | | 0,103 |
| 125,00 | 13.871.335 | 175.405.846 | | 0,095 |
| 126,00 | 14.546.126 | 189.641.037 | | 0,088 |
| 127,00 | 15.222.975 | 204.532.176 | | 0,082 |
| 128,00 | 15.900.116 | 220.079.939 | | 0,076 |
| 129,00 | 16.575.715 | 236.283.843 | | 0,071 |
| 130,00 | 17.247.867 | 253.142.247 | | 0,066 |
| 131,00 | 17.914.599 | 270.652.350 | | 0,062 |
| 132,00 | 18.573.868 | 288.810.194 | | 0,058 |
| Dados de Acauã | | | Concentração | |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | 2018 | P-total (mg/L) |
| 122,00 | 11.875.919 | 136.611.817 | | 0,078 |
| 123,00 | 12.534.640 | 148.894.817 | | 0,071 |
| 124,00 | 13.200.298 | 161.824.768 | | 0,066 |
| 125,00 | 13.871.335 | 175.405.846 | | 0,061 |
| 126,00 | 14.546.126 | 189.641.037 | | 0,056 |
| 127,00 | 15.222.975 | 204.532.176 | | 0,052 |
| 128,00 | 15.900.116 | 220.079.939 | | 0,048 |
| 129,00 | 16.575.715 | 236.283.843 | | 0,045 |
| 130,00 | 17.247.867 | 253.142.247 | | 0,042 |
| 131,00 | 17.914.599 | 270.652.350 | | 0,039 |
| 132,00 | 18.573.868 | 288.810.194 | | 0,037 |

Através da implantação destes cenários de gerenciamento, observa-se que os resultados alcançados quanto ao melhoramento da qualidade da água, será possível desde que se empreguem de forma correta e eficaz as medidas de gerenciamento necessárias, quais sejam:

- Implantação e ampliação dos sistemas de esgotamento sanitários e a construção de estações de tratamento de esgotos, através da interação entre os governos municipal, estadual, federal;
- Regulamentar um percentual fixo do orçamento público da União destinado aos investimentos em saneamento urbano;

- Auxílio municipal e estadual, seja em caráter financeiro ou na disponibilização de mão-de-obra, quanto a implantação por parte de órgãos federais, como a FUNASA (Fundação Nacional de Saúde) e o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) de sistemas de esgotamento sanitário em áreas urbanas e rurais;
- Ampliar a fiscalização quanto aos usos do solo na Região do Médio Curso do Rio Paraíba, buscando eliminar o uso de fertilizantes e agrotóxicos;
- Conceber incentivos fiscais para que as indústrias possam disponibilizar maiores recursos para ampliar o reuso dos resíduos gerados em suas atividades produtivas, mantendo sempre a fiscalização das medidas implantadas.

A redução das cargas poluidoras (Tabela 6.16) mesmo sendo de forma gradativa denota a necessidade e importância que a redução destes parâmetros terá para o uso futuro da qualidade da água no Reservatório Acauã. O atendimento as medidas que geram essa redução possibilitará a busca constante por elevação da quantidade de efluentes coletados e reutilizados, além de ampliar a redução dos níveis de efluentes gerados após o tratamento nas estações de tratamento de esgotos.

Tabela 6.16 – Evolução da Redução das Cargas Poluidoras da DBO₅ e Fósforo Total

| Cenários | Usuários | Cargas Potenciais | Cargas Potenciais | Cargas Lançadas | Cargas Lançadas |
|----------|------------------------|-------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|
| | | P-Total (Kg/ano) | DBO ₅ (Ton/ano) | P-Total (Kg/ano) | DBO ₅ (Ton/ano) |
| 1 | População Urbana | - | 8.068,71 | - | 4.018,50 |
| | População Rural | - | 2.116,51 | - | 1.269,91 |
| | Atividades Industriais | - | 185,52 | - | 63,36 |
| | Irrigação | 30.362,40 | - | 18.977,76 | - |
| 2 | População Urbana | - | 8.388,98 | - | 838,90 |
| | População Rural | - | 2.174,11 | - | 434,82 |
| | Atividades Industriais | - | 185,52 | - | 15,84 |
| | Irrigação | 30.362,40 | - | 10.626,84 | - |

A Tabela 6.17 apresenta a síntese das medidas de gerenciamento aplicadas para cada usuário e os resultados que poderão ser obtidos ao longo dos anos, de acordo com as simulações.

Tabela 6.17 – Síntese das Medidas de Gerenciamento e Resultados ao Longo dos Anos

| Cenários | Pop. Urbana | Pop. Rural | Indústria | Irrigação |
|-----------------------------|--|---|---|---|
| 1 | Melhorar o Funcionamento da ETE de Campina Grande do Médio Curso do rio Paraíba; Ampliar o tratamento de esgotos nas demais cidades da Região. | Construir sistemas básicos de tratamento de esgotos (fossas sépticas e sumidouros). | Fiscalizar a produção e reúso de efluentes. | Reduzir o uso de agrotóxicos. |
| 2 | Ampliar a capacidade de tratamento das ETEs em 90% e a taxa de cobertura do saneamento para todas as cidades da região. | Ampliar a construção de fossas sépticas e/ou deslocamento dos dejetos para ETEs. | Intensificar a fiscalização do reúso de resíduos líquidos das indústrias. | Reforçar a fiscalização nas áreas agrícolas, objetivando a remoção gradativa em 65% de toda a carga poluidora gerada. |
| Resultados Cenário 1 | A ampliação dos sistemas de tratamento de esgotos possibilitará a redução acentuada da carga poluidora gerada, que mesmo acima do valor estabelecido na Resolução CONAMA nº. 357/05 representa redução nos custos de tratamento da água para consumo humano. | A construção de Fossas sépticas e sumidouros possibilitou a obtenção de concentrações de poluentes dentro da classe 2 da Resolução CONAMA nº. 357/05. | Aumenta o reaproveitamento e redução das cargas lançadas no reservatório Acauã. | Concentrações acima do permitido para a classe 2 da Resolução CONAMA nº. 357/05 de acordo com o respectivo volume existente no manancial. |
| Resultados Cenário 2 | Valores bem inferiores aos obtidos no cenário 1, mas acima da classe 2, sendo necessário ampliar o percentual de tratamento e cobertura. | A ampliação dos sistemas de tratamento possibilitou a manutenção das concentrações abaixo do permitido na classe 2. | Aumento da redução em 75% em relação ao cenário 1. | Concentrações dentro da classe 2, mas sofrendo variações em função do volume do manancial. |

6.5 Análise dos Modelos de Cálculo da Capacidade de Suporte

O cálculo da capacidade de suporte para o reservatório Acauã, após a introdução das medidas de gerenciamento, como meio de subsidiar a outorga da piscicultura em tanques-rede, manteve em comum para ambos os modelos utilizados, o da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba e o da Agência Nacional das Águas, as seguintes bases de dados:

- Volume útil dos tanques-rede igual a $5,0 \text{ m}^3$;
- Quantidade de peixes por tanque-rede na ordem de 750 unidades, o que equivale a uma densidade de estocagem de 150 peixes/m^3 ;
- Índice de sobrevivência estimado em 90%;
- Fator de conversão alimentar igual a 1,50 quilos de ração para cada quilo de peixe ganho;
- Peso do peixe estimado durante a despesca em cerca de 1,0 Kg;
- Um único ciclo de cultivo por ano, com duração de 150 dias;
- Incremento de fósforo na água durante todo o cultivo, não superior a $0,005 \text{ mg/L}$, valor estabelecido por Vollenweider (1968), mencionado por Esteves (1998) para ambientes mesotróficos.

