MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA LAGOA DE POLIMENTO DA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA AGRALE S/A, CAXIAS DO SUL - RS

RODRIGO STEINER RODRIGUES

Porto Alegre, RS
2005

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA LAGOA DE POLIMENTO DA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA AGRALE S/A, CAXIAS DO SUL - RS

RODRIGO STEINER RODRIGUES

Orientador: Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider

Banca Examinadora:

Profª. Drª. Luiz Olinto Monteggia
Prof. Drª. Maria Teresa Raya Rodriguez
Prof. Dr. Jorge Rubio

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia – Modalidade Profissionalizante
Ênfase em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas

Porto Alegre, RS
2005

Este trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider

Orientador

Escola de Engenharia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Carlos Artur Ferreira

Coordenador

Mestrado Profissionalizante em Engenharia

Escola de Engenharia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profª. Drª. Carin Maria Schmitt

Coordenadora

Mestrado Profissionalizante em Engenharia

Escola de Engenharia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA:

Profª. Dr. Luiz Olinto Monteggia (IPH – UFRGS)

Profª. Dra. Maria Tereza Raya Rodriguez. (Centro de Ecologia - UFRGS)

Prof. Dr. Jorge Rubio (DEMIN/PPGEM – UFRGS)

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento e conclusão deste trabalho só foram possíveis pelo inestimável apoio e amizade de algumas pessoas, as quais gostaria de expressar minha profunda gratidão.

À AGRALE S/A pela oportunidade e recursos oferecidos.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelos recursos oferecidos.

Ao Professor Ivo André Homrich Schneider pela oportunidade, dedicação, incentivo e paciência como orientador.

À amiga e "conselheira sentimental e profissional" Alda Aparecida pelo apoio, carinho e incentivo desde o início do curso.

Aos colegas do Departamento de Qualidade da AGRALE S/A pela compreensão, ajuda, apoio e dedicação dispensada.

E enfim, dedico esta dissertação aos meus pais Maria Julia Steiner Rodrigues e Luiz Fernando Vieira Rodrigues, e à minha irmã Fernanda Steiner Rodrigues pelo apoio e estímulo ao longo desta jornada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS VII
LISTA DE TABELAS..... X
LISTA DE ABREVIATURAS..... XII
RESUMO..... XIII
ABSTRACT XIV
1. INTRODUÇÃO 1
2. OBJETIVOS 3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
3.1. Aguapé – *Eichhornia crassipes* Mart (solms) 4
3.2. Lagoas de aguapés 7
3.2.1. Mecanismos de remoção de poluentes 8
3.2.2. Experiências de aplicação 11
3.2.3. Projetos de lagoas de aguapés 16
3.3. Manejo e usos da biomassa de aguapés 19
3.4. Problemas e limitações das lagoas de aguapés 22
4. EXPERIMENTAL..... 24
4.1. A estação de tratamento de efluentes da Agrale 24
4.2. Estudos na lagoa de aguapés da Agrale 26
4.3. Estudos em coluna de percolação para a remoção de óleos 28
4.4. Padrões de emissão exigidos e parâmetros de eficiência 28
4.5. Manejo, preparo e aproveitamento da biomassa de aguapés como adubo orgânico 29
4.6. Análises químicas 30
4.7. Tratamento e apresentação dos dados 31
5. RESULTADOS e DISCUSSÃO 32
5.1. Monitoramento da lagoa sem aguapés, lagoa com 50% de aguapés e lagoa com aguapés..... 32
5.2. Efeito do nível de recobrimento de aguapés 41
5.3. Influência das estações do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés 47

5.4. Desempenho e mecanismos envolvidos na remoção de poluentes da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés 54
5.5. Caracterização da biomassa de aguapés 61
5.6. Produção de um composto orgânico 64
6. CONCLUSÕES 68
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 71
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72
9. APÊNDICE 77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta aquática flutuante *Eichhornia crassipes*. 4

Figura 2. Ciclo do nitrogênio em lagoas de estabilização. 10

Figura 3. Fotografia mostrando a ETE da Agrale – Caxias. 25

Figura 4. Fluxograma da estação de tratamento de efluentes da Agrale. 25

Figura 5. Fotografia da lagoa de aguapés com 50% de recobrimento de aguapés 27

Figura 6. Divisão da lagoa para operação sem aguapés e com recobrimento de aguapés. 27

Figura 7. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao pH 33

Figura 8. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao pH. 33

Figura 9. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao pH. 33

Figura 10. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro sólidos suspensos. 34

Figura 11. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro sólidos suspensos. 34

Figura 12. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro sólidos suspensos. 34

Figura 13. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro DQO. 35

Figura 14. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro DQO. 35

Figura 15. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro DQO. 35

Figura 16. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro nitrogênio Kjeldahl total. 36

Figura 17. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro nitrogênio Kjeldahl total. 36

Figura 18. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro nitrogênio Kjeldahl total. 36

Figura 19. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro fósforo total. 37

Figura 20. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro fósforo total. 37

Figura 21. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro fósforo total. 37

Figura 22. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro óleos e graxas. 38

Figura 23. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro óleos e graxas. 38

Figura 24. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro óleos e graxas. 38

Figura 25. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro ferro. 39

Figura 26. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro ferro. 39

Figura 27. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro ferro. 39

Figura 28. Eficiência de remoção de sólidos suspensos em função do nível de recobrimento de aguapés. 42

Figura 29. Eficiência de remoção de DQO em função do nível de recobrimento de aguapés. 42

Figura 30. Eficiência de remoção de nitrogênio Kjeldahl total em função do nível de recobrimento de aguapés. 43

Figura 31. Eficiência de remoção de fósforo total em função do nível de recobrimento de aguapés. 43

Figura 32. Eficiência de remoção de óleos e graxas em função do nível de recobrimento de aguapés. 44

Figura 33. Eficiência de remoção de ferro em função do nível de recobrimento de aguapés. 44

Figura 34. Variação da temperatura da água em função do mês do ano na lagoa de aguapés da Agrale nos anos de 2003 e 2004. 48

Figura 35. Eficiência de remoção de sólidos suspensos em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés. 49

Figura 36. Eficiência de remoção de DQO em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés. 49

Figura 37. Eficiência de remoção de nitrogênio Kjeldahl total em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés. 50

Figura 38. Eficiência de remoção de fósforo total em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés. 50

Figura 39. Eficiência de remoção de óleos e graxas em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés. 51

Figura 40. Eficiência de remoção de ferro em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés. 51

Figura 41. Carpas na lagoa de aguapés. 60

Figura 42. Detalhes da lagoa de aguapés no inverno e primavera. 61

Figura 43. Produção de biomassa seca de aguapés ao longo do ano de 2003. 62

Figura 44. Composto orgânico obtido a partir da biomassa de aguapés. 66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados estatísticos dos parâmetros de qualidade de águas das amostras de entrada e saída da lagoa sem aguapés. 40

Tabela 2. Dados estatísticos dos parâmetros de qualidade de águas das amostras de entrada e saída da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés. 40

Tabela 3. Dados estatísticos dos parâmetros de qualidade de águas das amostras de entrada e saída da lagoa com aguapés. 41

Tabela 4. Eficiência de remoção de sólidos suspensos, DQO, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas e ferro para a lagoa sem aguapés, com 50% de aguapés e com aguapés. 45

Tabela 5. Carga removida média anual e sólidos suspensos, DQO, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas e ferro para a lagoa sem aguapés, com 50% de aguapés e com aguapés considerando uma vazão média de 5,2m^3/dia..... 45

Tabela 6. Aplicação do teste "t" de Student para um nível de significância 0,1 na avaliação de diferenças significativas na qualidade final do efluente da lagoa sem aguapés e com 50% de aguapés..... 45

Tabela 7. Eficiência de remoção de sólidos suspensos, DQO, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas e ferro para a lagoa com 50% de recobrimento de aguapés nas diferentes estações do ano. 52

Tabela 8. Carga removida média de sólidos suspensos, DQO, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas e ferro para a lagoa com 50% de recobrimento de aguapés nas diferentes estações do ano, considerando uma vazão média de 5,2 m^3/dia. 52

Tabela 9. Aplicação do teste "t" de Student para um nível de significância 0,1 na avaliação de diferenças significativas na qualidade final do efluente da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés entre as estações primavera/verão e outono/inverno. 52

Tabela 10. Aplicação do teste "t" de Student para um nível de significância 0,1 na avaliação de diferenças significativas na qualidade final do efluente da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés entre as estações verão/outono e inverno/primavera. 53

Tabela 11. Aplicação do teste "t" de student para um nível de significância de 0,05 para avaliar possíveis diferenças significativas entre as médias de entrada e saída na lagoa com 50% de aguapés. 55

Tabela 12. Resultados de análise de nitrogênio Kjeldahl e fósforo total em amostras de entrada e saída da lagoa filtrada e não filtrada. 57

Tabela 13. Resultados de análise das diferentes formas de nitrogênio em amostras de entrada e saída da lagoa. 57

Tabela 14. Valores de remoção de óleos e graxas considerando a lagoa de aguapés e testes em coluna com BIOSORB-BR e carvão ativado granulado (5 g para 1 L de efluente) em dois fluxos do efluente da Agrale. 58

Tabela 15. Valores de remoção de óleos e graxas considerando várias concentrações de BIOSORB-BR e carvão ativado em testes em coluna no tratamento da água de saída do tanque de quebra de emulsão. 59

Tabela 16. Análise detalhada de vários parâmetros físico-químicos e microbiológicos de entrada e saída na lagoa de aguapés da Agrale S.A. 60

Tabela 17. Análise elementar do aguapé coletado na lagoa de aguapés da Agrale. 63

Tabela 18. Análise da biomassa dos aguapés da Agrale antes e após compostagem 65

Tabela 19. Análise dos compostos de aguapés obtidos na Agrale comparada com outros compostos citados na literatura. 65

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARIP	Aterro de Resíduos Industriais Perigosos
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
CAG	Carvão ativado granulado
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
ETE	Estação de tratamento de efluentes
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
LO	Licença de Operação Ambiental
NASA	Do Inglês, National Aeronautics and Space Administration
NBR	Norma Brasileira
NKT	Nitrogênio Kjeldahl total
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A.
SISAUTO	Sistema de Automonitoramento Ambiental
Td	Tempo de detenção

RESUMO

A Agrale S.A. é uma empresa que produz veículos, tratores e motores a diesel. Na Unidade de Caxias do Sul - RS, os efluentes líquidos gerados provêm das cabines de pintura, tratamento de superfície, cabine de lavagem de peças com óleos, usinagem, esgoto cloacal e lavagem de veículos. Todas essas águas residuárias são enviadas à estação de tratamento de efluentes onde recebem tratamento físico-químico (coagulação-floculação) e biológico (lagoa aerada seguida por uma lagoa de polimento com aguapés). Entretanto, no monitoramento da ETE, observou-se que em algumas ocasiões os teores de nitrogênio e fósforo excediam os limites de emissão. Ainda, na Empresa, não havia uma metodologia estabelecida para o acompanhamento da eficiência de operação da lagoa com aguapés, unidade onde se espera que as concentrações residuais de nutrientes sejam reduzidas. Assim, o objetivo do presente trabalho foi estudar o desempenho da lagoa com aguapés empregada como etapa de polimento na estação de tratamento de efluente. Avaliou-se a eficiência da lagoa sem aguapés, com 50% de aguapés e com aguapés. Ainda, para um recobrimento de 50% de aguapés, investigou-se o desempenho nas diversas estações do ano. Os parâmetros avaliados foram sólidos suspensos, DQO, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total, óleos e graxas e ferro. Os resultados demonstraram que a existência de uma lagoa estabilização para fins de polimento é importante na estação de tratamento de efluentes da Empresa, pois reduz consideravelmente o número de não conformidades na qualidade do efluente final. A lagoa sem recobrimento de aguapés apresentou o melhor resultado em relação ao parâmetro DQO. A lagoa com 50% de recobrimento de aguapés os melhores valores em relação à sólidos suspensos, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total e ferro. A lagoa com aguapés apresentou os melhores resultados em relação à remoção de óleos e graxas. Entretanto, como a função primordial da lagoa era a remoção de nutrientes, considerou-se que, para o caso da ETE da Agrale, a melhor opção é a operação com um nível de 50% de recobrimento de aguapés. Com este nível de recobrimento, os índices médios anuais de remoção foram: 23,8% na concentração de sólidos suspensos, 44,8 % na concentração de DQO, 77,0 % no teor de nitrogênio, 60,5 % no teor de fósforo, 44,4 % no teor de óleos e graxas e 26,4% no teor de ferro. De modo geral, a remoção de nitrogênio e fósforo ocorreu durante todo o ano. Porém, no caso do fósforo, a remoção foi maior nas estações inverno e primavera, épocas em que ocorria o crescimento dos aguapés. A biomassa de aguapés retirada na lagoa da Agrale apresenta-se com composição parecida com a de aguapés retirados do meio natural e de em lagoas eutrofizadas com esgoto doméstico. Não se apresenta contaminada com metais pesados, possibilitando o seu descarte através da transformação em composto agrícola. O composto de aguapés obtidos na Agrale atende aos Padrões da Portaria número 1 de 04/03/1983. O material pode ser facilmente descartado pela simples introdução nos canteiros e gramados na Empresa. O uso de lagoa de aguapés é uma alternativa viável no polimento final de efluentes do setor metal-mecânico. A lagoa de aguapés auxilia na remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo), óleos e graxas e concentrações residuais de metais pesados; apresentando sucesso nas condições climáticas de Caxias do Sul, RS.

ABSTRACT

The Agrale S.A. is a Brazilian company that produces vehicles, tractors and diesel engines. In the Caxias do Sul Unit, Rio Grande do Sul, the liquid effluents comes from painting cabines, surface treatment operations, tooling operations, sewers, and vehicles washing. All these flows are sent to wastewater treatment station for physical-chemical (coagulation and flocullation) and biological depuration. However, it was observed that, sometimes, the concentration of nitrogen and phosphorous in the final effluent did not reach the standard emission levels. In the Company, there was not an established methodology for the water hyacinth lagoon operation, the unit where is expected that residual concentrations of nutrients is reduced. Thus, the aim of this work was to study the performance of the water hyacinth pond used as a final stage in the effluent treatment station of Agrale. Experimentally, the studies considered the cover levels of 0%, 50% and 100% of the aquatic plants. Additionally, considering 50% coverage, it was evaluated the efficiency considering the different seasons of the year. The parameters of water quality analyzed were suspended solids, COD, total Kjeldahl nitrogen, total phosphorous, oils and greases and iron. The results showed that is necessary a stabilization pond for the final treatment of the effluent, so it reduces considerably the number of non-conformities in the quality of the water. The pond with 0% of water hyacinths presented the best results considering the DQO parameter. The pond with 50% of water hyacinths showed the best results for suspended solids, total Kjeldahl nitrogen, total phosphorous and iron. The pond with 100% of aquatic plants the best results for oils and greases. However, as the main objectives were to reduce the nutrients, it was considered as the best condition the level of 50% coverage. In this situation, the annual average efficiency data were the follows: 23,8% for suspended solids; 44,8 % for COD, 77,0% for total Kjeldahl nitrogen, 60,5 % for total phosphorous, 44,4 % for oil and greases and 26,4% for iron. The removal of nitrogen and phosphorous was effective during the all year. In the case of phosphorous, the removal was considerably higher in winter and spring, the growing seasons of the species. The biomass removed from the pond presented a similar composition of water hyacinths collected from the natural environment or ponds contaminated with domestic sewers. The biomass is not contaminated with heavy metals, making possible its use as organic compost. The characteristics of the water hyacinth compost produced in this work attended the standards of the Brazilian legislation. The material can be discharged in the garden of company. Finally, it can be concluded that water hyacinths ponds is a viable alternative for the final treatment of effluents from metallurgical sector. The pond helps in the removal of nutrients (nitrogen and phosphorous), oils and greases, residual concentration of heavy metals; showing successful results in the climatic conditions of Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A Agrale S/A é uma empresa brasileira de capital nacional que produz veículos, tratores e motores a diesel. Possui quatro parques industriais, estando sua matriz instalada no município de Caxias do Sul, RS. Ela pertence ao Grupo Francisco Stédile, que engloba as empresas Agrale e suas subsidiárias (Agrale Amazônia e Agrale Montadora), Lavrale, Fazenda Três Rios, Germani Alimentos e Agritech (tratores Yanmar).