Tomando como base a relação cota-área-volume do manancial para os anos entre 2008 até 2020, relacionando as cargas totais (Tabela 6.12) de acordo com a Equação (6.2), os resultados obtidos quanto a quantidade de tanques-rede a serem outorgados, mostraram a pequena influência que a parcela de $0,005 \text{ mg/L}$ de fósforo total teve sobre a qualidade da água, ao longo de todo o ciclo de cultivo.

Através do somatório da parcela de $0,005 \text{ mg/L}$ de fósforo total gerada pelo cultivo, junto com a parcela presente na água (Eq. 6.2), avalia-se o quanto a piscicultura contribui com a concentração desse nutriente no reservatório Acauã.

Tabela 6.18 – Cálculo da Capacidade de Suporte – Período 2007/2011 (Situação Atual e Cenário 1)

| Análise das Concentrações | | | | | Modelo Ono & Kubitza (2003) | | Modelo Dillon & Rigler (1974) | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|--|-----------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| Dados de Acauã - 2007 | | | Concentrações | | Fósforo Gerado | Fósforo Total | Fósforo Gerado | Fósforo Total |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | P-total (mg/L) | P-total (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) |
| 126,00 | 14.546.126,00 | 189.641.037,00 | 0,128 | Classe 2 - 0,050 Classe 3 - 0,075 | 0,005 | 0,133 | 0,005 | 0,133 |
| 127,00 | 15.222.975,00 | 204.532.176,00 | 0,119 | | 0,005 | 0,124 | 0,005 | 0,124 |
| 128,00 | 15.900.116,00 | 220.079.939,00 | 0,110 | | 0,005 | 0,115 | 0,005 | 0,115 |
| 129,00 | 16.575.715,00 | 236.283.843,00 | 0,103 | | 0,005 | 0,108 | 0,005 | 0,108 |
| 130,00 | 17.247.867,00 | 253.142.247,00 | 0,096 | | 0,005 | 0,101 | 0,005 | 0,101 |
| Análise das Concentrações | | | | | Modelo Ono & Kubitza (2003) | | Modelo Dillon & Rigler (1974) | |
| Dados de Acauã - 2009 | | | Concentrações | | Fósforo Gerado | Fósforo Total | Fósforo Gerado | Fósforo Total |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | P-total (mg/L) | P-total (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) |
| 126,00 | 14.546.126,00 | 189.641.037,00 | 0,112 | Classe 2 - 0,050 Classe 3 - 0,075 | 0,005 | 0,117 | 0,005 | 0,117 |
| 127,00 | 15.222.975,00 | 204.532.176,00 | 0,104 | | 0,005 | 0,109 | 0,005 | 0,109 |
| 128,00 | 15.900.116,00 | 220.079.939,00 | 0,097 | | 0,005 | 0,102 | 0,005 | 0,102 |
| 129,00 | 16.575.715,00 | 236.283.843,00 | 0,090 | | 0,005 | 0,095 | 0,005 | 0,095 |
| 130,00 | 17.247.867,00 | 253.142.247,00 | 0,084 | | 0,005 | 0,089 | 0,005 | 0,089 |
| Análise das Concentrações | | | | | Modelo Ono & Kubitza (2003) | | Modelo Dillon & Rigler (1974) | |
| Dados de Acauã - 2010 | | | Concentrações | | Fósforo Gerado | Fósforo Total | Fósforo Gerado | Fósforo Total |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | P-total (mg/L) | P-total (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) |
| 126,00 | 14.546.126,00 | 189.641.037,00 | 0,112 | Classe 2 - 0,050 Classe 3 - 0,075 | 0,005 | 0,1171 | 0,005 | 0,1171 |
| 127,00 | 15.222.975,00 | 204.532.176,00 | 0,104 | | 0,005 | 0,109 | 0,005 | 0,109 |
| 128,00 | 15.900.116,00 | 220.079.939,00 | 0,097 | | 0,005 | 0,102 | 0,005 | 0,102 |
| 129,00 | 16.575.715,00 | 236.283.843,00 | 0,090 | | 0,005 | 0,095 | 0,005 | 0,095 |
| 130,00 | 17.247.867,00 | 253.142.247,00 | 0,084 | | 0,005 | 0,089 | 0,005 | 0,089 |
| Análise das Concentrações | | | | | Modelo Ono & Kubitza (2003) | | Modelo Dillon & Rigler (1974) | |
| Dados de Acauã - 2011 | | | Concentrações | | Fósforo Gerado | Fósforo Total | Fósforo Gerado | Fósforo Total |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | P-total (mg/L) | P-total (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) |
| 126,00 | 14.546.126,00 | 189.641.037,00 | 0,112 | Classe 2 - 0,050 Classe 3 - 0,075 | 0,005 | 0,117 | 0,005 | 0,117 |
| 127,00 | 15.222.975,00 | 204.532.176,00 | 0,104 | | 0,005 | 0,109 | 0,005 | 0,109 |
| 128,00 | 15.900.116,00 | 220.079.939,00 | 0,097 | | 0,005 | 0,102 | 0,005 | 0,102 |
| 129,00 | 16.575.715,00 | 236.283.843,00 | 0,090 | | 0,005 | 0,095 | 0,005 | 0,095 |
| 130,00 | 17.247.867,00 | 253.142.247,00 | 0,084 | | 0,005 | 0,089 | 0,005 | 0,089 |

Tabelas 6.16 e 6.17 - Classe 2 = 0,050mg/L e Classe 3 = 0,075mg/L – Resolução CONAMA N^o. 357/05

Tabela 6.19 – Cálculo da Capacidade de Suporte – Período 2012/ 2015 (Cenário 1)