A história da Empresa começou em 1965, quando o grupo Francisco Stédile adquiriu o controle acionário da Agrisa. O primeiro produto da empresa, desenvolvido com tecnologia própria, foi o trator 4100. Desde então, a Agrale desenvolveu inúmeros outros produtos, como caminhões, chassis, tratores, motores, grupos geradores, motocicletas e o furgão de cargas. Um dos momentos decisivos para a empresa foi a obtenção da certificação nas normas da série ISO 9000, enquadrando-a nos padrões mundiais de qualidade de produtos e serviços. Desde que iniciou suas atividades, já foram produzidos mais de 335.000 motores dieseis, 63.000 tratores, 100.000 motos e "scooters" e 30.000 caminhões e chassis.

Como qualquer outra empresa preocupada com a preservação do meio ambiente, a Agrale busca alternativas para o gerenciamento de seus resíduos, através de atitudes e melhorias em seus processos industriais e administrativos bem como através da conscientização de seus colaboradores. O Grupo de Gestão Ambiental (GGA) da Agrale, criado em outubro de 2001, tem como objetivo promover a conscientização quanto à preservação do meio ambiente, redução de desperdícios e otimização dos processos, visando a eliminação ou redução dos impactos ambientais. O GGA gerencia os resíduos sólidos e trata os efluentes líquidos nas três unidades fabris bem como fornece apoio à utilização de tecnologias limpas nos processos produtivos.

Os efluentes líquidos gerados na empresa provêm das cabines de pintura, tratamento de superfície (processo de fosfatização com enxágüe), cabine de lavagem de peças com óleos (desengraxe), usinagem (óleos de corte) e lavagem de veículos. Todos esses efluentes são enviados à Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) onde recebem um tratamento físico-químico e biológico. O tratamento biológico consiste na passagem do efluente por uma lagoa aerada seguida por uma lagoa de polimento com aguapés. Após o tratamento, o efluente é lançado na rede pluvial pública.

Entretanto, no monitoramento da ETE, observou-se nos últimos anos que frequentemente os teores de nitrogênio e fósforo excediam os limites exigidos pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM). Ainda, na Empresa, não há uma metodologia estabelecida para a

operação da lagoa de polimento com aguapés, unidade onde se espera que as concentrações residuais dos nutrientes sejam reduzidas.

Deve-se ressaltar que estações de tratamento de efluentes do setor automotivo, similares a da Agrale S/A, baseadas na combinação de processos físico-químicos e biológicos, mostram-se de modo geral eficientes. Entretanto, em vários casos no Estado do Rio Grande do Sul, os parâmetros de maior dificuldade para atender os padrões de emissão são o nitrogênio e o fósforo. Esse fato tem levado as Empresas a adotarem sistemas de tratamento complementares baseados em lagoas de polimento (lagoas com aguapés) e banhados construídos.

A utilização de lagoas com macrófitos aquáticos em tratamento de efluentes, em especial com a *Eichhornia crassipes* (aguapé), apresentam como uma das principais vantagens a remoção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Assim, problemas como a eutrofização das águas superficiais e elevados teores de nitrato em águas de abastecimento doméstico podem ser evitados. O uso de lagoas de polimento com aguapés como etapa final de tratamento, em um sistema de lagoas, apresenta-se como uma das alternativas possíveis para a remoção desses compostos de efluentes.

Sabe-se também que quando as lagoas de polimento com aguapés são corretamente operadas sob o ponto de vista técnico-científico, elas podem ser um agente eficiente de despoluição. Entretanto, quando a planta cresce de forma descontrolada e sem manejo adequado, pode se transformar num problema ambiental pela falta de usos para a biomassa gerada e pela proliferação descontrolada de insetos. Ainda, sua aplicação geralmente se dá em locais de clima quente, praticamente não sendo uma alternativa na serra gaúcha.

Nesse contexto, decidiu-se na Agrale S/A promover um maior controle operacional da lagoa de polimento com aguapés para caracterizar a eficiência do sistema com vários níveis de recobrimento das plantas aquáticas. Avaliou-se o desempenho da lagoa em diferentes estações do ano, uma vez que a região onde se situa Caxias do Sul, é uma das frias do Brasil. Por fim, procurou-se estudar potenciais deficiências de projeto ou operacionais bem como criar um sistema de gerenciamento da biomassa de aguapés dentro da empresa, sendo este o escopo do presente trabalho.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi caracterizar e aprimorar a operação da lagoa de polimento com aguapés na estação de tratamento de efluentes da Empresa Agrale S/A, planta de Caxias do Sul.

Os objetivos específicos foram:

- Medir o desempenho e avaliar a eficiência da lagoa de polimento com aguapés na remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica (DQO), nutrientes (N e P), óleos e graxas e ferro em função do nível de recobrimento de biomassa de aguapés;

- Avaliar a eficiência da lagoa de polimento com aguapés na remoção dos parâmetros acima listados em função da estação do ano;

- Procurar um entendimento dos mecanismos envolvidos na remoção de poluentes;

- Quantificar o crescimento e a produção de biomassa de aguapés nas condições climáticas de Caxias do Sul;

- Estudar uma possibilidade de descarte e reutilização da biomassa do aguapé dentro da própria Empresa, no caso como composto orgânico;

- Utilização do SUPERSORB e CAG para remoção de óleos e graxas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Aguapé - *Eichhornia crassipes* Mart (Solms)

A *Eichhornia crassipes* Mart (Solms) (vulgarmente também conhecida como aguapé, orquídea d'água, jacinto d'água, baroneza, rainha dos lagos) é uma planta aquática flutuante de água doce. Porém, podem sobreviver a curtos períodos em água salgada e toleram índices elevados de acidez, com um pH até 4,0 (KISSMANN, 1991).

A espécie é originária da Região Amazônica e da bacia dos rios que banham a Região Oeste do Brasil. As plantas foram levadas para muitos países, por causa da beleza das flores. Hoje a espécie ocorre em quase todas as regiões do mundo, exceto nas polares e em alguns sistemas de água onde não foram introduzidas. No Brasil a espécie pode ser encontrada em todas as regiões, algumas vezes com grande densidade populacional (KISSMANN, 1981).

A *E. crassipes* apresenta altura bastante variável, podendo ser de apenas 10 cm ou, em condições excepcionais de crescimento, chegar até 1 m. Geralmente o porte fica entre 15 e 40 cm.

Figura 1. Planta aquática flutuante *Eichhornia crassipes*.

A temperatura ótima para seu crescimento está entre 28-30°C e pH entre 4-8. A planta estaciona seu crescimento quando a temperatura vai além dos 40°C ou abaixo dos 10°C; não sobrevive a excessiva salinidade, acidez ou estagnação, mas já foi encontrada crescendo agarrada ao lodo após encalhamento nas margens.

As plantas flutuam graças ao tecido esponjoso da parte aérea e a uma dilatação na parte inferior dos pecíolos, formando bexigas. São arrastadas pela correnteza das águas e é comum ter-se uma avalanche de aguapés em certos rios, após intensas chuvas. As folhas funcionam como velas, permitindo que as plantas sejam deslocadas pelos ventos.

A reprodução principal é a vegetativa, a partir de talos, nos quais ocorrem brotamentos, formando-se novas plantas. Com a movimentação da água os talos podem se romper, deixando as plantas separadas. A partir de duas plantas pode-se produzir 30 brotamentos em 23 dias e em 4 meses formar 1200 plantas. Estima-se que 25 plantas em condições ideais multiplicam-se a ponto de formar uma massa capaz de cobrir um hectare em uma única estação (COELHO, 1994).

A floração se dá apenas em águas paradas e pouco profundas, onde possa haver enraizamento no lodo. A polinização pode ser cruzada, especialmente com o auxílio de insetos. Se não ocorrer em 48 horas depois da abertura das flores, segue-se uma auto-fecundação. Em três semanas maturam pequenas sementes negras. As hastes florais curvam-se, imergindo as flores já murchas na água; quando as cápsulas se abrem, as sementes são liberadas na água, indo ao fundo. Não germinam submersas, mas permanecem viáveis por até 15 anos. Secando a bacia aquática, ocorre a germinação e uma nova geração de aguapés vem a surgir. A reprodução por sementes, portanto, ocorre apenas nas situações em que a lâmina de água é temporariamente eliminada.

Seus principais aspectos morfológicos são (KISSMANN, 1991):

Caules

Não se formam realmente caules, mas talos simpodiais, carnosos, cilíndricos, que podem atingir 45 cm de comprimento e ter cerca de 1 cm de espessura. São verdes, lisos e estendem-se de forma horizontal nas colônias abertas. Dão origem à multiplicação vegetativa com a formação de clones. São frágeis, e pelo rompimento destacam-se novas plantas. Os rizomas são curtos e inexpressivos.

Raízes

Em plantas provindas de sementes ou quando a lâmina de água é delgada, as raízes penetram no lodo, fixando as plantas. Havendo elevação no nível de água ocorre abcissão do sistema radicular fixado, formando-se um novo sistema pendente. Nas plantas flutuantes as

raízes podem ser muito compridas e bastante ramificadas; são pendentes e ajudam na estabilização. Raízes novas mostram um eixo central terminado por uma coifa muito desenvolvida; à volta desse eixo ocorre sempre uma grande quantidade de radicelas, distribuídas uniformemente, sendo mais compridas na parte superior e curta na inferior, dando ao conjunto uma forma de cone. As raízes novas têm uma tonalidade azulada, por conterem antocianinas.

Folhas

O que vulgarmente se denomina de folhas, botanicamente são filódios. Há filódios submersos, de forma linear, e há filódios aéreos, peciolados. Os filódios aéreos distribuem-se em rosetas, a partir da base das plantas. Um novo filódio pode ser formado a cada 3 dias, mas o número total se mantém mais ou menos constante pela morte dos mais velhos. Os pecíolos, com cerca de 10-15 cm de comprimento, geralmente apresentam uma base bastante inflada e internamente são constituídos por um tecido esponjoso. Os pecíolos servem de bóias para a flutuação das plantas. Os limbos são de formato arredondado ou reniforme, dobrando-se para fora. Ocorrem estômatos muito grandes, que facilitam a transevaporação.

Flores

A floração se dá através de um escapo de aproximadamente 15 cm de comprimento que se eleva do centro das plantas. Na parte superior de cada escapo ocorre uma espiga, tendo em média 12 flores que se abrem ao mesmo tempo. As flores apresentam coloração azulada, lilás ou branca. A pétala maior tem uma grande mancha violácea, cuja área central é amarelada. As sementes apresentam formato ovóide ou subcilíndrico, com cerca de 1 mm de comprimento e menos de 1 mm de largura. Apresentam coloração escura.

Sob condições adequadas a *Eichhornia crassipes* é altamente competitiva, tendendo a dominar os ambientes aquáticos, prevalecendo sobre espécies do gênero *Pistia, Salvinia, Azolla*, entre outras. Tanto no Brasil, como na América do Norte, Ásia e África a multiplicação é explosiva, e causa grandes prejuízos econômicos. REDDY e DeBUSK (1987) reportam valores médios de produção de 164 a 301 kg/(ha.dia) nas condições climáticas da Flórida - EUA, sendo limitado com um recobrimento de 20.000 a 24.000 kg/ha. Nas condições brasileiras, KAWAI e GRIECO (1983) e KAWAI *et al*. (1987) obtiveram valores de produção de 210-250 kg/(ha.dia) em uma unidade de tratamento de esgotos em São Paulo. COELHO (1994) reporta valores de até 1000 kg/(ha.dia) em locais com condições ótimas de nutrientes e temperatura. De acordo com WESTLAKE (1963), comunidades de *E. crassipes* apresentam, potencialmente, a maior capacidade de produção de biomassa do reino vegetal.

3.2. Lagoas de aguapés

As lagoas de aguapés são um tipo de lagoas estabilização empregada no tratamento de efluentes industriais ou esgotos, geralmente em uma etapa de polimento. Por ser uma planta nativa, pode ser utilizada com sucesso na realidade brasileira. Através de suas raízes "exuberantes como cabeleiras" absorvem substâncias tóxicas orgânicas e inorgânicas e retém partículas sólidas em suspensão (von SPERLING, 1996a).

A ação fitodepuradora do aguapé é devido a dois fatores:

a) Grande capacidade de retenção de material particulado em suspensão, como argila e partículas orgânicas;
b) Alta capacidade de absorção de nutrientes e outros metais dissolvidos na água, que pode ser evidenciado pelo aumento das concentrações de elementos nas folhas ou nas raízes.

Pelos mecanismos acima descritos, as lagoas de aguapés permitem abater sólidos suspensos, DQO suspensa, nitrogênio, fósforo e metais pesados. Como sistema de despoluição sanitária é bastante difundido no mundo inteiro. Em cidades dos Estados Unidos, como San Diego, na Califórnia, e Austin, no Texas, onde o tratamento do esgoto doméstico é feito através do aguapé, existem empresas especializadas nessa tecnologia (COELHO, 1994). Mesmo em cidades de clima frio, com necessidades de estufas para o cultivo da planta, essa tecnologia é largamente empregada.

Segundo a NBR 13969 (ABNT, 1997), "a aplicação de lagoas com plantas aquáticas é recomendada para locais com temperatura média anual inferior a 15ºC, com baixa taxa de incidência solar ou com alta ocorrência de neblinas e névoas que possam reduzir a incidência solar direta (basicamente a região Sul do Brasil). Nestas condições, este processo tem a vantagem de não permitir a proliferação de pernilongos, fator crítico na instalação deste sistema em região de clima quente".

Ainda, de acordo com a mesma norma, "As lagoas com plantas aquáticas deve ser dimensionada com os seguintes parâmetros".

- taxa de aplicação hidráulica superficial limite de 600 m^3/(ha.dia);

- a profundidade máxima da lâmina líquida deve ser limitada entre 0,7 a 1,0 m, com altura sobressalente de 0,3 m.;

- a relação comprimento largura da lagoa deve ser superior a 10, sendo que a largura deve estar limitada a 10 m;

- as lagoas com plantas aquáticas devem conter tela-anteparos suspensos facilmente removíveis compartimentando a superfície da lagoa, de modo a permitir o crescimento uniforme das plantas em toda as sua área, mantendo-se a distância entre os anteparos inferior a 10 m.

Os mecanismos envolvidos na remoção de poluentes, algumas experiências e uma discussão sobre aspectos positivos e negativos das lagoas de aquapés serão resumidamente descritos.

3.2.1. Mecanismos de remoção de poluentes

Os poluentes são removidos em uma lagoa de aguapé por vários mecanismos físicos, químicos e biológicos que o sistema proporciona.

Dois fenômenos físicos característicos das lagoas de aguapés são a sedimentação e a filtração. A sedimentação, que ocorre em lagoas em geral, é nesse caso mais eficiente pela proteção ao movimento das águas oferecidas pelas coberturas compactas de aguapé (ROMITELLI, 1983).

A filtração dos sólidos suspensos pelas raízes do aguapé é um dos processos mais importantes ocorridos dentro da lagoa, para o polimento dos efluentes. DINGES (1980) salienta que a profundidade das lagoas deveria ser suficiente para que as raízes do aguapé ficassem próximas ao fundo, de tal forma que todo o fluxo da lagoa seria filtrado através da zona radicular. A simples sedimentação do material particulado pode arcar com significativas reduções em carga orgânica (expressos em termos de DBO e DQO), nitrogênio e fósforo no efluente final.

Outro fator que favorece a remoção de poluentes em lagoas de aguapés é que as plantas oferecem abrigo e condições para o desenvolvimento de uma abundante biota fixa às suas raízes e folhas. Vários autores reportam a existência de flocos de microrganismos aderidos nas raízes da plantas (DINGES, 1978; MOSSÉ et al, 1980). Essa variada fauna representa papel importante na degradação, assimilação e remoção de poluentes. A degradação da matéria orgânica por

bactérias presentes no meio apresenta um papel relevante na remoção de carga orgânica do sistema.

O aguapé, por si só, também assimila substâncias solúveis do meio aquático, e, devido ao seu crescimento e desenvolvimento fenomenal, essa absorção se dá em grandes quantidades. A assimilação de nitrogênio e fósforo pelo aguapé se dá na fase de crescimento da planta, portanto, a remoção de nutrientes nessas lagoas depende das condições para o crescimento e de sua colheita periódica.

Os mecanismos envolvidos na remoção de nitrogênio, em maior ou menor intensidade, incluem a assimilação do nitrogênio pelos aguapés, assimilação do nitrogênio pelas algas, volatilização da amônia, nitrificação-denitrificação e sedimentação do nitrogênio orgânico particulado (BICH et al, 1999). Assimilação de nitrogênio pelos aguapés ocorre pela assimilação de nitrato (NO_3^-) e amônia (na forma de NH_4^+ ou NH_3) e é o fator preponderante esperado na remoção de nitrogênio (CORNWELL et al, 1977). Entretanto, observa-se também que a assimilação dos nutrientes também pode ocorrer por algas microscópicas. Parte dessas algas ficam aderidas nas raízes dos aguapés, enquanto que outra fração pode sair no efluente final (MOSSÈ et al, 1980). Nas lagoas de aguapés, devido à cobertura vegetal, a produção de algas é inferior devido a menor incidência de radiação solar. A volatilização da amônia, considerado o mecanismo preponderante de remoção de nitrogênio em lagoas de maturação, também não é considerado preponderante em lagoa de aguapés. Em lagoas sem cobertura vegetal, a fotossíntese desempenhada pelas algas consume o CO_2 dissolvido na água com a conseqüente elevação do pH para valores entre 8-9, o que favorece a volatilização da amônia na forma de NH_3. Em lagoas com cobertura vegetal, e menor crescimento de algas, o pH tende a ficar próximo a 7, favorecendo o predomínio da espécie solúvel de amônia NH_4^+. A remoção de nitrogênio por nitrificação-denitrificação também não deve ser desprezada. Estudos realizados por BICH et al, (1999) indicam que até 20% da remoção de nitrogênio em sistemas com aguapés devem-se a nitrificação-denitrificação. Ainda, a sedimentação do nitrogênio orgânico particulado é um fenômeno existente, porém, a atividade microbiana existente na lagoa pode mineralizar o nitrogênio para formas solúveis ou voláteis, sendo removidos por algum dos mecanismos acima.

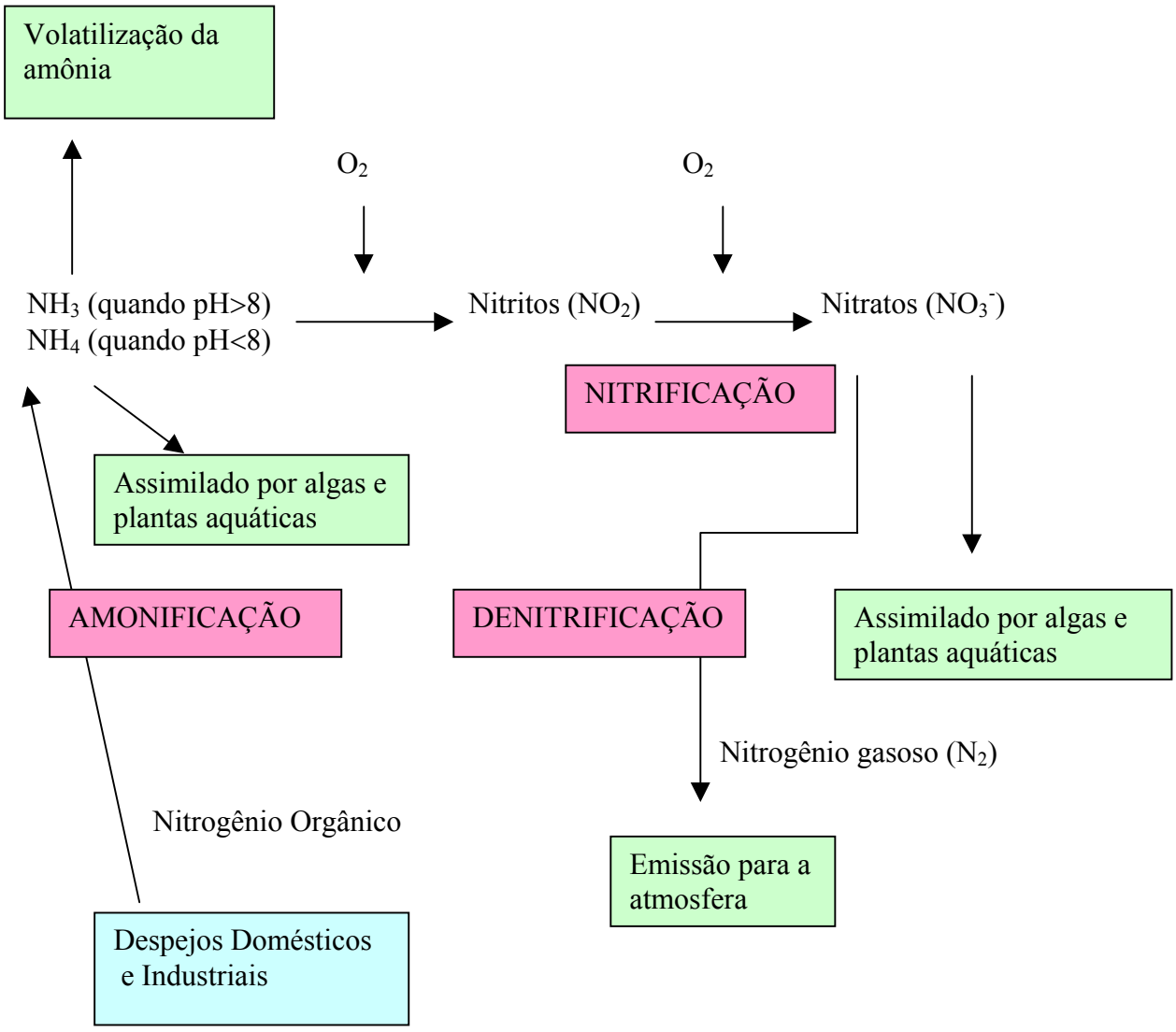

Figura 2. Ciclo do nitrogênio em lagoas de estabilização.

O fósforo presente nos efluentes é composto de fósforo orgânico e fosfatos (para o ramo metal-mecânico), sendo que os últimos representam a maioria. Os principais mecanismos de remoção de fósforo são assimilação pelos aguapés, assimilação pelas algas, precipitação do fosfato em condições de elevado pH e sedimentação do fósforo orgânico particulado. Da mesma forma que o nitrogênio, o mecanismo preponderante esperado na remoção de fósforo em lagoas de aguapés é assimilação deste na forma de fosfatos ou ortofosfatos. O fósforo também pode ser assimilado pelas algas, ficando retido nas raízes dos aguapés ou saíndo no efluente final. Em peso seco, o fósforo corresponde a valores em torno de 1,0% da massa das algas. Porém, mesmo em lagoas com pouco recobrimento de aguapés, a percentual de fósforo contido nas algas e perdidos no efluente final situa-se em torno de 5% (von SPERLING, 1996c). A remoção de

fósforo pode ocorrer através da precipitação dos fosfatos em condições de pH elevado, acima de 8,0. O fosfato pode precipitar na forma de hidroxiapatita ou estruvita. Em lagoas rasas, com alto crescimento de algas, e baixo recobrimento de plantas aquáticas, a remoção de fósforo pode aproximar-se de 90%. Em lagoas facultativas, sem a presença de macrófitos aquáticos, a eficiência de remoção pode variar dentro da ampla faixa de 20 a 60%. Em lagoas com altos valores de recobrimento com plantas aquáticas flutuantes, o crescimento de algas é prejudicado e com isso o pH tende a se manter na neutralidade, não favorecendo a precipitação dos fosfatos. Ainda, o fósforo orgânico pode ser removido pela sedimentação do material particulado, porém está sucetível de ser transformado em fosfato pela ação microbiológica existente do sistema, sendo então suscetível de ser absorvido pelas plantas ou algas.

Contudo, é importante observar a relação nitrogênio:fósforo existente nas plantas. CORNWELL et al (1977) estimaram esta em relação em 20:1, enquanto que ROGER e DAVIS (1972) afirmam em seus experimentos que assimilação ocorreu em uma proporção de 6:1 a 5:1. Nos experimentos de WOLVERTON e McDONALD (1979b), a relação nitrogênio:fósforo nos aguapés variaram de 6:1 a 5:1.

A remoção de óleos e graxas não tem sido investigada ou observada em lagoas de aguapés. Porém, estudos conduzidos por RIBEIRO et al (2000) demonstraram que o macrófito aquático *Salvinia* sp apresenta uma alta afinidade por materiais hidrofóbicos, incluindo óleos de diversos tipos. A biomassa dessa planta aquática remove eficientemente óleos de efluentes tanto na forma viva como morta (seca e moída). Atualmente este material está sendo produzido em uma Empresa do Rio Grande do Sul, comercializado sob o nome de SUPERSORB-BR.

Ainda, desde os primeiros experimentos de aplicação de aguapés em lagoas reparou-se na capacidade de adsorção/absorção de metais, entre os quais ferro, manganês, arsênico, cromo, mercúrio, chumbo, níquel, zinco e cobre (DINGES, 1978; WOLVERTON e McDONALD, 1979a). Entretanto, quando absorvidos em elevadas concentrações efeitos fitotóxicos para as plantas foram observados (DELGADO et al, 1993). Sabe-se também que grande parte da acumulação dos metais ocorre por adsorção nas raízes, através do mecanismo de troca iônica em grupos carboxila (SCHNEIDER et al, 1995; SCHNEIDER e RUBIO, 1999).

3.2.2. Experiências de aplicação

Em 1937, o Engenheiro da Repartição de Água e Esgotos de São Paulo, João Pedro de Jesus Neto já tinha pesquisado o uso do aguapé na melhoria de efluentes decantados da Estação

Experimental de tratamento de esgotos da Ponte Pequena. Os experimentos de Jesus Neto eram conduzidos em um tanque de ar difuso para pesquisar parâmetros de projeto e operação de lodos ativados seguido de uma etapa de polimento em uma bateria de tanques com aguapés (HESS, 1979).

DYMOND, em 1948, também relatou experiências com aguapés, desenvolvidas com o intuito de remover poluentes da água. Este autor conta que Sir Albert Howard sugeriu que efluentes de esgotos clarificados junto com águas pluviais deveriam ser levados a certos rios, ou áreas baixas, onde o aguapé poderia ser cultivado e a água limpa seria permitida escapar para o mar. Nas margens onde se cultivasse o aguapé, deveriam ser criados centros de compostagem, e a planta sistematicamente convertida a húmus, tendo como ativador uma porção de lodo de esgoto espessado. Dymond, em seus experimentos, observou que os aguapés, crescendo em meios de cultura de diferentes valores nutritivos, apresentavam diferentes composições, tanto mais ricos em nutrientes quanto fossem os meios em que crescessem. Encontrou plantas em que a composição em matéria seca elevava-se de 1,42% em nitrogênio para 2,23%, e em óxido fosfórico de 2% para 8% quando em meio mais nutritivo. Também observou que as plantas, quando colocadas em ambientes mais ricos em nutrientes durante 2 semanas, apresentavam uma curva de absorção rápida durante 7 dias, após a qual um estado de equilíbrio entre absorção e crescimento era atingido. Após as experiências de Dymond, alguns outros trabalhos com aguapé como agente "despoluidor" apareceram, comprovando sempre sua capacidade de remoção de nutrientes, mas só nos anos 70 é que as primeiras lagoas experimentais foram implantadas.

CORNWELL et al (1977) estudaram o uso de uma lagoa de aguapés na remoção de nutrientes do efluente da Estação de Tratamento da Universidade da Flórida, cujo tratamento era realizado em parte por um filtro biológico ("tricking filter") e em parte por uma lagoa facultativa. Os autores concluíram que a capacidade da lagoa de aguapés em remover nitrogênio e fósforo estava diretamente relacionada com a área da lagoa. No caso estudado, obtiveram níveis de remoção de 80% de nitrogênio e 44% de fósforo. Demonstraram que a remoção de nutrientes foi boa durante a fase de crescimento vertical e na fase de crescimento horizontal dos aguapés. Os nutrientes liberados durante a fase de morte remanesceram na lagoa como sedimentos, reduzindo a necessidade de coleta dos aguapés. Entretanto, o autor recomendou a coleta dos aguapés e o seu uso como composto agrícola.

DINGES (1978) fez um estudo na "Williamson Creek Wastewater Treatment Plant" em Austin – Texas (EUA) a fim de melhorar qualidade do efluente de lagoas de estabilização com o uso posterior de lagoas de aguapés. Concluiu que o uso de aguapés em lagoas rasas foi efetivo no controle de algas, na remoção de outras partículas suspensas e de impurezas dissolvidas que

provinham da lagoa de estabilização. Entre os compostos minerais removidos pelo aguapé, o autor cita cloretos, potássio, fósforo, arsênicos, cromo, magnésio e manganês. O efluente apresentou-se clarificado, com baixos teores de nitrogênio e coliformes fecais. O conjunto, lagoa facultativa seguida por lagoas de aguapés permitiu a remoção de 97% de DBO e 95% de sólidos suspensos de esgoto bruto. O autor recomendou o uso de sistemas similares em regiões mais quentes dos Estados Unidos e que a definição das ótimas condições das lagoas de aguapés deveriam ser definidas após observações acuradas de sistemas experimentais.

WOLVERTON e McDonald (1979b) estudaram a melhoria de uma lagoa facultativa aplicada ao tratamento de esgotos doméstico com o uso de plantas aquáticas vasculares (aguapé – *Eichhornia crassipes* and "duckweed"). Realizaram um levantamento de dados no período em que não havia plantas aquáticas e após a introdução destas no sistema. Os parâmetros avaliados foram sólidos suspensos, DQO, pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio total, fósforo total e carbono orgânico total. Os resultados demonstraram que a introdução das plantas aquáticas na lagoa reduziu significativamente o teor de sólidos suspensos no efluente de saída, principalmente devido a inibição do crescimento de algas. Com isso, houve também uma redução na DDO e teor de carbono orgânico total. O pH de saída do efluente antes da introdução dos aguapés variava geralmente de 7,0 a 9,3, porém às vezes o pH chegava a valores acima de 10. Esse aumento de pH ocorria devido ao consumo de CO_2 da água pelas algas. Com a introdução dos aguapés e "duckweeds", o pH ficou mais estável, variando na faixa de 6,9 e 7,2. Porém, os níveis de oxigênio dissolvido, que eram altos (entre 4,2 e 10,8 mg/L dependendo o mês do ano), com o uso do aguapé sempre se mantiveram abaixo de 3,5. Com a introdução das plantas aquáticas, as remoções de nitrogênio e fósforo também foram aumentadas, principalmente nos meses de verão. Por fim, os autores concluíram que o uso de plantas aquáticas vasculares se apresentou como alternativa eficiente e economicamente promissora para a melhoria de qualidade dos efluentes tratados em lagoas facultativas em comunidades pequenas.