| Análise das Concentrações | | | | | Modelo Ono & Kubitza (2003) | | Modelo Dillon & Rigler (1974) | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|--|-----------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| Dados de Acauã - 2012 | | | Concentrações | | Fósforo Gerado | Fósforo Total | Fósforo Gerado | Fósforo Total |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | P-total (mg/L) | P-total (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) |
| 124,00 | 13.200.298,00 | 161.824.768,00 | 0,103 | Classe 2 - 0,10 Classe 3 - 0,15 | 0,005 | 0,108 | 0,005 | 0,108 |
| 125,00 | 13.871.335,00 | 175.405.846,00 | 0,095 | | 0,005 | 0,100 | 0,005 | 0,100 |
| 126,00 | 14.546.126,00 | 189.641.037,00 | 0,088 | | 0,005 | 0,093 | 0,005 | 0,093 |
| 127,00 | 15.222.975,00 | 204.532.176,00 | 0,082 | | 0,005 | 0,087 | 0,005 | 0,087 |
| 128,00 | 15.900.116,00 | 220.079.939,00 | 0,076 | | 0,005 | 0,081 | 0,005 | 0,081 |
| 129,00 | 16.575.715,00 | 236.283.843,00 | 0,071 | | 0,005 | 0,076 | 0,005 | 0,076 |
| 130,00 | 17.247.867,00 | 253.142.247,00 | 0,066 | | 0,005 | 0,071 | 0,005 | 0,071 |
| Análise das Concentrações | | | | | Modelo Ono & Kubitza (2003) | | Modelo Dillon & Rigler (1974) | |
| Dados de Acauã - 2013 | | | Concentrações | | Fósforo Gerado | Fósforo Total | Fósforo Gerado | Fósforo Total |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | P-total (mg/L) | P-total (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) |
| 124,00 | 13.200.298,00 | 161.824.768,00 | 0,103 | Classe 2 - 0,10 Classe 3 - 0,15 | 0,005 | 0,108 | 0,005 | 0,108 |
| 125,00 | 13.871.335,00 | 175.405.846,00 | 0,095 | | 0,005 | 0,100 | 0,005 | 0,100 |
| 126,00 | 14.546.126,00 | 189.641.037,00 | 0,088 | | 0,005 | 0,093 | 0,005 | 0,093 |
| 127,00 | 15.222.975,00 | 204.532.176,00 | 0,082 | | 0,005 | 0,087 | 0,005 | 0,087 |
| 128,00 | 15.900.116,00 | 220.079.939,00 | 0,076 | | 0,005 | 0,081 | 0,005 | 0,081 |
| 129,00 | 16.575.715,00 | 236.283.843,00 | 0,071 | | 0,005 | 0,076 | 0,005 | 0,076 |
| 130,00 | 17.247.867,00 | 253.142.247,00 | 0,066 | | 0,005 | 0,071 | 0,005 | 0,071 |
| Análise das Concentrações | | | | | Modelo Ono & Kubitza (2003) | | Modelo Dillon & Rigler (1974) | |
| Dados de Acauã - 2015 | | | Concentrações | | Fósforo Gerado | Fósforo Total | Fósforo Gerado | Fósforo Total |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | P-total (mg/L) | P-total (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) |
| 124,00 | 13.200.298,00 | 161.824.768,00 | 0,103 | Classe 2 - 0,10 Classe 3 - 0,15 | 0,005 | 0,108 | 0,005 | 0,108 |
| 125,00 | 13.871.335,00 | 175.405.846,00 | 0,095 | | 0,005 | 0,100 | 0,005 | 0,100 |
| 126,00 | 14.546.126,00 | 189.641.037,00 | 0,088 | | 0,005 | 0,093 | 0,005 | 0,093 |
| 127,00 | 15.222.975,00 | 204.532.176,00 | 0,082 | | 0,005 | 0,087 | 0,005 | 0,087 |
| 128,00 | 15.900.116,00 | 220.079.939,00 | 0,076 | | 0,005 | 0,081 | 0,005 | 0,081 |
| 129,00 | 16.575.715,00 | 236.283.843,00 | 0,071 | | 0,005 | 0,076 | 0,005 | 0,076 |
| 130,00 | 17.247.867,00 | 253.142.247,00 | 0,066 | | 0,005 | 0,071 | 0,005 | 0,071 |

Com base nas tabelas acima, em face da elevada concentração de poluentes que chegam o reservatório Acauã, a outorga para a implantação da piscicultura em tanques-rede, só será possível após o ano de 2015, para volumes acima dos 250.000.000,00 m³, no caso de considerar a água desse manancial como classe 3 (situação inicialmente aceitável, em caso de não atendimento da classe 2) segundo a Resolução CONAMA n.º 357/05.

Tabela 6.20 – Dados do Cálculo da Capacidade de Suporte – Período 2016/2020 (Cenário 2)

| Análise das Concentrações | | | | Modelo Ono & Kubitzka (2003) | | Modelo Dillon & Rigler (1974) | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| Dados de Acauã - 2016 | | | | CONAMA 357/05 | Fósforo Gerado | Fósforo Total | Fósforo Gerado | Fósforo Total |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | P-total (mg/L) | P-total (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) |
| 120,00 | 10.585.167,00 | 113.964.327,00 | 0,093 | Classe 2 - 0,050 Classe 3 - 0,075 | 0,005 | 0,098 | 0,005 | 0,098 |
| 121,00 | 11.225.622,00 | 124.970.480,00 | 0,085 | | 0,005 | 0,090 | 0,005 | 0,090 |
| 122,00 | 11.875.919,00 | 136.611.817,00 | 0,078 | | 0,005 | 0,083 | 0,005 | 0,083 |
| 123,00 | 12.534.640,00 | 148.894.817,00 | 0,071 | | 0,005 | 0,076 | 0,005 | 0,076 |
| 124,00 | 13.200.298,00 | 161.824.768,00 | 0,066 | | 0,005 | 0,071 | 0,005 | 0,071 |
| 125,00 | 13.871.335,00 | 175.405.846,00 | 0,061 | | 0,005 | 0,066 | 0,005 | 0,066 |
| 126,00 | 14.546.126,00 | 189.641.037,00 | 0,056 | | 0,005 | 0,061 | 0,005 | 0,061 |
| 127,00 | 15.222.975,00 | 204.532.176,00 | 0,052 | | 0,005 | 0,057 | 0,005 | 0,057 |
| 128,00 | 15.900.116,00 | 220.079.939,00 | 0,048 | | 0,005 | 0,053 | 0,005 | 0,053 |
| 129,00 | 16.575.715,00 | 236.283.843,00 | 0,045 | | 0,005 | 0,050 | 0,005 | 0,050 |
| 130,00 | 17.247.867,00 | 253.142.247,00 | 0,042 | | 0,005 | 0,047 | 0,005 | 0,047 |
| Dados de Acauã - 2020 | | | | | CONAMA 357/05 | Fósforo Gerado | Fósforo Total | Fósforo Gerado |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | P-total (mg/L) | P-total (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) | Cultivo (mg/L) | (mg/L) |
| 120,00 | 10.585.167,00 | 113.964.327,00 | 0,093 | Classe 2 - 0,050 Classe 3 - 0,075 | 0,005 | 0,098 | 0,005 | 0,098 |
| 121,00 | 11.225.622,00 | 124.970.480,00 | 0,085 | | 0,005 | 0,090 | 0,005 | 0,090 |
| 122,00 | 11.875.919,00 | 136.611.817,00 | 0,078 | | 0,005 | 0,083 | 0,005 | 0,083 |
| 123,00 | 12.534.640,00 | 148.894.817,00 | 0,071 | | 0,005 | 0,076 | 0,005 | 0,076 |
| 124,00 | 13.200.298,00 | 161.824.768,00 | 0,066 | | 0,005 | 0,071 | 0,005 | 0,071 |
| 125,00 | 13.871.335,00 | 175.405.846,00 | 0,061 | | 0,005 | 0,066 | 0,005 | 0,066 |
| 126,00 | 14.546.126,00 | 189.641.037,00 | 0,056 | | 0,005 | 0,061 | 0,005 | 0,061 |
| 127,00 | 15.222.975,00 | 204.532.176,00 | 0,052 | | 0,005 | 0,057 | 0,005 | 0,057 |
| 128,00 | 15.900.116,00 | 220.079.939,00 | 0,048 | | 0,005 | 0,053 | 0,005 | 0,053 |
| 129,00 | 16.575.715,00 | 236.283.843,00 | 0,045 | | 0,005 | 0,050 | 0,005 | 0,050 |
| 130,00 | 17.247.867,00 | 253.142.247,00 | 0,042 | | 0,005 | 0,047 | 0,005 | 0,047 |

Já para o período 2016 - 2020 (Tabela 6.20) em função da elevação no grau de eficiência pretendido quanto à redução da carga poluidora lançada no manancial em relação ao período atual e cenário 1 (2007 a 2011), a outorga para a piscicultura, sem que haja aumento na concentração de fósforo total no ambiente mediante a introdução deste cultivo e que altere o limite de enquadramento para as classes 2 e 3 requerida pela Resolução CONAMA n.º 357/05 dar-se-á para volumes do reservatório Acauã acima dos 148.000.000,00 m³.