MOSSÉ et. al (1980) também relata o uso de lagoas de maturação com aguapé na remoção de algas e coliformes em efluente de lagoa de estabilização. Duas lagoas em escala piloto foram instaladas junto ao efluente da lagoa de estabilização do Regimento de Cavalaria de Guarda, em Brasília, uma coberta com aguapés e outra de controle, sem aguapés. O tempo de detenção do efluente nas lagoas foi de 7,8 +/- 0,3 dias. Os autores observaram uma remoção de 90% de algas na lagoa com aguapés, enquanto que na lagoa sem aguapés houve ainda um acréscimo no número de algas. Verificaram que houve a formação de flocos aderidos nas raízes e que as algas foram encontradas integrando o floco formado. Em relação a remoção de bactérias do grupo coliforme, as análises mostraram valores médios de remoção de 95% para coliformes

totais e 97% para coliformes fecais na lagoa com aguapés enquanto que a lagoa sem aguapés a remoção média foi de 90% para coliformes totais e 96% para coliformes fecais. Em relação aos nutrientes, a remoção média de nitrogênio foi de 70% e de fósforo 63% na lagoa com aguapés, enquanto que a remoção de nitrogênio foi 54% e fósforo 51% na lagoa sem aguapés. De acordo com os autores, a utilização do aguapé em conjunto com as lagoas de estabilização proporciona uma maneira não só econômica como ecológica para o tratamento de esgotos em pequenas comunidades, lançando seus efluentes com alto padrão de qualidade, sem prejuízo dos corpos receptores.

BOHNENBERG (1980) relata um experimento de uso de aguapés em lagoas na etapa de polimento no tratamento de efluentes de um curtume no Rio Grande do Sul. No conjunto, foram empregadas três lagoas, com 374, 448 e 313 m^2, respectivamente, e 0,25 m de profundidade. O autor relata que a biomassa gerada é apreciável, em decorrência do rápido crescimento, podendo-se colher aguapés diariamente. As raízes de aguapés mantinham se pequenas devido a alta disponibilidade de nutrientes. A eficiência de remoção de sólidos suspensos foi de 76 % e de DBO de 55 %. O autor sugeriu ainda a implantação de mais duas lagoas de aguapés para uma maior remoção de poluentes.

SALATI e RODRIGUES (1982) realizaram um estudo em uma unidade piloto instalada no Ribeirão Piracicamirim, afluente do Rio Piracicaba, que recebia esgoto urbano e efluentes industriais. Os aguapés, mantidos em tanques por onde o ribeirão era em parte desviado, permitiram uma significativa redução da DBO, nitrogênio, fósforo e de coliformes fecais. Segundo os autores, essa eficiência de redução deve-se a retenção (adsorção) do material orgânico em suspensão pela "cortina" de raízes das plantas. O material retido, juntamente com a argila também adsorvida, reduz consideravelmente a turbidez da água. O ambiente que se forma na rizosfera das plantas favorece o desenvolvimento de microrganismos, como fungos e bactérias decompositores, que atuando sobre a matéria orgânica a transforma em compostos mineralizados, que são absorvidos e metabolizados pelas plantas. Esse processo reduziu também os maus odores da água poluída. Os autores observaram também que metais como cobre, chumbo, prata, cádmio e cromo se acumulam nas folhas e raízes das plantas.

KAWAI e GRIECO (1983) conduziram experimentos em escala piloto na Estação Experimental de Caxingui, pertencente à CETESB no período de 1981 a 1982 para o tratamento do esgoto originado de um bairro residencial após uma etapa de decantação primária. As lagoas de aguapés apresentaram um desempenho atraente na remoção de nutrientes. No entanto, a sua eficiência na remoção de DBO mostrou-se inferior à verificada nas lagoas facultativas

convencionais. As cargas máximas de nitrogênio e fósforo aplicáveis nas lagoas, para se manter 80% da eficiência de tratamento, foram avaliadas, respectivamente, em 18 kg/ha.dia e 4 kg/ha.dia para as condições médias anuais no Estado de São Paulo. Segundo os autores, a lagoa de aguapés pode se constituir numa das alternativas para fins de polimento do efluente tratado em nível secundário e para a remoção de partículas em suspensão para efluentes de lagoas de estabilização. Recomendam também que, além dos problemas básicos de remoção e disposição do aguapé, a proliferação de mosquitos, a infestação da lagoa por vetores de doenças, a eventual e destruição da parte vegetativa do aguapé pela geada são alguns outros problemas operacionais que devem ser cautelosamente analisados antes da implementação de sistemas de aguapés.

ROMITELLI (1983) realizou experiências em condições de laboratório que consistiam em colocar aguapés em meio aquoso contendo fosfato a uma concentração conhecida onde se media a variação da concentração com o tempo. Nesse período acompanharam-se também as variações de pH e oxigênio dissolvido, entre outros parâmetros nas condições climáticas de São Carlos, SP. A autora concluiu que os aguapés mostram-se altamente eficientes na remoção de fosfato. Entretanto, também observou que a presença de aguapés no meio líquido levou a uma depressão do oxigênio dissolvido e que propiciou uma ligeira elevação do pH do efluente.

JORDÃO e PESSOA (1985) sugerem critérios de dimensionamento de lagoas de maturação de aguapés, visando um maior carregamento das lagoas, aumento da eficiência e da produtividade do sistema, como: unidades longas e estreitas (comprimento/largura >5); profundidade entre 0,60 m e 1,00 m; uso de lagoas em série ou com chicanas transversais; tempo de retenção superior a 5 dias; manter na saída da lagoa uma área livre de plantas que permita a reaeração do efluente, aproveitando assim, de uma estrutura para proteção contra perdas de aguapés com o efluente; carga hidráulica entre 1800 e 4500 m^3/ha/dia e carga orgânica de 100 kg DBO_5/ha.dia. KAWAI e GRIECO (1983) recomendam ainda carga máxima de nitrogênio e fósforo de 18 a 4 kg/ha/dia, respectivamente, e no máximo de 70% da área ocupada por aguapés.

RIBEIRO et al (1986) realizaram estudos em duas lagoas de aguapés com área de 200 m^2 na Estação de Tratamento de Cambuí pertencente a SANASA no período de 1984 a 1985 para o tratamento do esgoto bruto de um bairro residencial de Campinas, SP. Os resultados dos experimentos não evidenciaram, em termos de tratabilidade, as vantagens da utilização da lagoa de aguapés para o tratamento em nível primário em comparação a uma lagoa anaeróbia tradicional, tanto em termos de redução de carga orgânica como de nitrogênio e fósforo. Além desses aspectos, alguns problemas operacionais, tais como a proliferação de pernilongos, remoção e disposição de aguapé, possíveis infestações por agentes transmissores de doenças,

constituem-se em fatores limitantes dessa tecnologia. Assim, os autores recomendam que o uso de lagoas de aguapés seja no tratamento secundário ou terciário de esgotos.

MEDRI (1997), trabalhando com dejeto suínos, demostraram uma remoção de 58% de DQO, 47% de sólidos totais, 47% de sólidos voláteis, 59% de nitrogênio total, 54% de fósforo total e 7 unidades log para coliformes fecais, com carga de 170 kg nitrogênio total/(ha.dia) e 22 kg de fósforo total/(ha.dia) e tempo de retenção hidráulico de 20 dias. BAVARESCO et al (1999) também afirmam que lagoas de aguapés são uma boa opção para o tratamento terciários de dejetos de suínos. Estudos em escala piloto em Santa Catarina mostraram que as lagoas de estabilização implantadas permitiram significativas reduções na concentração de DQO (40 a 100%), nitrogênio total (40 a 95%), fósforo total (20 a 50%), metais - Fe, Cu, Mn, Zn (40 a 100%) e coliformes fecais (4 a 7 unidades log), variando em função da estação (inverno ou verão). Em relação a proliferação de pernilongos, os autores observaram que nos sistemas integrados de criação de suínos e tratamento de efluentes, a proliferação de insetos é tão grande que eventuais pernilongos nas lagoas de aguapés não parece ser um problema maior.

BICHS et al (1999) estudaram em laboratório a remoção de nitrogênio em um sistema integrado de uso de aguapés em lagoas de alta taxa de produção de algas, cujo tempo de detenção era de 20 dias. Os resultados da pesquisa demonstraram que os maiores índices de remoção de nitrogênio ocorreram quando a lagoa estava parcialmente recoberta com aguapés. Os resultados obtidos com 25, 50% e 75% de recobrimento de aguapés foram superiores ao das lagoas com 0 e 100% de recobrimento. O balanço de massa do nitrogênio indicou que, na lagoa sem o aguapé, 55% da remoção de nitrogênio ocorreu pela assimilação pelas algas e 45% pela volatilização da amônia na atmosfera. Quando o aguapé foi introduzido na lagoa, a remoção do nitrogênio variou dependendo da superfície coberta, mas de modo geral 65% da remoção de nitrogênio ocorreu pela assimilação por algas e aguapés, 15% pela volatilização da amônia e 20% foi atribuído ao mecanismo de nitrificação-denitrificação. Os autores também observaram uma correlação significativa entre a supressão da concentração de algas com o aumento da área recoberta por aguapés. Ainda, havia uma tendência de adsorção das algas nas raízes dos aguapés. Por fim, concluíram que o sistema integrado de lagoas de alta taxa de produção de algas com aguapés, comparado com um sistema sem aguapés, providencia uma maior remoção de nitrogênio, níveis de sólidos suspensos mais baixos e que em termos de DQO do efluente de saída não houve uma diferença significativa. A lagoa de alta taxa de produção de algas sem aguapés produziu níveis supersaturados de oxigênio dissolvido (9,6 mg/L) em um pH elevado (8,5). O mesmo sistema, com 50% de recobrimento de aguapés, manteve também elevado a concentração de oxigênio dissolvido (8,4 mg/L) e um pH próximo do neutro (7,0).

3.2.3. Projetos de Lagoas de Aguapé

De acordo com a literatura consultada, não parece existir uma metodologia específica para projeto de lagoas de aguapé. O que comumente se encontra são projetos baseados em critérios empregados em lagoas de estabilização, embora atualmente certos elementos característicos desse sistema comecem a se impor.

WOLVERTON et al, (1980), observando que o aguapé poderia remover uma porcentagem adicional de DBO, comparada às lagoas de estabilização comuns, procurou determinar essas taxas de remoção em laboratório. Através de experimentos em sistemas em batelada, verificou a remoção de DBO por bactérias, e por bactérias e plantas, durante 6-7 dias de experiência e estimou então as taxas de DBO removidas por tempo por grama de aguapé fresco. Concluiu que o sistema "bactéria mais aguapé" era capaz de remover 4,5 mg de DBO por grama de planta fresca, dos quais 1,5 mg eram assimilados pelo aguapé e 3,5 mg removidos pelas bactérias. Com essas taxas em mãos e assumindo um "standing crop" médio de 220 t/hectare, encontrou um meio de determinação do tamanho da lagoa.

No entanto, quando se trata de nutrientes, para cuja remoção a maioria dessas lagoas vem sendo empregada, o que se encontra na literatura são procedimentos baseados nas porcentagens de nitrogênio e fósforo presentes nas plantas em crescimento, que, como discutido anteriormente, são valores que variam seguidamente. WOLVERTON et al (1976) estudando a taxa de crescimento diário do aguapé, indicou como um valor médio, a taxa de 5% ao dia. Para uma remoção máxima de nutrientes, a colheita deveria ser feita na mesma proporção. A partir desta premissa, a quantidade removida de nutrientes poderia ser avaliada, considerando a densidade das plantas e as porcentagens de nitrogênio e fósforo presentes nas mesmas. Portanto, quando se procura determinar a área e o volume necessários para desejada remoção de nutrientes, pode-se adotar um raciocínio semelhante ao proposto.

Assim fizeram STEWART et al (1980), quando propuseram o seu método para projetos de lagoas de aguapé. Iniciaram os cálculos determinando experimentalmente a equação de produtividade de uma lagoa de aguapé. Concluíram ser igual a:

$$y = 14{,}51e^{(0{,}44301x)} \qquad (1)$$

onde:

y - peso úmido das plantas

x - tempo em semanas de experiência.

Utilizando-se essa equação numa forma mais genérica:

$$y = Z\, e^{(0,44301x)} \quad (2)$$

onde:

z - "standing crop" inicial.

Calcularam a diferença em peso de planta crescida ou a ser removida semanalmente (y – z), para determinada vazão e concentração de nitrogênio e fósforo nos efluentes. Para tanto, assumiram a porcentagem de matéria seca do aguapé, como sendo igual a 5%, e as porcentagens em peso seco de nitrogênio e fósforo iguais a 4% e 0,5% respectivamente. Dessa forma, chegaram a equação que se refere ao peso de planta úmida a ser removida semanalmente:

$$(y - Z) = Z\, e^{(0,44301x)} - Z \quad (3)$$

Através dessa equação, foi possível determinar z ("standing crop") necessário para determinada remoção, que, de acordo com a densidade das plantas, fornece a área ou volume procurado. Esses mesmos autores recomendaram ainda que se considere um fator de segurança, lembrando da área parcial descoberta pela colheita semanal, ou pelas reduções no crescimento das plantas em períodos de inverno.

CORNWELL et al (1977), conseguiram equações relacionando a área superficial e remoção de nutrientes em lagoas de aguapé. Partiram de dados coletados em projeto-piloto, onde estudaram várias profundidades (0,24 m, 0,64 m e 0,7 m) e vários tempos de detenção (12, 24, 48 e 96 horas), que permitiram a determinação da eficiência de remoção dos nutrientes. Os valores de profundidade e tempo de detenção foram convertidos à área superficial necessária para uma vazão de 3800 m^3/dia (de acordo com a equação de tempo de detenção).

As equações encontradas foram:

$$NR = 8,01 \times 10^6\ SA\ (m^2.dia/m^3) + 6,95;\ \text{coeficiente de correlação} = 0,92 \quad (4)$$

$$PR = 5,83 \times 10^6\ SA\ (m^2.dia/m^3) - 8,77;\ \text{coeficiente de correlação} = 0,96 \quad (5)$$

onde:

NR = Porcentagem de nitrogênio removido (%)

PR = Porcentagem de fósforo removido (%)

SA = Área Superficial (m^2).

A remoção se mostrou altamente relacionada à área superficial, como se pode observar pelos seus coeficientes de correlação.