Quanto à produtividade deste sistema de criação em tanques-rede, independentemente da introdução ou não de cenários de planejamento, os modelos apresentam grandes diferenças em relação à quantidade de tanques a serem outorgados, como mostra a Tabela 6.21.

Tabela 6.21 – Produtividade do Sistema de Cultivo

| Análise das Concentrações | | | Modelo Ono & Kubitza (2003) | | Modelo Dillon & Rigler (1974) | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------|-------------------------------|------------|
| Dados de Acauã | | | Tanques | Produção | Tanques | Produção |
| Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) | (Und.) | (Kg) | (Und.) | (Kg) |
| 115,00 | 7.575.292,00 | 68.153.751,00 | 72,00 | 48.600,00 | 53,00 | 35.775,00 |
| 116,00 | 7.147.698,00 | 76.121.596,00 | 80,00 | 54.000,00 | 59,00 | 39.825,00 |
| 117,00 | 8.735.993,00 | 84.674.890,00 | 89,00 | 60.075,00 | 66,00 | 44.550,00 |
| 118,00 | 9.339.108,00 | 93.825.900,00 | 99,00 | 66.825,00 | 73,00 | 49.275,00 |
| 119,00 | 9.955.903,00 | 103.585.730,00 | 109,00 | 73.575,00 | 81,00 | 54.675,00 |
| 120,00 | 10.585.167,00 | 113.964.327,00 | 120,00 | 81.000,00 | 89,00 | 60.075,00 |
| 121,00 | 11.225.622,00 | 124.970.480,00 | 132,00 | 89.100,00 | 97,00 | 65.475,00 |
| 122,00 | 11.875.919,00 | 136.611.817,00 | 144,00 | 97.200,00 | 106,00 | 71.550,00 |
| 123,00 | 12.534.640,00 | 148.894.817,00 | 157,00 | 105.975,00 | 116,00 | 78.300,00 |
| 124,00 | 13.200.298,00 | 161.824.768,00 | 171,00 | 115.425,00 | 126,00 | 85.050,00 |
| 125,00 | 13.871.335,00 | 175.405.846,00 | 185,00 | 124.875,00 | 137,00 | 92.475,00 |
| 126,00 | 14.546.126,00 | 189.641.037,00 | 200,00 | 135.000,00 | 148,00 | 99.900,00 |
| 127,00 | 15.222.975,00 | 204.532.176,00 | 216,00 | 145.800,00 | 159,00 | 107.325,00 |
| 128,00 | 15.900.116,00 | 220.079.939,00 | 233,00 | 157.275,00 | 172,00 | 116.100,00 |
| 129,00 | 16.575.715,00 | 236.283.843,00 | 250,00 | 168.750,00 | 184,00 | 124.200,00 |
| 130,00 | 17.247.867,00 | 253.142.247,00 | 268,00 | 180.900,00 | 197,00 | 132.975,00 |

Os resultados mostram uma quantidade de tanques-rede e de produtividade especificadas pelo modelo Ono & Kubitza (2003) utilizado pela AESA, 27% superior ao modelo Dillon & Rigler (1974) utilizado pela ANA.

Apesar das diferenças, ambos os modelos não consideram parte da matéria orgânica particulada, oriunda dos resíduos produzidos nos tanques-rede e que é

consumida pelos peixes selvagens fora dos tanques-rede ou solubilizada e mineralizada pela ação microbiana durante a sedimentação através do epilímnio. Estes modelos são simplificados, pois não consideram esses efeitos metabólicos sobre a concentração de fósforo total no reservatório (ONO & KUBITZA, 2003).

Mesmo sendo simplificados, os modelos apresentam diferenças significativas, o que não representa a eficiência ou deficiência de um modelo frente ao outro, apenas retrata as restrições utilizadas.

Entre os modelos apresentados por Ono & Kubitzza (2003) e Dillon & Rigler (1974), as principais restrições que os diferenciam são:

a) O volume de referência para o estudo:

- Ono & Kubitzza (2002) – considera a capacidade de 50%, ou 33%, dependendo das condições atuais do açude, além de considerar apenas o volume referente à área de 1% do espelho d'água nas condições citadas;
- Dillon & Rigler (1974) – considera o estudo sobre o volume de permanência de 90%, sendo analisado pela série histórica do mesmo.

b) A taxa de renovação da água e o coeficiente de sedimentação:

- Ono & Kubitzza (2002) – não considera estas variáveis, ou então, é relacionado ao tempo de 1 (um) dia para o desaparecimento do fósforo, dentro do volume de referência;
- Dillon & Rigler (1974) – indica coeficientes estudados por Dillon & Rigler e Beveridge.

c) Teor de fósforo lançado no ambiente:

- Ono & Kubitzza (2002) – apenas faz considerações à proporção da quantidade de fósforo na ração;
- Dillon & Rigler (1974) – além da proporção da quantidade de fósforo na ração, também considera a proporção de fósforo no peixe despescado.

Em meio a estas diferenças a própria AESA, que utiliza o modelo desenvolvido por Ono & Kubitzza (2003) vem discutindo a metodologia utilizada no cálculo da capacidade de suporte, no intuito de incrementar novos parâmetros de restrições.

A ANA, que utiliza o modelo desenvolvido por Dillon & Rigler (1974) vem intensificando a necessidade de mudanças em seu modelo de capacidade de suporte. Segundo a própria Agência, o modelo sofrerá modificações, pois há que se incluir na análise, a carga de Nitrogênio e o aumento na DBO₅, além de ser importante considerar

a capacidade de autodepuração própria de cada reservatório ou, no mínimo, fazer uma análise diferenciada para cada região em função da diferença climática.

Na ANA, encontra-se em fase final de preparação dois Termos de Referência para contratação de consultorias visando à definição de modelos matemáticos adequados para o cálculo da capacidade de suporte de reservatórios no Sudeste e Nordeste do país.

As análises feitas pela ANA têm sido restritivas de modo a garantir a segurança das águas, como é a política de prevenção, e aos poucos se espera, com o desenvolvimento de estudos e pesquisas relacionados à atividade, que se tenha uma maior liberação de outorgas para a atividade de piscicultura em tanques-rede, ou não.

Independente de modificações nos modelos de análise da capacidade de suporte, a aplicação de qualquer um como meio de análise de outorga para a piscicultura em tanques-rede, deve ser acompanhada de fiscalizações periódicas que verifiquem a qualidade da água do manancial. Esse processo já é utilizado pela AESA, no intuito de reduzir ou até mesmo suspender essa atividade, em função do nível de água e do possível aumento na entrada de poluentes no manancial, mantendo assim os padrões de qualidade adequados para os usos múltiplos dos recursos hídricos.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.0 Conclusões

Os resultados apresentados quanto à análise atual da qualidade da água do reservatório Acauã, mostram que esse manancial não possui qualidade hídrica compatível para o uso piscícola. O cultivo existente, outorgado em caráter experimental é afetado constantemente pela floração de cianobactérias, que causam a morte dos peixes, além disso, essa atividade contribui, mesmo que em pequena concentração, com o aumento na emissão de nutrientes que aceleram a eutrofização do ambiente.

A simulação da implantação de medidas de gerenciamento voltadas para a melhoria da qualidade da água do reservatório Acauã proporcionou mesmo de forma gradativa e em curto espaço de tempo uma redução eficientes das cargas poluidoras geradas pelas atividades de uso e ocupação do solo na Região do Médio Curso do Rio Paraíba, entretanto, o não atendimento de todas as especificações apresentadas em cada cenário, tanto por parte do poder público, como por parte da população, podem comprometer os cenários especificados.