DAN SWETT (1980), com dados colhidos em 5 lagoas de aguapé em série a jusante de um tratamento de lodos ativados em coral Springs, Flórida, relacionou nitrogênio removido a diferentes tempos de detenção. A equação encontrada foi:

$$Y = 3,91 + (-0,65)X \quad (6)$$

onde:

Y = mg/L de nitrogênio total removido

X = tempo de detenção

O Departamento de saúde do Texas (Texas Department of Health) publicou, em 4 de maio de 1970, recomendações para construção e operação de lagoas de aguapé usadas em polimento de efluentes de lagoas de estabilização (DINGES, 1980). Estas foram:

- Configuração: Preferência retangular, em proporções maiores que 3:1, para favorecer condições de fluxo pistão. A eficiência pode ser aumentada dividindo a bacia retangular em duas partes iguais por uma diagonal, e o afluente seria distribuído ao longo da base do triângulo, coletado no ápice e reintroduzido ao longo da base do outro triângulo. WOLVERTON (1976) por sua vez recomenda um formato em ziguezague para facilitar a colheita, apesar das dificuldades construtivas. Profundidade média de 90 cm.

- Barreiras: Deve ser instalada ao redor do vertedor de saída do efluente uma barreira fixa, criando uma zona clara de aproximadamente 1% da área superficial da lagoa para reter aguapés, permitir reaeração e evitar descargas de restos em decomposição.

- Controle de mosquitos: As lagoas de aguapés devem ser estocadas com peixes que se alimentam de mosquitos, tais como *Gambusia, Poecilia, Astyanax*.

SWETT (1980) observou que a saúde das plantas deveria ser mantida, para que o crescimento das mesmas e retirada de nutrientes não fossem comprometidos. Durante períodos de reduzida vazão ou quando a concentração de nitrogênio fosse menor do que 10 mg/L o sistema poderia ser adversamente afetado. Portanto, para um bom funcionamento, as lagoas deveriam ser mantidas em baixa densidade de aguapés, num ciclo de coletas a cada quatro semanas, quando 15-20% das plantas seriam colhidas.

A respeito da anaerobiose que pode vir a ocorrer em períodos noturnos, WOLVERTON (1976) sugere uma aeração mecânica funcionando durante a noite para superar os problemas decorrentes.

3.3. Manejo e usos da biomassa de aguapés

A busca de aplicações dos aguapés é uma etapa fundamental no gerenciamento dessa tecnologia. ROMITELLI (1983) e COELHO (1994) listam algumas das alternativas para o reúso da biomassa:

- adubo orgânico,
- fonte de energia,
- fonte de alimento,
- fibras têxteis,
- papéis especiais.

Devido a composição química do aguapé, rica em potássio, nitrogênio e fósforo em sua matéria seca, verifica-se logo a sua adequação ao uso como fertilizante. A maneira mais prática e rentável de se usar o aguapé com fins fertilizantes é através de seu uso em compostagem (ROMITELLI, 1983).

BASAK (1978) descreveu um método de preparo de compostagem que vinha sendo utilizado pelas autoridades de Bengala, na Índia, onde pilhas de 3 x 10 x 1,80 m eram preparadas com camadas de 0,30 m de aguapés picado intercaladas por fina camada de esterco de vaca ou similar, que eram deixadas fermentar por 5 meses. O umedecimento era quase que desnecessário devido ao grande conteúdo de água do aguapé, e os revolvimentos periódicos eram feitos em intervalos coerentes com o tempo disponível para o preparo do composto. A composição química desses compostos preparados com aguapé revelou-se, quando comparada à de compostos de lixo e restos agrícolas, duas vezes mais rica que a primeira e quatro vezes mais rica que a segunda em termos de nitrogênio e fósforo.

KIEHL (1978) ensina a preparar o composto de aguapé, misturando uma parte de esterco animal (galinha, vaca ou cavalo) com cinco partes de aguapé, formando pilhas de 2 metros, que poderão ser transformadas em húmus dentro de 90 dias. Em suas experiências com esterco de galinha, o composto apresentava porcentagem em matéria seca de 1,8 % de nitrogênio e de 2,8 % de fósforo e uma relação carbono/nitrogênio igual a 12:1.

GOMES et al (1987) realizaram um estudo na Estação Experimental de Biotecnologia da CETESB em São Paulo para verificar a viabilidade de produção de um composto orgânico a partir de aguapés. Os autores concluíram que o processo é possível de ser realizado ao ar livre e que é favorecido quando a biomassa é misturada com esterco de galinha. Os estudos do valor fertilizante do composto de aguapé apresentaram aspectos positivos quando à sua aplicabilidade.

No entanto, o custo da produção em nível industrial apresenta-se elevado, não podendo ser enquadrado como fertilizante destinado a conquistar uma larga faixa de mercado. O manejo das populações de aguapés é trabalhoso e a produção sistemática para aproveitamento como fertilizante não se mostra viável por que as plantas encerram uma enorme proporção de água, o que acarreta em alto custo de transporte e desidratação. Os autores sugerem que o uso mais viável desta planta aquática restrinja-se ao nível individual, isto é, para quem resida próximo ao local de produção do aguapé para usos particulares em pequena escala.

Mais recentemente, GAJALAKSHMI et al. (2002) também desenvolveram um sistema de produção de um composto orgânico com aguapé. O sistema consistiu em tratamento prévio da biomassa de aguapés com água de lavagem de esterco de vaca. Após 5 semanas, este composto foi misturado com serragem, areia de rio e solo e minhocas da espécie *Eudrilus eugenieae Kinberg*. O teor de umidade do meio foi mantido em 45%. Aplicação de técnicas de vermicompostagem permitiram a produção de um composto orgânico rico em nutrientes e em taxas de produção bem mais elevadas do que sem a presença das minhocas.

Em relação à produção de energia, vários estudos foram conduzidos para a produção de metano pela biodigestão da biomassa do aguapé (WOLVERTON et al., 1975; BENEMANN, 1980; ALVARADO e FASANARO, 1980). Dados indicam que é possível produzir de 11 a 12 mL de metano por grama de biomassa úmida do macrófito. Carmen Lúcia Roquette Pinto (COELHO, 1994), coordenadora do Núcleo de Tecnologia do Aguapé, reporta que outra alternativa seria a queima direta em caldeiras ou fornalhas da biomassa, ou ainda para a transformação em carvão. Seca ao sol, pode ainda ser utilizada como combustível com um poder calorífico nada desprezível. Estudos conduzidos por SALATI e RODRIGUES (1982) demonstraram que é possível a obtenção de briquetes a partir do pó do carvão do aguapé, depois de misturado ao alcatrão gerado da sua própria carbonização. Esses briquetes apresentam um poder calorífico de 3.000 cal/g. Após a queima, pode-se utilizar as cinzas como fertilizante ou até mesmo na recuperação de elementos valiosos (quando concentrou, por exemplo, metais pesados).

O uso de aguapés como fonte de alimento para ração animal ou humana vem sendo também abordado como uma real possibilidade. CHATERJEE e ABDUL HYE (1968), do Departamento de Agricultura de Bengala, contam que alimentaram gado com uma combinação de aguapés com palha de arroz e outras forragens. Tiveram problemas coma a falta de palatabilidade do aguapé (os animais não estavam acostumados a se alimentar da planta e se recusavam a princípio). Para os autores, isso é devido à alta concentração de cloro e potássio

presente na planta. HOSSAIN (1968) procurou realizar um balanceamento do uso de aguapé como um dos componentes para ração para gado. Ele observou que, quando o aguapé era oferecido sozinho, poderia causar diarréia devido a presença de alta percentagem de álcalis. Então, recomendou que se adicionasse ao aguapé torta de mostarda, pela sua proteína e fósforo, e 50 % de matéria seca em palha ou capim para laxaticidade.

Carmem Lúcia Roquette Pinto, no Rio de Janeiro (COELHO, 1994) reporta também que "Através deste vegetal é possível até transformar a proteína do efluente sanitário em concentrado protéico para alimentação humana". O procedimento seria o mesmo de culturas hidropônicas, que gera subprodutos alternativos para diversas finalidades e de grande utilidade para o homem, além de auxiliar na melhoria da qualidade geral do efluente, devido à redução de carga lançada nos corpos d'água, em particular de nitrogênio e fósforo. Entretanto, segundo BRANCO e BERNARDES (1983), no caso específico da utilização de hidroponia, (cultivo em água, sem solo, de vegetais superiores) para a produção de alimentos, os efluentes das indústrias de conservas alimentícias devem ser primeiramente avaliados para não apresentam em sua composição substâncias tóxicas ou inibidoras dos processos biológicos. Em convênio com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a Empresa de Pesquisa Agropecuária (Pesagro-RJ) e a Fundação Rio-Zoo, o Nuta também desenvolveu um programa para produção de ração, onde o feno da alfafa foi substituído pelo feno do aguapé.

3.4. Problemas e limitações das lagoas de aguapés.

O uso de lagoas de aguapés é bastante controvertido. De acordo com POMPEO (1996), problemas em lagoas de aguapés são freqüentes, pois na superfície aquática com aguapé a evaporação pode ser de 3 a 7 vezes maior do que a partir da superfície livre, havendo com isso uma perda substancial de água. A razão entre a transpiração do aguapé e a evaporação natural de uma superfície dágua foi determinada por Penfound e Earle igual a 3,2; Timmer e Weldon estimaram este valor em 3,7; Roger e Davis em 5,3 (ROMITELLI, 1983).

Como as plantas impedem a penetração da luz nas águas, é afetada a capacidade fotossintética das algas, e com isso há uma diminuição na produção de oxigênio, podendo causar a mortandade de peixes e outros seres aquáticos. Crocodilos e cobras buscam refúgio em agrupamento de aguapés, trazendo risco ao homem. Ainda, as plantas constituem excelentes viveiros para larvas de mosquitos, inclusive dos transmissores de malária e encefalite, e nas raízes abrigam-se e multiplicam-se caramujos, como os que transmitem a doença da

esquistossomose. Em determinadas ocasiões grandes quantidades de aguapés são arrastadas pelas águas, e podem ser mantidas perto de regiões habitadas. Com isso podem se originar surtos violentos de doenças, disseminadas por vetores abrigados pelas plantas (ROMITELLI, 1983).

POMPEO (1996) ainda refere-se ao problema de assimilarem metais pesados e outras substâncias tóxicas, transferindo o problema da contaminação para a planta. Esse autor coloca, porém, que talvez a crítica mais contundente diga respeito ao destino da grande quantidade da biomassa formada, já que periodicamente há necessidade da colheita parcial da planta, necessária para a retirada dos poluentes do sistema na forma de biomassa viva, além de permitir que as restantes continuem em intenso crescimento ativo. Nesse sentido, não se aconselha a utilização e presença de aguapés em lagos extensos, em represas com possíveis remansos ou mesmo tanques de dimensões maiores, pela dificuldade de remoção e controle. O material destruído ou retirado não deve permanecer à beira do lago de criação ou dentro deste, evitando-se sua decomposição, disponibilização orgânica e conseqüente desoxigenação (diminuição do teor de oxigênio dissolvido) e eutrofização (aumento de nutrientes) das águas. O controle biológico é efetuado por espécies de peixes, como a própria "carpa capim". A utilização de produtos químicos (herbicidas, etc) não é recomendado e deve ser evitado quando em sistemas de criação e manutenção de peixes comestíveis.

Ainda, de acordo com POMPEO (1996), o principal responsável pelo descrédito do aguapé como agente despoluidor no Brasil foi a sua má utilização. Mas, assim como qualquer sistema de tratamento, há necessidade de planejamento, projeto e avaliação do custo/benefício. Não adianta deixar os aguapés em uma lagoa crescendo sem controle, é preciso um manejo adequado para um eficiente sistema de tratamento. Há também a necessidade de se dar um destino à grande quantidade de biomassa produzida. Dessa forma, é essencial que, ao se planejar um sistema de tratamento, também sejam levados em consideração unidades de beneficiamento e de armazenamento de biomassa. Mesmo assimilando substâncias tóxicas e metais pesados quando presentes, a utilização de plantas aquáticas como alternativa em sistemas de tratamento de efluentes é viável, dependendo do que for absorvido.

4. EXPERIMENTAL

4.1. A estação de tratamento de efluentes da Agrale

Na estação de tratamento de efluentes da Agrale S/A, cujo vista fotográfica é apresentada na Figura 3 e o fluxograma na Figura 4, ocorrem basicamente dois processos de tratamento: o físico-químico e o biológico.

O tratamento físico-químico é realizado em batelada em dois tanques de sedimentação. Um tanque recebe as águas provenientes das cabines de pintura e de tratamento de superfície (fosfatização), enquanto que o outro tanque recebe as águas oleosas provenientes das máquinas de desengraxe de peças e da limpeza das máquinas de usinagem.

Nas águas das cabines de pintura e de fosfatização, adiciona-se o coagulante (sulfato de alumínio), corretivo de pH (soda cáustica) e floculante. Após a agitação mecânica, deixa-se o efluente decantar por aproximadamente 3 horas, quando o lodo segue para os leitos de secagem e a água tratada para a unidade de tratamento biológico.

No tratamento das águas oleosas, a quebra de emulsão é feita com a adição de ácido sulfúrico 10% em pH de 2 à 3. Adiciona-se o coagulante (sulfato de alumínio), corretivo de pH (soda cáustica) e floculante. Após a sedimentação três produtos são gerados: óleo livre que fica acumulado na superfície do tanque e é armazenado em tonéis para remessa a recicladores, o lodo que é enviado aos leitos de secagem e a água tratada que é enviada ao tratamento biológico.

O tratamento biológico é constituído por uma lagoa aerada de mistura perfeita seguida por uma lagoa de decantação recoberta parcialmente por aguapés. A lagoa aerada recebe os fluxos acima mencionados, a água dos esgotos sanitários da unidade industrial e as águas de lavagem dos veículos. A aeração ocorre de segunda a sexta-feira no período das 7:30 h até as 17:35 h. É freqüente, durante a operação dos aeradores, ocorrer a geração de espumas, fazendo-se necessária adição de anti-espumantes. O efluente da lagoa aerada é enviado de forma contínua para a lagoa de aguapés e que será detalhadamente descrita a seguir. Após, o efluente tratado é descartado para a rede pública de águas pluviais.

Figura 3. Fotografia mostrando a estação de tratamento de efluentes da Agrale.