A redução marcante nas concentrações de DBO_5 e DQO apresentadas nas simulações dos dois cenários de planejamento, através da instalação de unidades básicas de saneamento nas zonas rurais, ampliação dos sistemas de tratamento dos esgotos das cidades, reúso dos despejos industriais e redução no uso de agrotóxicos, denota a possibilidade de uso da água, sobretudo para o abastecimento humano através de tratamento prévio menos oneroso, em vista aos custos de tratamento necessários para a adequação da qualidade da água, considerando a qualidade atual encontrada nesse manancial.

As reduções nas concentrações de fósforo total ao longo dos anos, devido às medidas aplicadas pelos cenários de planejamento, viabilizam através da análise da capacidade de suporte do ambiente, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos para a introdução da piscicultura em tanques-rede, somente a partir de 2016. A partir de 2008, a outorga só será possível se o reservatório Acauã for enquadrado na classe 3. A outorga concebida em caráter experimental era passiva de análise periódica da qualidade da água, justamente por esta, não ter qualidade compatível para tal empreendimento.

Fica evidente a necessidade de introdução de medidas mais enérgicas de combate a poluição e acompanhamento periódico da qualidade da água por parte do poder público.

A análise dos modelos de capacidade de suporte evidencia a baixa contribuição dessa atividade quanto ao lançamento de fósforo total no ambiente, mas que junto às altas concentrações existentes atualmente, influem em maior escala na aceleração da eutrofização.

Pelo fato de que a outorga para a piscicultura em tanques-rede provem da baixa concentração de fósforo total que essa atividade gera para o ambiente, faz-se necessário por parte dos responsáveis pela emissão da outorga, entender por completo cada modelo, buscando analisar a real viabilidade da outorga para essa atividade com base nas observações, considerações e simplificações que cada um dos métodos possui.

A outorga por ser um instrumento de gestão dos recursos hídricos, carece de avaliações precisas que a fundamente, por isso quaisquer particularidades existentes entre um e outro método devem ser bem analisadas, objetivando evitar erros grosseiros que possam comprometer a qualidade da água do ambiente.

8.0 Recomendações

Para estudos futuros faz-se necessário:

- Considerar novos cenários de simulação na busca por eficiência em menor espaço de tempo;
- Ampliar a medidas de gerenciamento através de análise mais detalhadas que possibilitem adequar a qualidade da água para usos múltiplos em uma parcela de tempo menor do que a utilizada nesse estudo;
- Avaliar os custos da implantação de cada medida de gerenciamento, especificando a fontes que podem vir a cobrir os gastos necessários;
- Realizar estudos comparativos e mais detalhados quanto ao cálculo da capacidade de suporte através dos modelos utilizados pela AESA e ANA;
- Promover a redução das diferenças entre cada modelo;
- Realizar monitoramento contínuo da qualidade da água do reservatório Acauã, afim de verificar o impacto da instalação de empreendimentos de piscicultura.

CAPÍTULO 8

BIBLIOGRAFIA

9.0 Referências Bibliográficas

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas. Disponível em www.aesa.pb.gov.br. Acesso em 10 de maio de 2007.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Outorga de direito de uso**. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em 10 de abril de 2007.

ARAÚJO, S. C. S. **Modelos de Simulação Baseados em Raciocínio Qualitativo para Avaliação da Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, UNB, 2005.

AZEVEDO, L. G. T.; REGO, M. F.; BALTAR, A. M.; PORTO, R. **Sistema de Suporte à Decisão para Outorga de Direito de Uso da Água no Brasil: uma Análise da Situação Brasileira em Alguns Estados**. Bahia Análise & Dados. Salvador – BA. V. 13, n. especial, p. 481-496, 2003.

BARBOSA, F. A. R.; TORRES, G. E. & COUTINHO, M. E. **Ciclo Anual de Temperatura e sua Influência nas Variações Sazonais de Alguns Parâmetros Físico-químicos e da Clorofila “a” e Fenofitina “a” na Lagoa Cariacica – Parque Florestal do Rio Doce**, MG. ACTA Limnologica Brasil., 1988.

BARBOSA, D. S.; OLIVEIRA, M. D. de; NASCIMENTO, F. L.; SILVA, E. L. V. **Avaliação da Qualidade da Água na Piscicultura em Tanques-Rede, Pantanal, MS**. Anais do III Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal. Os Desafios do Novo Milênio. Corumbá-MS, 2000.

BARD, J. **Pêche et Pisciculture en Eaux Continentales Tropicales**. Bois et Forêts des Tropiques. vol. 3, n. 265, p. 61-71, 2000.

BLACK, J. G. **Microbiology. Principles e Applications**. Prentice Hall, 3^o edição, 800 pg., 1996.

BRAGA, A. C. F. M.; DINIZ, L. da S.; SILVA JR, O. B.; NOGUEIRA, G. **Custos Operacionais dos Processos de Outorga no Estado da Paraíba**. Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária**. CETESB/ASCETESB, 1986.

BRASIL. **Lei Federal Nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e do Abastecimento**. Departamento de Pesca e Aqüicultura. Programa Nacional de Apoio à Competitividade e à Sustentabilidade da Cadeia da Tilápia. Brasília, DF. 35 p., 2000.

BORGHETTI, N. R. B.; OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R. **Aqüicultura: Uma Visão Geral sobre a Produção de Organismos Aquáticos no Brasil e no Mundo**. Curitiba: Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais (GIA), 128p., 2003.

BOYD, C. **Manejo do Solo e da Qualidade da Água em Viveiros para Aqüicultura**. Associação Americana de Soja, Campinas, 1997.

BROWN, L. **Fazendas de Peixes**. WWWI-Worldwatch Institute / UMA-Universidade Livre da Mata Atlântica 2001. www.wwiUma.org.br.

CAMARGO, S. G. O. de; POUEY, J. L. O. F. **Aqüicultura – Um Mercado em Expansão**. Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 393-396, out. – dez., 2005.

CAMPOS, N., STUART, T. **Gestão das Águas, princípios e práticas**. ABRH. Fortaleza, 2001.

CARLSON, R. E. A Trophic State Index for Lakes. **Limnol. Oceanogr**, 22: p.361-380, 1977.

CEBALLOS, B. S. O.; AZEVEDO, S. M. F. O.; BENDATE, M. M. A. **Fundamentos Biológicos e Ecológicos Relacionados às Cianobactérias. In: Contribuição ao Estudo da Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de Água para Consumo Humano.** Coordenador Valter Lúcio de Pádua, SERMOGRAF – Artes Gráfica e Editora LTDA – PROSAB, 4. Rio de Janeiro – RJ, 2006.

CÓDIGO DE CONDUTA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RESPONSÁVEL DA PISCICULTURA BRASILEIRA. Versão Preliminar, Brasília, junho de 2007.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Resolução Nº. 357 - 17 de março de 2005.

CYRINO, J. E. P. et al. **Desenvolvimento da Criação de Peixes em Tanques-Rede.** In.: Anais de Aqüicultura Brasil, v. 1, p. 409-33, 1999.

DECRETO Nº. 4.895, de 25 de novembro de 2003. <www.presidencia.gov.br> Acesso em :10 de mar. 2007.

DIAS, J. B. **Impactos Sócio-Econômicos e Ambientais da Introdução da Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, em Açudes Públicos do Semi-Árido Nordeste, Brasil.** Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/PRODEMA, UFRN, Natal/RN, 2006.