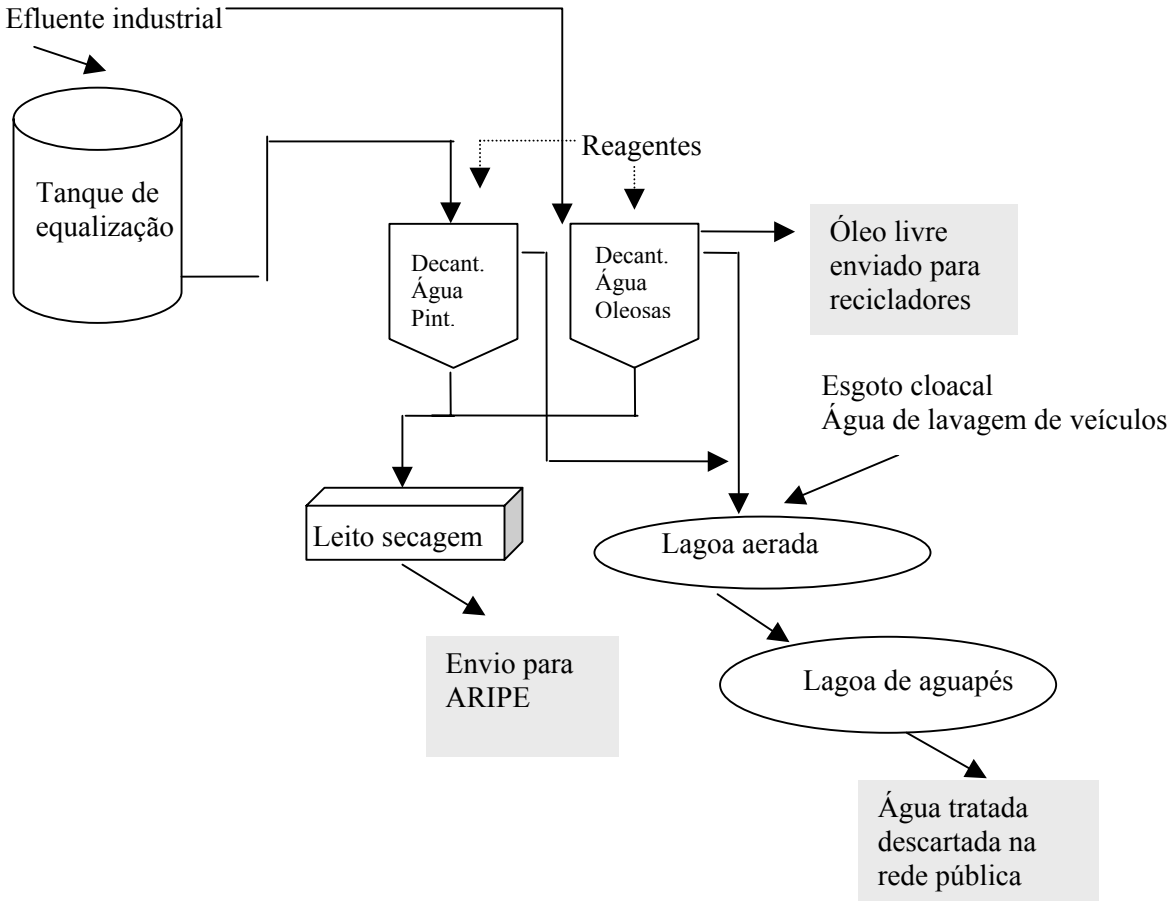

Figura 4. Fluxograma da estação de tratamento de efluentes da Agrale (o efluente de entrada representa 60% do setor de pintura e 40% da usinagem)

4.2. Estudos na lagoa de aguapés da Agrale

A lagoa de aguapés apresenta como dimensões 26,6 m de comprimento, 6,0 m de largura e 1,2 m de profundidade. A vazão média é 5,2 m^3/dia, o que dá uma taxa de aplicação superficial de 0,032 $m^3/(m^2.dia)$, ou 320 $m^3/(ha.dia)$, e tempo de detenção de aproximadamente 36 dias. Para o desenvolvimento do presente trabalho, cujos principais aspectos a serem investigados são o nível de recobrimento de aguapés e a eficiência da lagoa em diferentes períodos do ano, critérios para operação da lagoa foram estabelecidos.

No ano de 2003, a lagoa foi operada com 50% de sua área recoberta com aguapés, permanecendo os outros 50 % com superfície livre (Figura 5). Para isso se usou um anteparo flutuante, cuja função era manter a primeira metade coberta com aguapés e a segunda metade com a superfície livre. Foram realizada 23 coletas de amostras, 2 em cada mês (com exceção do mês de dezembro, que se realizou somente na 1ª quinzena) quando se analisaram, nos fluxos de entrada e saída, os seguintes parâmetros: pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio Kjeldahl total (NKT), fósforo total, óleos e graxas e ferro total. Em duas amostras, especificamente em agosto e junho 2003, analisou-se ainda nitrogênio Kjeldahl total, nitrogênio solúvel, fósforo total, fósforo solúvel, DQO total, DQO e solúvel. Em outras duas amostras, junho e novembro de 2003, analisou-se nitrogênio na forma de nitrito, nitrogênio na forma de nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico (obtido por diferença entre o nitrogênio Kjeldahl total e nitrogênio amoniacal). Ainda, na amostra coletada em novembro de 2003, analisou-se turbidez, surfactantes, metais, (ferro, manganês, níquel, cobre, zinco, cromo, cádmio e chumbo), coliformes fecais e coliformes totais.

No ano de 2004, a lagoa foi dividida ao meio ao longo do comprimento, para se avaliar a eficiência da lagoa com 0% e 100% de recobrimento de aguapés (Figura 6). O fluxo de entrada também foi dividido, mantendo-se, assim, a mesma taxa de aplicação superficial. Foram realizadas 7 coletas de amostras distribuídas ao longo do ano onde analisaram-se, nos fluxos de entrada e saída, os seguintes parâmetros: pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, DQO, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total, óleos e graxas e ferro total.

A lagoa também foi monitorada diariamente em relação a vazão de saída, pH e temperatura, dados estes exigidos pela FEPAM, devido a Agrale pertencer ao SISAUTO (sistema de auto monitoramento) por ser considerada empresa de carga poluidora alta.

Além disso, monitorou-se diariamente o crescimento de biomassa de aguapés. Quando se notava que a quantidade de aguapés superava os 50% relativo á área superficial da lagoa, retirava-se as plantas e quantificava-se o peso, ficando os dados registrados.

Figura 5. Fotografia da lagoa de aguapés com 50% de recobrimento de aguapés.

Figura 6. Divisão da lagoa para operação sem recobrimento de aguapés e com recobrimento de aguapés.

4.3. Estudos em coluna de percolação para a remoção de óleos

Uma investigação para avaliar a remoção de óleos e graxas em um sistema de adsorção foi realizada em laboratório com o uso de dois materiais adsorventes: (a) SUPERSORB-BR, um material adsorvente desenvolvido para a remoção de óleos a partir da biomassa da planta aquática *Salvinia* sp e (b) carvão ativado granulado (CAG), fornecido pelas indústrias químicas carbomafra. Os estudos foram realizados em uma coluna cilíndrica de 2,5 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Os materiais adsorventes, na quantidade de 10 gramas, foram colocados na coluna com grau de empacotamento de aproximadamente 0,2 g/cm^3. Um volume de 1 litro do efluente foi percolado no sentido descendente sob fluxo controlado a uma vazão de 1,0 litros por 30 minutos em uma passagem apenas. Após, a amostra de entrada e de saída foi analisada em relação à concentração de óleos e graxas.

4.4. Padrões de emissão exigidos e parâmetros de eficiência

No presente trabalho, foram analisados preferencialmente os seguintes parâmetros de qualidade da água: temperatura, pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, pH, DQO, nitrogênio total, fósforo total, óleos e graxas e ferro total. Esses parâmetros foram escolhidos como referência por serem esses os exigidos pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), que na LO número 4455/2002-DL estabelece:

- pH entre 6,0 e 8,5;
- sólidos sedimentáveis inferior a 1 mL/L;
- sólidos suspensos até 180 mg/L,
- DQO até 405 mg/L,
- nitrogênio total até 10 mg/L,
- fósforo total até 1 mg/L,
- óleos e graxas até 10 mg/L,
- ferro até 10 mg/l,

O desempenho da lagoa foi avaliado em função dos parâmetros acima, número de não conformidades, eficiência, carga removida e carga removida por unidade de área. As equações empregadas para o calculo da eficiência e da carga removida estão descritas abaixo:

$$Efic = \left(\frac{Cent - Csaída}{Cent} \right) \times 100 \quad (7)$$

$$C\arg a\,\mathrm{Re}\,m = (Cent - Csaída) \times Q \times \left(\frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1g}{1000mg} \right) \quad (8)$$

$$C\arg a\,\mathrm{Re}\,mEsp = \frac{C\arg a\,\mathrm{Re}\,m}{A} \times \left(\frac{1kg}{1000g} \right) \quad (9)$$

Onde:

Efic = Eficiência (%)

Cent = concentração de entrada (mg/L)

Csaída = concentração de saída (mg/L)

Carga Rem = carga removida (g/dia)

Carga Rem Esp = carga removida por unidade de área (kg/ha.dia)

A = área (ha)

Q = vazão (m^3/dia)

4.5. Manejo, preparo e aproveitamento das biomassas de aguapés como adubo orgânico

Levando em consideração o nível de recobrimento de aguapés em cada experimento, o uso de bóias (no caso do experimento com 50% de aguapés) ou da manta divisória da lagoa nos experimentos sem aguapés e com recobrimento de aguapés permitiu evitar que as plantas se deslocassem de um ponta a outra na lagoa. Através do controle visual, da pressão das plantas sobre a divisória, realizou-se a coleta das plantas mensalmente. Conforme o processo de remoção foi sendo realizado, a massa removida foi registrada e transformada em peso seco considerando um teor de umidade de 95%.

As coletas das plantas para análises químicas ocorreram nas seguintes datas:

- 15 de novembro de 2003 – Amostra 1 - Agrale

- 15 de junho de 2004 – Amostra 2 – Agrale

- 15 de abril de 2005 – Amostra – Campus do Vale

As plantas foram deixadas em caixas de madeira para secagem, sob a ação do sol durante o dia e cobertas durante a noite, objetivando a redução no teor de umidade para que no processo de trituração (moinho de facas) as plantas não obstruíssem o equipamento. Com a biomassa seca e moída, foi realizada e análise elementar em termos de concentração de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Na, B, Cd, Cr, Ni e Pb.

A biomassa obtida na coleta de 15 de junho de 2004 (Amostra 2) sofreu um processo de compostagem e estudou-se a produção de um composto orgânico. A compostagem foi realizada em 2 leiras, por um período de três meses no período entre 15 de junho e 15 de setembro de 2004:

- uma leira somente com a biomassa de aguapés;
- uma leira composta com biomassa de aguapés misturada com lodo em base úmida da lagoa aeróbica.

A qualidade do composto orgânico foi avaliada em termos de aspectos físicos do material bem como do teor de umidade, pH, C orgânico, N, P, relação C/N, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, Na e B.

4.6. Análises químicas

As análises químicas de água foram realizadas em laboratório terceirizado de Caxias do Sul. Os métodos de análise seguiram os procedimentos do "Standard Methods for Water and Wastewater Analysis" (APHA, 1999). Estes foram: pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, DQO, nitrogênio Kjeldahl total, nitrogênio amonical, nitratos, nitritos, fósforo total, óleos e graxas, surfactante, ferro, níquel, cobre, zinco, cromo, chumbo, coliforme fecais, coliformes totais.

Parâmetro	Método utilizado
PH	Standard Methods 4500 – B
Demanda química de oxigênio	Standard Methods 5220 - B
Demanda bioquímica de oxigênio	Standard Methods 5210 - B
Fósforo total	Standard Methods 4500 - D
Nitrogênio Total	Standard Methods 4500 - D
Óleos e graxas totais	Standard Methods 5520 - D
Surfactantes	Standard Methods 5540 - C
Sólidos sedimentáveis	Standard Methods 2440 - F

Sólidos suspensos	Standard Methods 2540 - D
Coliformes termotolerantes	Standard Methods 9221 - E
Coliformes totais	Standard Methods 9221 – B
Metais	Espectrometria de absorção atômica

As análises elementares da biomassa de aguapés bem como do composto orgânico obtido foram realizadas no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS e seguiram os procedimentos do "Official Methods for Agricultural Chemists" AOAC (1980). Estes foram: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, ferro, manganês, sódio, boro, cádmio, cromo, níquel e chumbo

As análises de umidade foram realizadas a temperatura de 60^{o}C até peso constante.

4.7. Tratamento e apresentação dos dados

A avaliação do desempenho da lagoa de aguapés foi realizada levando-se em conta os valores absolutos de qualidade da água, bem como através do cálculo de eficiência e carga removida. Nas várias coletas realizadas, avaliou-se o número de não conformidades em relação aos valores exigidos pela Licença de Operação e calculou-se a média e desvio padrão. A comparação das médias envolvendo distintas situações foram realizadas pelo teste "t" de student para avaliar se as diferenças são significativas para um nível de significância de 0,05 (95% de confiabilidade) e 0,1 (90% de confiabilidade) (ROTHENBERG, 1991). Os cálculos bem como a construção dos gráficos foi realizada com auxílio do Software Aplicativo Microsoft Excel.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Monitoramento da lagoa sem aguapés, com 50% de aguapés e com aguapés

Os resultados do monitoramento da lagoa de polimento de aguapés, no ano de 2003, com 50% de recobrimento da lagoa, e no ano de 2004, sem aguapés e com aguapés, para os vários parâmetros de qualidade do efluente estão listados no Apêndice 1 e foram organizados na forma de gráficos e tabelas. As Figuras 7, 8 e 9 mostram os resultados do monitoramento em relação ao pH, as Figuras 10, 11 e 12 em relação aos sólidos suspensos, as Figuras 13, 14 e 15 em relação à DQO, as Figuras 16, 17 e 18 em relação ao nitrogênio Kjeldahl total (NKT), as Figuras 19, 20, 21 em relação ao fósforo total, as Figuras 22, 23 e 24 em relação à óleos e graxas e as Figuras 25, 26 e 27 em relação ao ferro, para os níveis de recobrimento de 0%, 50% e 100%, respectivamente. As Tabelas 1, 2 e 3 resumem os dados em termos de valores mínimos e máximos encontrados, média, desvio padrão e número de não conformidades.

Um aspecto importante refere-se a concepção do sistema de tratamento biológico da Agrale. O sistema implantado pode ser classificado como uma lagoa aerada de mistura completa seguida por uma lagoa de decantação (VON SPERLING, 1996a). Entretanto, observou-se em todas as coletas, que o valor de sólidos sedimentáveis na entrada da lagoa era praticamente nulo. Assim, essa lagoa está funcionando muito mais como uma lagoa de estabilização para a remoção de nutrientes do que como uma lagoa decantação.

De modo geral, o efluente que entra na lagoa não preocupa em relação aos parâmetros pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e ferro total. Porém, apresenta não conformidades de forma eventual em relação à DQO e freqüente em relação ao nitrogênio, fósforo e óleos e graxas. Observa-se, também, que na saída da lagoa, para os 3 níveis de recobrimento, os valores médios de todos os parâmetros de qualidade da água melhoraram. Para a lagoa com 0% de aguapés, cujo monitoramento levou em conta 7 amostras, o número de não conformidades em relação à DQO baixou de 1 para 0, ao nitrogênio de 5 para 1, ao fósforo de 6 para 4 e aos óleos e graxas de 3 para 2. Para a lagoa com 50% de aguapés, cujo quantia de amostras foi de 23, o número de não conformidades em relação à DQO baixou de 1 para 0, ao nitrogênio de 13 para 1, ao fósforo total de 15 para 6 e aos óleos e graxas de 8 para 2. Para a lagoa com aguapés, cujo monitoramento levou em conta 7 amostras, o número de não conformidades em relação à DQO baixou de 1 para 0, ao nitrogênio de 5 para 1, ao fósforo de 6 para 3 e aos óleos e graxas de 3 para 0.

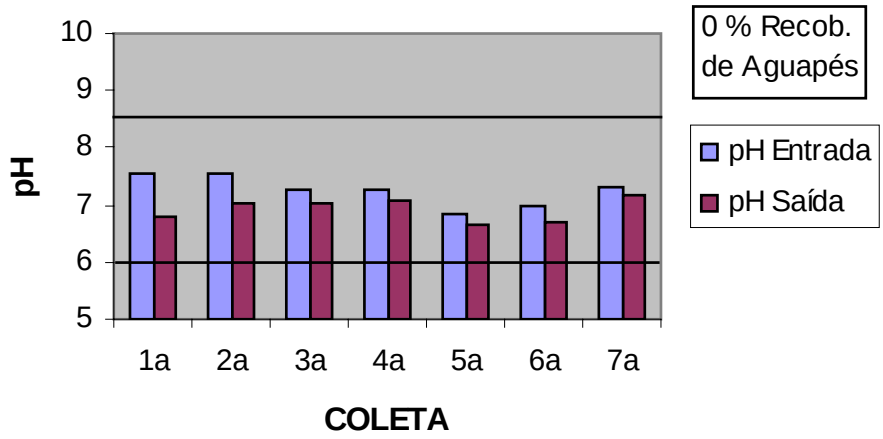

Figura 7. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao pH.

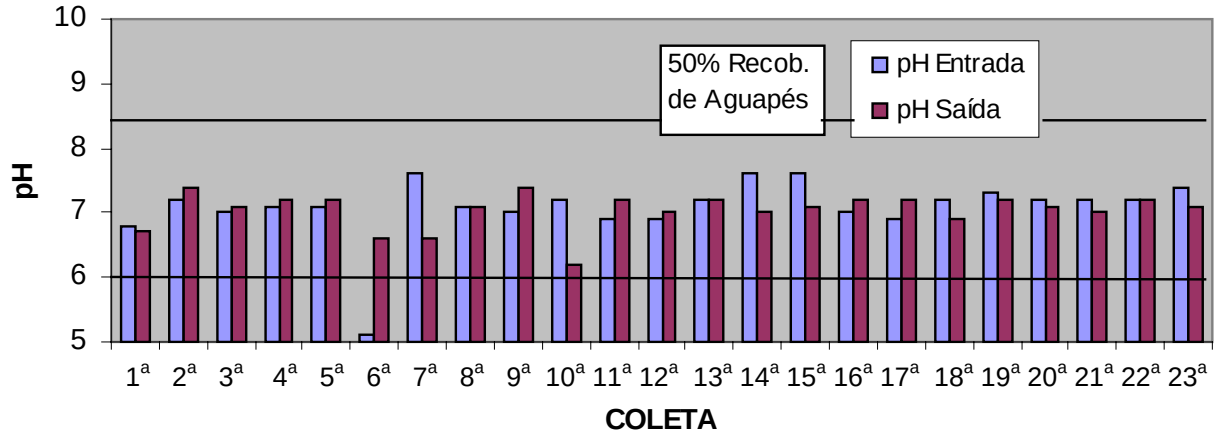

Figura 8. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao pH.

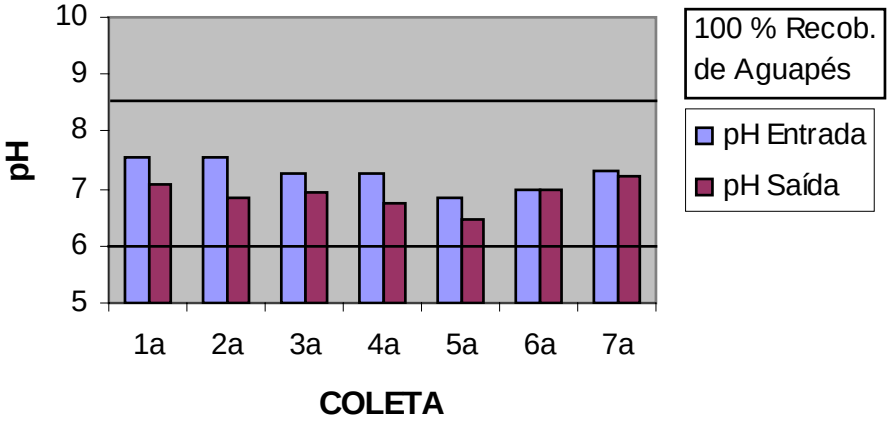

Figura 9. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao pH.

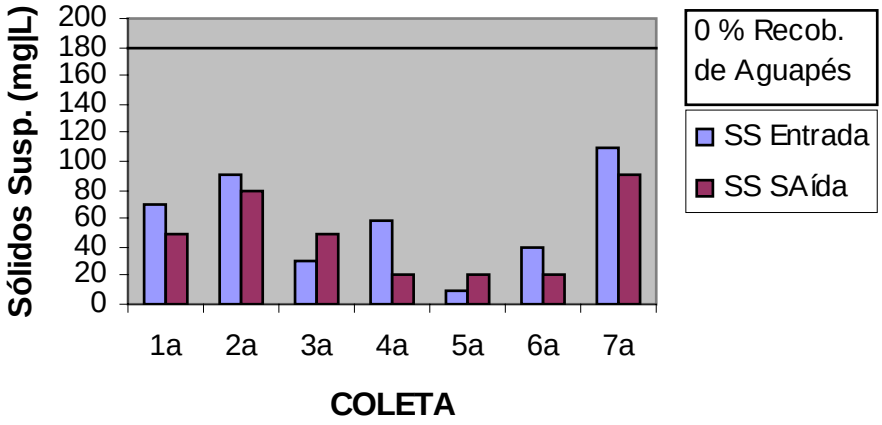

Figura 10. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro sólidos suspensos.

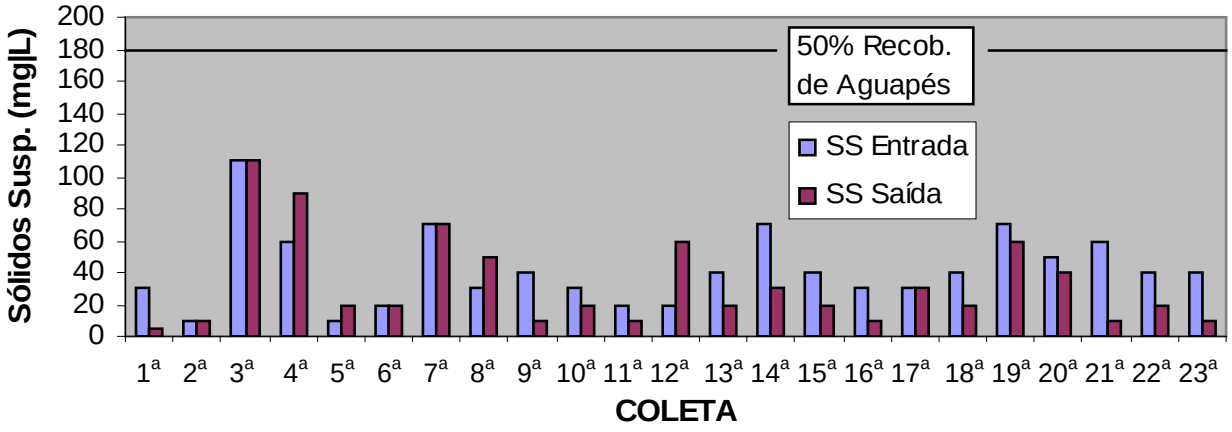

Figura 11. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro sólidos suspensos.

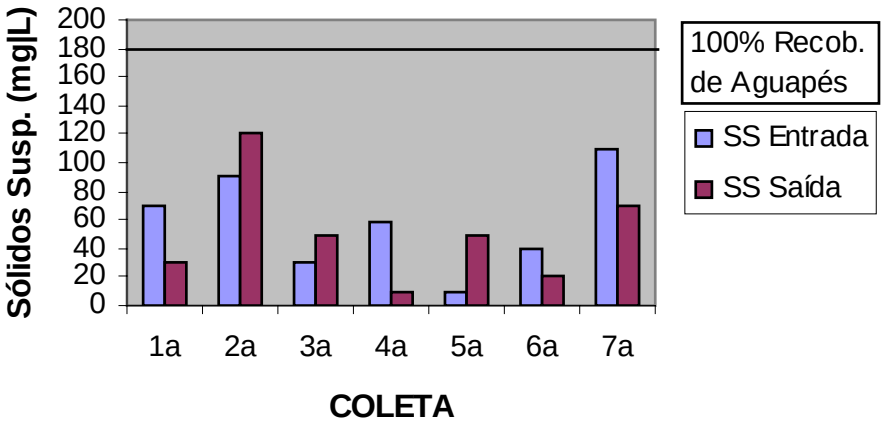

Figura 12. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro sólidos suspensos.

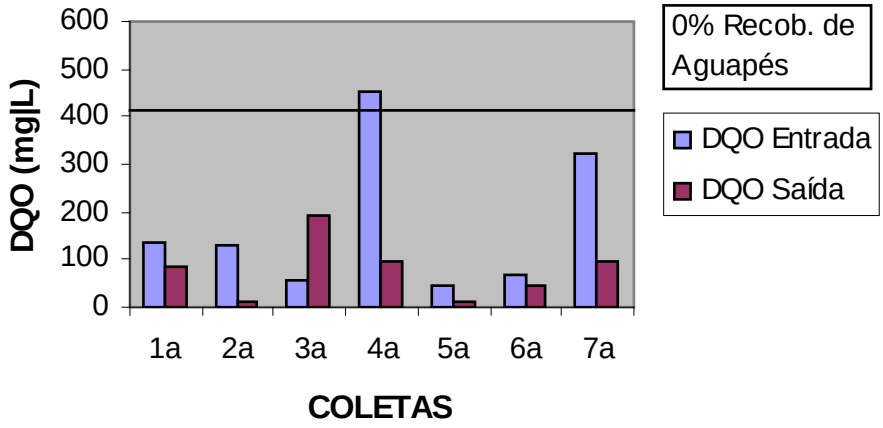

Figura 13. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro DQO.

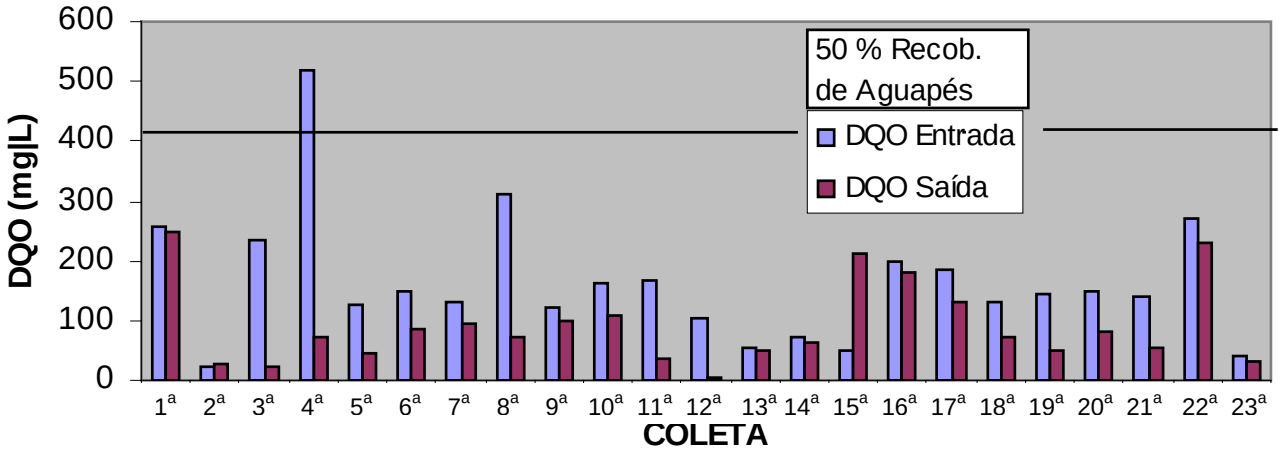

Figura 14. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro DQO.

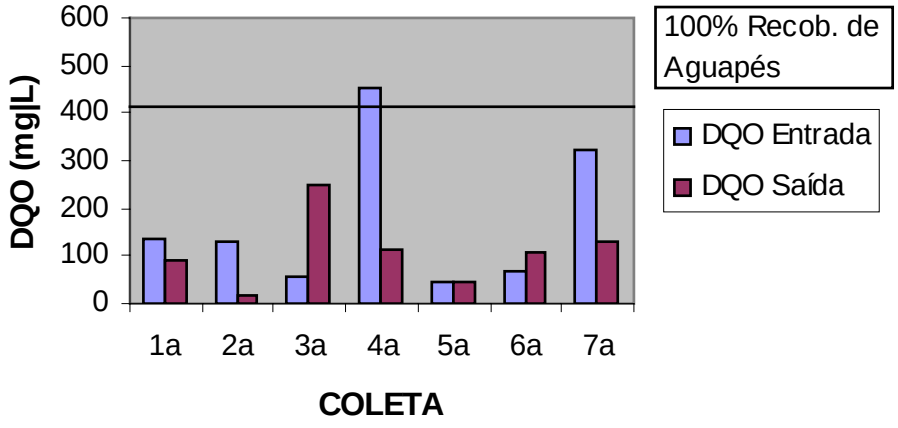

Figura 15. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro DQO.

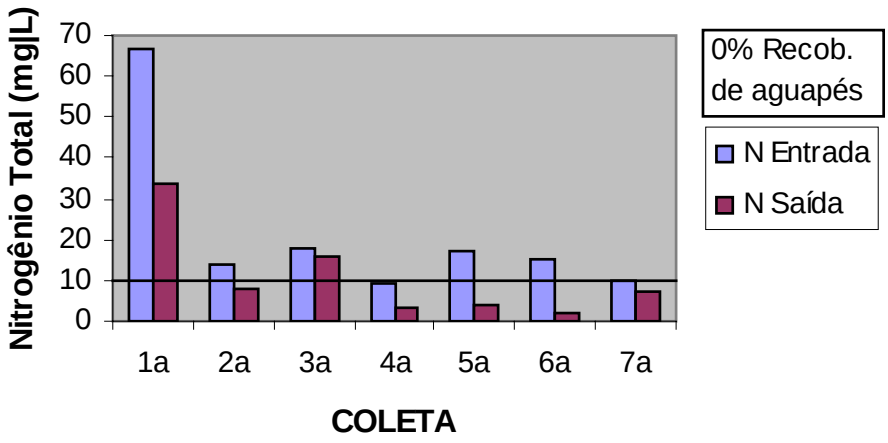

Figura 16. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro nitrogênio Kjeldahl total (NKT).

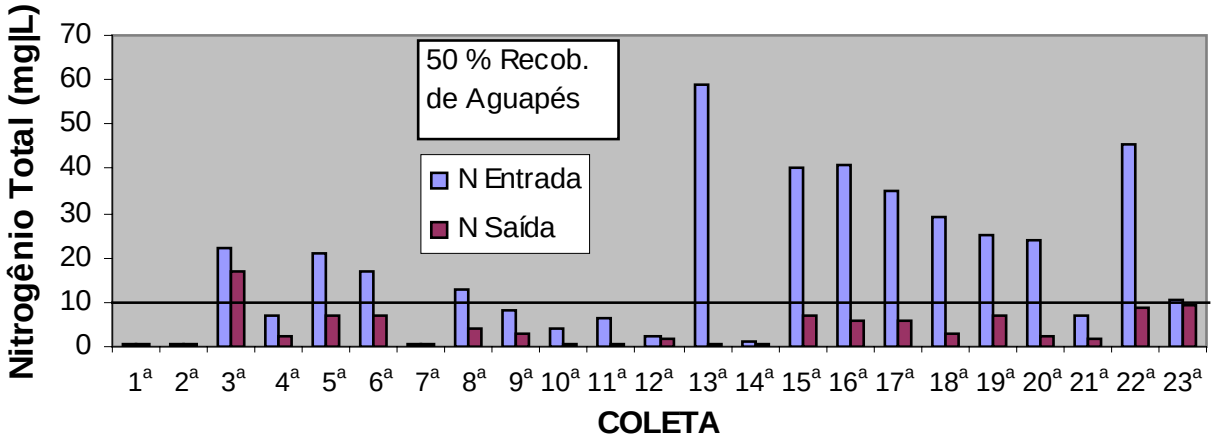

Figura 17. Monitoramento da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro nitrogênio Kjeldahl total (NKT).