DI BERNADO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento da Água.** 2º edição. São Carlos, Editora RIMA, V2, 1565 pag., 2005

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** Rio de Janeiro: Interciência, 575p., 1998.

FAO. **État de l'Aquaculture dans le monde.** Rome. FAO, 114 p., 2003.

FAO. **Fishery statistics. Aquaculture production 2001.** Rome. FAO, 186 p., 2003.

FAO. **Review of the state of world Aquaculture**. Rome, 95p., 2003.

FERNANDES, V. O.; **Caracterização Ecológica e Sanitária dos Rios Sarapuí, Iguaçú e Pavina-Meriti, Baixada Fluminense, RJ**. In. Congresso Brasileiro de Limnologia, 8, João Pessoa, 2001. Resumos: João Pessoa, PB: Sociedade Brasileira de Limnologia, 2001.

GISLER, C. V. T.; DEBERDT, G. L. B.; SILVA, L. M. C.; MELO, J. S. C. **Proposta de Critério para Emissão de Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos para Piscicultura em Tanques-Rede**. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003.

GISLER, C. V. T.; SILVA, L.M.C. & LOPES, A.V. **Outorga para Piscicultura em Tanques-redes**. ABRH, 2005.

GONZALEZ, C. E. **Manejo Industrial de Lás Tilápias**. Curso Lance en Acuacultura. Monterrey Nuevo León, México, 26-30 de Marzo de 2001.

GURGEL, J. J. S. **O DNOCS e a Piscicultura**. DNOCS. 1981.

GURGEL, J. J. S.; FERNANDO, C. H. **Fishereis in semi-arid Northeast Brazil with special reference on the role of tilápias**. Internationale Reveu der gesamten Hydrobiologie 79 (1), 77-94, 1994.

HELLER, L; PÁDUA, L. V. (organizadores). **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Editora UFMG, 2006.

IBAMA. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais**, 2004. www.ibama.gov.br/recursospesqueiros. Acesso em 15 de maio de 2007.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível on-line: www.ibge.gov.br. Acesso em Novembro de 2007.

INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE – IETC.
Planejamento e Gerenciamento de Lagos e Reservatórios: Uma Abordagem Integrada ao Problema da Eutrofização (edição em português). UNEP-IETC, São Carlos, 385 p., 2001.

KUBITZA F. **Qualidade de Água, Sistemas, Planejamento da Produção, Manejo Nutricional e Alimentar e Sanidade**. Panorama da Aqüicultura, v.10, n.59, p. 44-53, 1999.

KUBITZA F. **Tilápia: Tecnologia e Planejamento na Produção Comercial**, Jundiaí, 2000.

KUBITZA, F. **Tanques-rede, Ração e Impacto Ambiental**. Revista Panorama da Aqüicultura, 1999, 51: 44-50 p. *In*: Artigos publicados. Disponível em: <<http://www.acquaimagem.com.br>> Acesso em: 15 maio., 2007.

LANDAU, M. **Introduction to Aquaculture**. New York: John Wiley; Sons, 440 p., 1992.

LAWS, E. A., **Aquatic Pollution - An Introductory Text**. 2ª Ed. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, 1993.

LEI Nº 11.426, DE 17 JANEIRO DE 1997. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.

LEPRUM, P. **Primeira Avaliação das Águas Superficiais do Nordeste. Relatório Final de Convênio**, SUDENE, Recife, 144p., 1983.

LIMA, C. B. **Qualidade da Água em Canais de Irrigação com Cultivo Intensivo de Tilápia Nilótica (*Oreochromis niloticus*)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, UFPB, 2006.

LINS, R. P. **Limnologia da Barragem de Acauã e Codeterminantes Socioeconômicos do Seu Entorno: Uma Nova Interação do Limnólogo Com Sua Unidade de Estudo**. Dissertação de Mestrado. Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. UFPB/UEPB, 2006.

LOVSHIN, L. L. **Red Tilapia or Nile Tilapia: which is the best culture fish?** In: Simpósio sobre Manejo e Nutrição de Peixes, 2., 1998, Piracicaba. **Anais...Piracicaba: CBNA**, p, 179., 1998.

MAIA JR. W. M. **Dinâmica das Variações Limnológicas em Sistemas de Criação de Peixes**. Tese de Doutorado. Programa Institucional de Doutorado Temático. Universidade Federal de Campina Grande, 2003.

MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona, Omega, 1983.

MINISTÉRIO DA SAÚDE/FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano**. Impactos na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano. FUNASA-MG, Brasília, Brasil, 56p., 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional de Recursos Hídricos. Instrumentos da política (2005)**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/srh/politica/instrumentos/cobranca.html>>. Acesso em: 20 de junho de 2007.

MINOTI, R. T. **Variação Anual da Produção Primária e Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica no Reservatório de Salto Grande (Americana – SP)**. São Carlos, SP. [Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, SP], 142p., 1999.

ODUM, E. P. **Fundamentals of Ecology**. 3ª Ed., W. B. Saunders Company, Eds. Philadelphia, London, Toronto, 1971.

OLIVEIRA, M. S.; ALMEIDA, L. C.; SILVESTRE, A. N.; SEVERI, W. **Avaliação do Impacto de Aqüicultura em Tanques-Rede em Reservatório de Abastecimento Público: Uma Experiência de Gestão Compartilhada na Barragem do Rio Prata – Município de Bonito-PE.** VIII Simpósio de recursos Hídricos do Nordeste, 2006.

ONO, E.A.; KUBITZA, F. **Cultivo de Peixes em Tanques-rede.** Jundiaí: E.A. Ono. 112 p., 2003.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J.R.; PEDINI, M. **Situação Atual da Aqüicultura Brasileira e Mundial.** p. 353 – 381. IN: Valenti, W.C. Aqüicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável. Brasília, CNPq, 2000.

PARAÍBA. **Lei Estadual Nº. 6.308, de 02 de julho de 1996.** Instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providencias, no Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br>>. Acesso em: 20 de abril de 2007.

PARAÍBA. **Legislação de Saneamento e Recursos Hídricos.** João Pessoa, PB, 559 p., 2006.

PERREIRA, J. S.; LANNA, A. E. L. **Análise de Critério de Outorga nos Direitos de uso da Água.** In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste (Anais). Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Salvador, 1996.

PERH-PB - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. **Resumo Executivo e Atlas.** 2007.

PERU. Produce: Ministério de La Produccion. Vice Ministério de Pesqueria, Direccion nacional de Acuiculturaa. **Cultivo de Tilápia,** Lima – Peru, 2004.

PERNAMBUCO. **Lei Nº 11.426, de 17 janeiro de 1997.** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.

POPMA, T.; MASSER, M. **Tilapia Life History and Biology**. SRAC Publication, n. 283 p., 1999.

PORTO, R. L.; **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. UFRGS, Associação brasileira de Recursos Hídricos, 1997.

RAMOS, P. R. **Modelo Para Outorga de Uso da Água Utilizando a Metodologia Multicritério de Apoio a Decisão: Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão Do Sul**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2005.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 6.908, de 01/07/1996** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para a Outorga e a Cobrança pelo Uso da Água: Simulação de um Caso**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre – RS, 2000.

RODRIGUES, A. C. L.; BARBOSA, D. L.; FREIRE, P. K. C.; CURI, R. C.; CURI, W. F. **Um Estudo Sobre Outorga de Uso da Água**. Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2006.

SALAS, H. J. & MARTINO, P. **Metodologias Simplificadas para La Evaluación de Eutroficación em Lagos Cálidos Tropicales**. versão atualizada. CEPIS, 60 p., 2001.

SAMPAIO, J. M. C.; BRAGA, L. G. T. **Cultivo de Tilápia em Tanques-rede na Barragem do Ribeirão de Saloméa – Floresta Azul – Bahia**. Revista Brasileira de Saúde Produtiva. An... v.6, n.2, p. 42-52, 2005.

SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for Environmental Engineering**. International Editions, 1994.

SEMA – **Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – PR.** Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/sema/dec4646.rtf>> Acesso em: 15 abr. 2007.

SEMARH. Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba - PERH-PB. **Relatório Parcial da Consolidação de Informações e Regionalização.** Resumo Executivo. João Pessoa: Secretária Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais da Paraíba (SEMARH), 2004.

SEPAQ-CE - Sistema Estadual da Pesca e da Aqüicultura. **Outorga para a Piscicultura, 2004.**

SERHID – Secretaria Estadual dos Recursos Hídricos – RN. **Programa de Outorgas e Licenças.** Disponível em: <<http://www.serhid.rn.gov.br/listagem.asp?IdTipo=23>>. Acesso em: 15 mar. 2007.

SRH-CE. Secretaria dos recursos hídricos do Estado do Ceará. **Outorga.** Disponível em: <www.srh.ce.gov.br/frame-institucional.htm>. Acesso em: 18 maio. 2007.

SILVA, E. R. da, **O Curso da Água na História: Simbologia, Moralidade e a Gestão de Recursos Hídricos.** Rio de Janeiro. Tese (Doutorado). Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Osvaldo Cruz, 1998.

SILVA, N. J. R da. **Dinâmicas de Desenvolvimento da Piscicultura e Políticas Públicas no Vale do Ribeira / Sp E Alto Vale Do Itajaí / Sc – Brasil.** Tese de doutorado realizada em *co-tutelle* apresentada ao Agrocampus Rennes e Universidade Estadual Paulista para obter o título de Doutor em Halieutique pela École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes e Doutor em Aqüicultura pelo Centro de Aqüicultura da UNESP, 2005.

SILVA, S. B. **Cobrança Pelo Lançamento de Efluentes: Simulação Para a Bacia do Rio Paraíba - PB.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Campina Grande – PB, 2006.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H. **Limnologia Aplicada a Aqüicultura**. Jaboticabal, FUNEP, 70p., 1994.

SOUZA, R. S.; HAYASHI, C. **Avaliação do Farelo de Algodão na Alimentação de Alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.)**. Universidade Estadual de Maringá, Paraná – BR, 2003.

http://www.ceniap.gov.br/bdigital/ztzoo/zt2104/arti/desouza_a.htm. Acessado em 03/12/2006.

SCHMITTOU, H. R. **Produção de Peixes em Alta Densidade em Tanques-rede de Pequeno Volume**. Tradução de Eduardo Ono. Campinas: Mogiana Alimentos, 78 p., 1997.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – 2000. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília: Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano. Disponível em: < www.snis.gov.br >. Acesso em: 07 de julho de 2007.

SPERANDIO, L. M. **Criação de Tilápias em Tanque-rede**, 2003.

<http://www.aquiculturafb.hpg.ig.com.br/artigo01.htm> (Acesso em: 12/12/2006).

SPERLING, E. V. **Avaliação do Estado Trófico de Lagoas e Reservatórios Tropicais**. *Revista Bio*: Ano 2, Nº 3, p. 68 - 76. ABES. Rio de Janeiro, 1994.

SRH-BA. Secretaria de meio ambiente e recursos hídricos do Estado da Bahia. **Outorga de recursos hídricos**. Disponível em: <www.srh.ba.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2007.

SRH-CE. Secretaria dos recursos hídricos do Estado do Ceará. **Outorga**. Disponível em: <www.srh.ce.gov.br/frame-institucional.htm>. Acesso em: 10 mar. 2007.

STARLING, F. L. R. M.; LARANGEIRA, G. S.; TEZA, C. T. V.; ZAPAROLI, D.; DAYANE, M.; SILVA, C.; SANTANA, H. **Contribuição da Excreção da Tilápia para o Processo de Eutrofização do Lago Paranoá (Brasília-DF)**. In: 22 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, 2003.

TAVARES, J. L. **Evolução da Eutrofização em uma Represa Nordestina de Recente Formação. Represa São Salvador – Sapé – Pb.** Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPB, Campus II, Campina Grande – PB. Dissertação de Mestrado, 2000.

TIAGO, G. G. **Aqüicultura, Meio Ambiente e Legislação.** São Paulo, Editora Annablume, 162p., 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia, Ciência e Aplicação,** 3ª Edição, ABRH, UFRGS, 2004.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: enfrentando a escassez.** São Carlos: RiMA, IIE, 2003.

VOLLENWEIDER, R. A. **Eutrophication – A Global Problem – Water Quality Bulletin.** Vol. 6, Número 3, 1981.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** – 2ª Ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 243p., 1996.

VON SPERLING, M. **Uso de Relações Limnológicas para Avaliação da Qualidade da Água em Mananciais de Abastecimento.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. IV-013. João Pessoa - PB, 2001.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. Edited by Ingrid Chorus and Jamie Bartram, 1999.

XAVIER, M. B.; MAINARDES-PINTO, C. S. R.; TAKINO, M. **Euglena sanguinea Ehrenberg Bloom in a Fish-breeding Tank.** Pindamonhangaba, São Paulo, 1991.

ANEXOS

Anexo 01

Modelo Ono & Kubitza (2003) de Cálculo da Capacidade de Suporte Utilizado Pela AESA

Área Máx. Permitida do Reserv. = 1% da Área do Espelho D'água do Manancial - (A_m)

Profundidade Média do Açude - (h_m)

Volume do Manancial Outorgável Para o Cultivo - $V=(A_m \times h_m)$

Quantidade Máx. de P (Ambiente Mesotrófico - Vollenweider) - (C_p)

Quantidade de P Gerada Para o Ambiente - ($CP=[V \times C_p]/1000$)

Volume Útil dos Tanques-Rede - (V_{tq})

Densidade de Peixes por Tanque-Rede - (D_{px})

Período de Cultivo - (t)

Índice de Sobrevivência dos Peixes - (i)

Peso Médio dos Peixes na Despesca - (P_m)

Fator de Conversão Alimentar - (TCA)

Total de Peixes por Tanque-Rede - ($T_{px}=V_{tq} \times D_{px}$)

Total Efetivo de Peixes por Tanque-Rede - ($T_e=[T_{px} \times i]/100$)

Biomassa de Peixes Acumulada por Tanque-Rede - ($B_{tq}=[T_e \times P_m]/1000$)

Quantidade de Ração Consumida por Dia em Cada Tanque-Rede - ($R_d=\{[B_{tq} \times TCA]/t\}$)

Quantidade de Ração Consumida por Dia em Cada m^3 do Tanque-Rede - ($R_t=R_d/V_{tq}$)

Quantidade de Ração Consumida por T_q Durante o Ciclo de Cultivo - ($R_c=R_d \times t$)

P Excretado Pelos Peixes para Cada 1000 Kg de Ração Consumida - (P_e)

Concentração de P Gerada por Tanque-Rede/Dia - ($CP_{tq}=[P_e \times R_d]/1000$)

Concentração de P Gerada por Tanque-Rede/Dia - ($CP_{tq} \times 1000$)

Concentração de P Gerada por m^3 - ($CPD=[CP_{tq}/V_{tq}]$)

Volume de Água Necessário Por Tanque Para Evitar a Eutrofização - ($V_{eu}=[(CPD/C_p)] \times V_{tq}$)

Número de Tanques-Rede Que o Ambiente Pode Suportar - ($T_{tq}=V/V_{eu}$)

Anexo 02

Modelo Dillon & Rigler (1974) de Cálculo da Capacidade de Suporte Utilizado Pela ANA

| 1. Estudo Hidrológico | | | |
|---|---|-----------------------------------|--------------------------|
| Nome do Reservatório | Acauã | | |
| Município/UF | Itatuba | | |
| Nome do Corpo Hídrico formador do mesmo | | | |
| Bacia Hidrográfica | Médio Curso do Rio Paraíba | | |
| Características físicas do reservatório | Cota (m) | Área (m ²) | Volume (m ³) |
| N.A. máxima normal | | | |
| N.A. máximo normal operativo | | | |
| N.A. mínimo normal | | | |
| N.A. mínimo normal operativo | | | |
| Vazão média - (Qm) | | m ³ /s | |
| Tempo de residência (capacidade máxima/Qmédia afluyente) - (Volume/Qm) | | s | |
| | | dias | |
| | | anos | |
| Profundidade Média na Capacidade Mínima - (Volume/Área) | | m | |
| 2.Cálculo da Quantidade de Fósforo Gerada no Sistema de Cultivo | | | |
| Pf | | kg P/ton de ração | |
| CA | | kg de ração / kg de peixe | |
| Pa | | kg P/ton de peixe (fica no peixe) | |
| Pe | | kg P/ton de peixe (vai para água) | |
| Espécie de Peixe | Tilápia do Nilo | | |
| Onde: | | | |
| $Pe = (Pf \times CA) - Pa$ | | | |
| Pe = concentração de fósforo gerada pela atividade que vai para a água | | | |
| Pf = concentração de fósforo no alimento | | | |
| Pa = concentração de fósforo no peixe despescado - $(CA \times Pf) \times 40\%$ | | | |
| CA = conversão alimentar | Observação : 7 Kg de Fósforo por tonelada de ração vai para a água | | |
| Fonte: Beveridge, M 1987. Cage Aquaculture. Fishing News Books, p.152 | | | |

**Modelo Dillon & Rigler (1974) de Cálculo da Capacidade de Suporte Utilizado
Pela ANA**

| 3. Cálculo da Capacidade de Suporte Que Vai Para o Reservatório | | |
|---|--|--------------------------|
| 3.1. Cálculo da Capacidade de Absorção de Carga | | |
| tp | | l/ano |
| R | | |
| K | | l/ano |
| Onde: | | |
| $R = 1 / (1 + 0,614 \times tp^{0,491})$ | | |
| $K = tp / (1-R)$ | | |
| R = coeficiente de sedimentação | | |
| K = capacidade de absorção de carga | | |
| tp = taxa de renovação da água (inverso do tempo de residência) | | |
| 3.2. Cálculo da Carga de Fósforo Gerada Pela Piscicultura | | |
| ΔP | | mg/m ³ |
| Z | | m |
| L | | mg P/m ² /ano |
| Onde: | | |
| $L = (\Delta P \times Z \times K)$ | | |
| L = carga de fósforo gerada pela atividade | | |
| ΔP = incremento da concentração de fósforo na água (recomenda-se 1/6 da concentração permitida na resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005) | | |
| Z = profundidade média do reservatório - (Volume Operativo/Área Operativa) | | |
| tp = taxa de renovação da água (inverso do tempo de residência) | | |
| R = coeficiente de sedimentação | | |
| 3.3. Capacidade de Carga do Reservatório | | |
| S | | m ² |
| L | | mg P/m ² /ano |
| CP | | kg P/ano |
| CP | | ton P/ano |
| Onde: | | |
| $CP = L \times S$ | | |
| CP = capacidade de carga do reservatório (carga anual máxima de fósforo na água) | | |
| S = área mínima normal operativa do reservatório (ou com alta garantia de ocorrência) | | |
| L = carga de fósforo gerada pela atividade | | |

**Modelo Dillon & Rigler (1974) de Cálculo da Capacidade de Suporte Utilizado
Pela ANA**

**3.4. Produção de Peixe e Quantidade de Ração Admissível no Reservatório em
Função do Teor de Fósforo na Ração e Área Máxima Outorgável**

| | | | |
|--|--|----------------|---|
| Teor de fósforo na ração | | % | $(Pf/100000)$ |
| Carga anual máxima de fósforo na água | | ton P/ano | |
| Quantidade anual máxima de ração | | ton/ano | $[(CP \times (Pa + Pe))/(Pe \times 100)]/(Pf/100000)$ |
| Quantidade média de ração diária | | ton/dia | $\{[(CP \times (Pa + Pe))/(Pe \times 100)]/(Pf/100000)\}/365$ |
| Produção anual máxima de peixes (reservatório) | | ton/ano | $\{[(CP \times (Pa + Pe))/(Pe \times 100)]/(Pf/100000)\}/CA$ |
| Produção anual máxima de peixes (reservatório) | | kg/ano | |
| Área do açude máxima outorgável* | | m ² | |
| Área máxima individual outorgável | | m ² | |

* Art 2, Item I da Instituição Normativa Interministerial nº07, de 28 de abril de 2005 (1% da área mínima do reservatório)

Onde:

Quantidade anual máxima de ração = $CP \times ((Pa + Pe) / Pe) \times 100 /$ Teor de fósforo na ração

Produção anual máxima de peixes = Quantidade anual máxima de ração / CA

**Modelo Dillon & Rigler (1974) de Cálculo da Capacidade de Suporte Utilizado
Pela ANA**

| 4. Usuários de Tanques-Rede no Reservatório | | | |
|--|--|-------------------------|--------------|
| Presente(s) Pedidos(s) | | | Observações. |
| Produção anual de tilápias - Pan = Ração total/CA | | kg | |
| Volume útil individual das gaiolas - Vtq | | m ³ | |
| Número de tanques-rede - Nt = Pan/(Vtq x N x Bio) | | unidades | |
| Volume útil total das gaiolas - VT = Vtq x Nt | | m ³ | |
| Área ocupada por tanque-rede - Ar | | m ² | |
| Área total apenas de tanques-rede - G = Nt x Ar | | m ² | |
| Conversão alimentar média - TCA | | Kg/Kg | |
| Número de dias / ciclo - Nd | | dias | |
| Número de ciclos por ano - t | | ciclos | |
| Índice de sobrevivência - i | | % | |
| Peso individual do alevino - Pid | | g | |
| Densidade de alevinos - D = De x (1 + 1 - i) | | alevinos/m ³ | |
| Biomassa inicial - Bin = (L x M/1000) | | kg/m ³ | |
| Peso individual na despesca - Pm | | g | |
| Densidade de estocagem na fase adulta - De | | peixes/m ³ | |
| Biomassa final - Bio = (De x Pm/1000) | | kg/m ³ | |
| Ganho de massa - Gm = Bio - Bin | | kg/m ³ | |
| Ganho de massa / ciclo - Gc = Gm X VT | | kg | |
| Quantidade de ração / cultivo - T = TCA x t x Gc | | kg | |
| Quantidade de ração / dia - Rd = Gc/ (Nd x t) | | kg | |
| Carga de fósforo na água / cultivo - C = Pan x Pe/1000 | | kg P/cultivo | |
| Carga de fósforo na água / dia - Cdia = C/ (Nd x t) | | kg P/dia | |