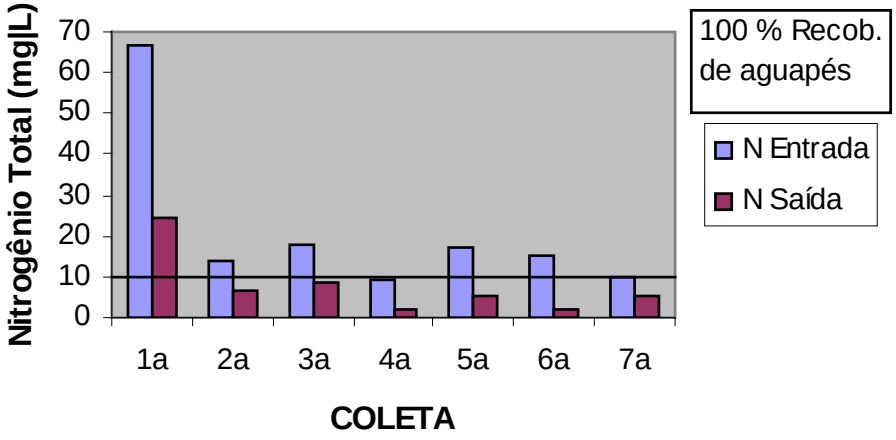

Figura 18. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro nitrogênio Kjeldahl total (NKT).

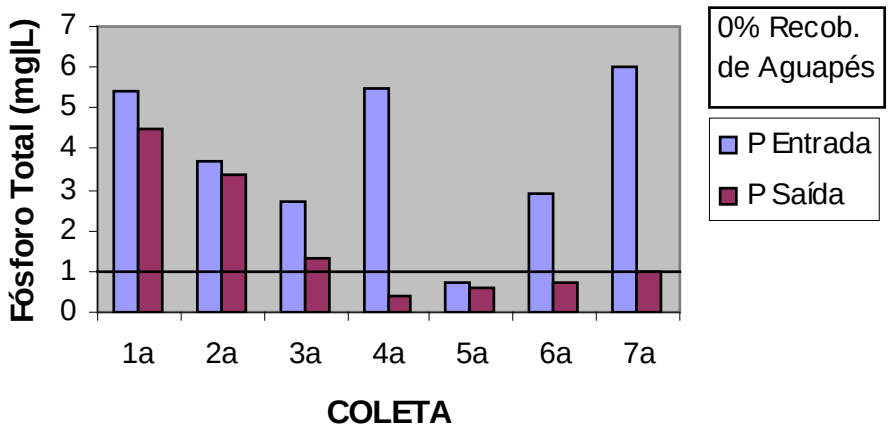

Figura 19. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro fósforo.

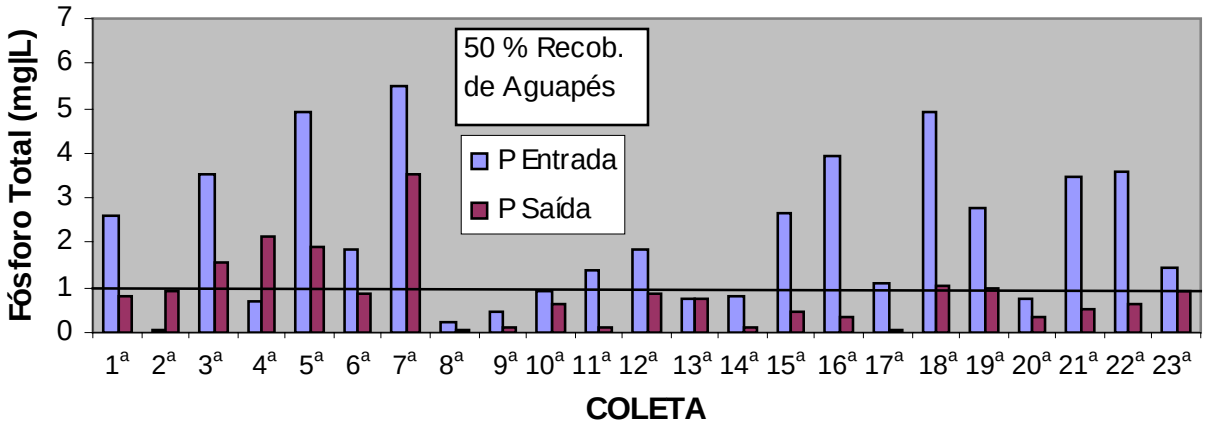

Figura 20. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro fósforo.

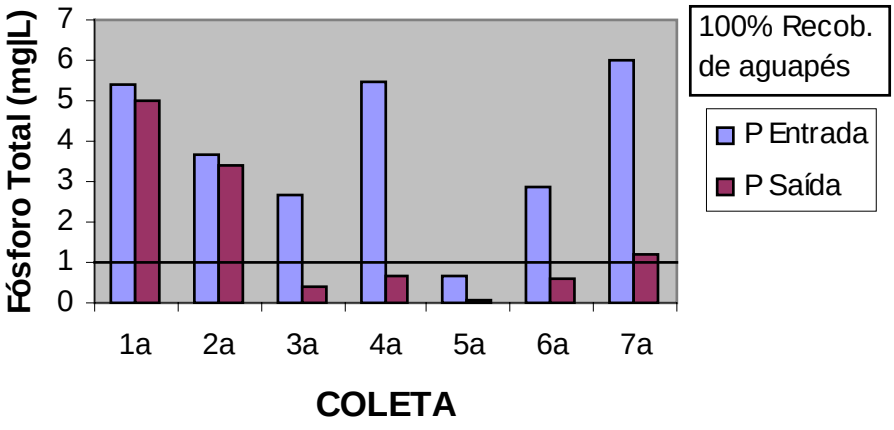

Figura 21. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro fósforo.

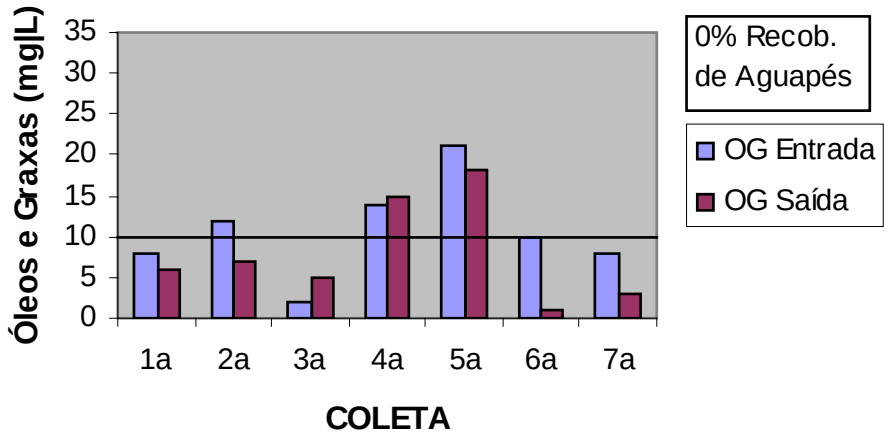

Figura 22. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro óleos e graxas.

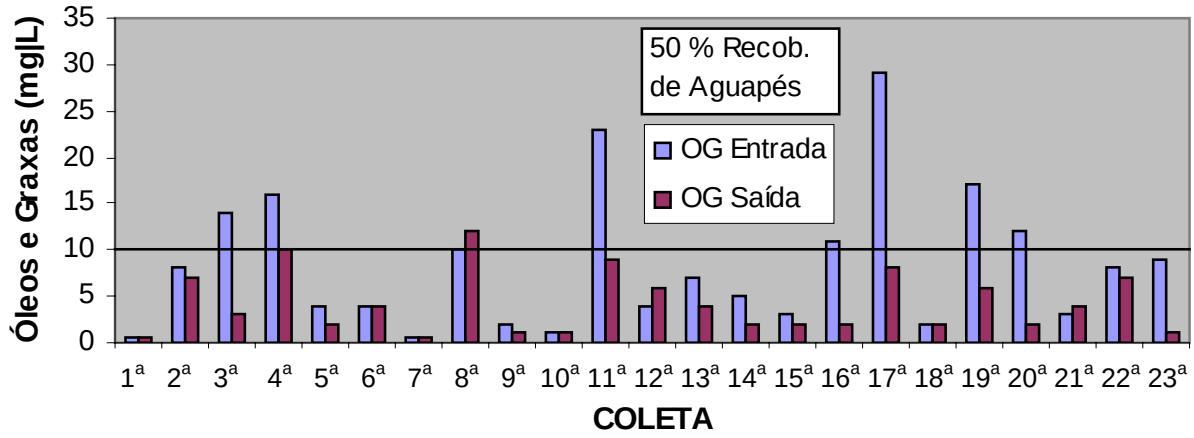

Figura 23. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro óleos e graxas.

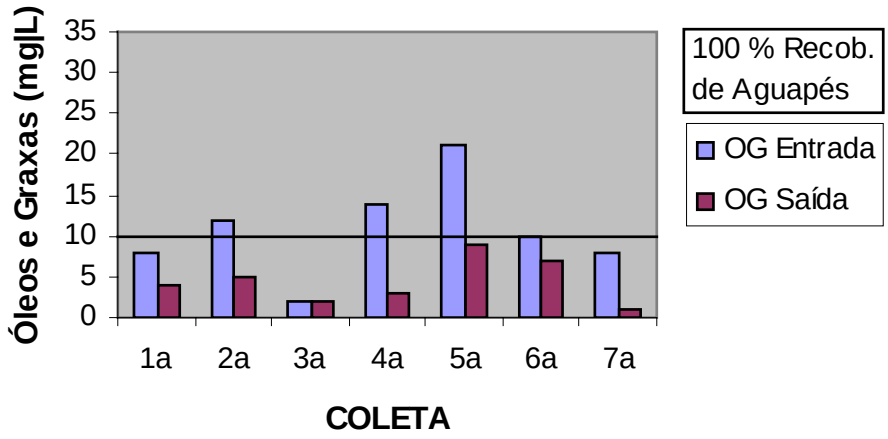

Figura 24. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro óleos e graxas.

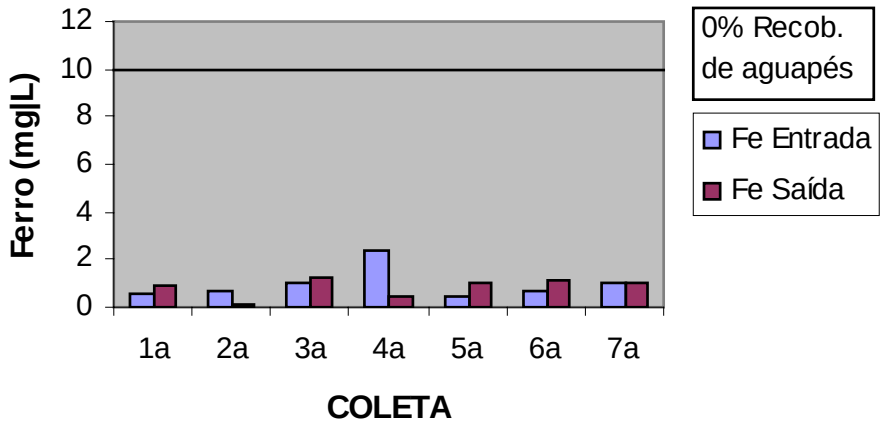

Figura 25. Monitoramento da lagoa sem aguapés em relação ao parâmetro ferro.

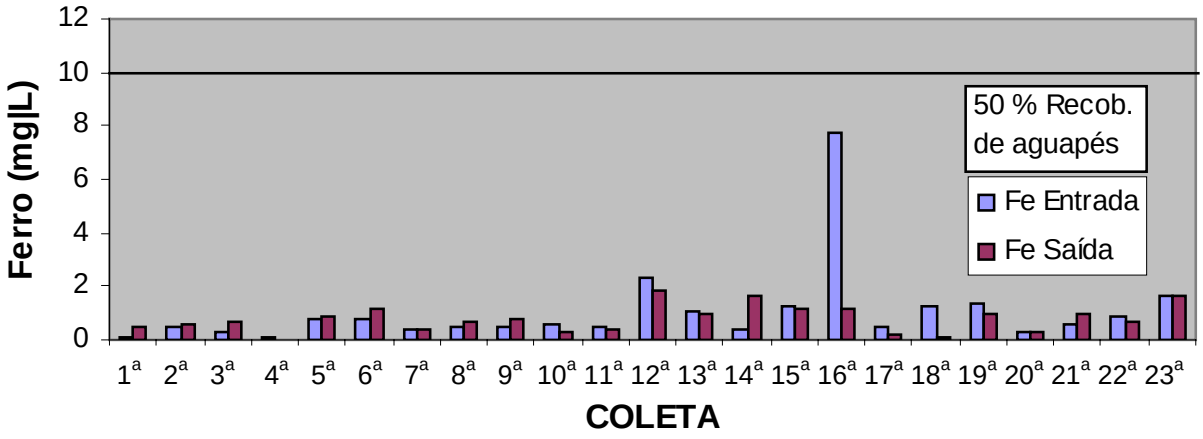

Figura 26. Monitoramento da lagoa com 50 % de recobrimento de aguapés em relação ao parâmetro ferro.

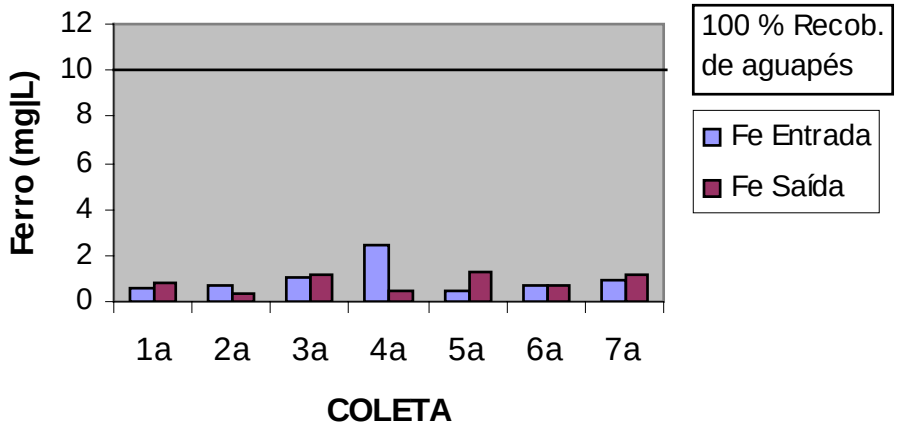

Figura 27. Monitoramento da lagoa com aguapés em relação ao parâmetro ferro.

Tabela 1. Dados estatísticos dos parâmetros de qualidade de águas das amostras de entrada e saída da lagoa sem aguapés.

Parâmetro	Min	Máximo	Média	Desvio Padrão	No de não atendimentos
Entrada					
pH	6,9	7,5	7,2	2,7	0
Sólidos Sediment. (mL/L)	< 1	< 1	< 1	-	0
Sólidos Suspensos (mg/L)	10	110	59	35	0
DQO (mg/L)	45	452	173	155	1
NKT (mg/L)	9,0	66,7	21,4	20,3	5
Fósforo total (mg/L)	0,66	5,59	3,79	1,85	6
Óleos e graxas (mg/L)	2	21	11	6	3
Ferro (mg/L)	0,45	2,42	0,98	0,67	0
Saída					
pH	6,7	7,2	6,9	0,2	0
Sólidos Sediment. (mL/L)	< 1	< 1	< 1	-	0
Sólidos Suspensos (mg/L)	20	90	47	29	0
DQO (mg/L)	10	194	77	63	0
NKT (mg/L)	2,0	33,6	10,7	11,1	1
Fósforo total (mg/L)	0,45	4,45	1,70	1,57	4
Óleos e graxas (mg/L)	1	18	8	6	2
Ferro (mg/L)	0,08	1,28	0,83	0,42	0

Tabela 2. Dados estatísticos dos parâmetros de qualidade de águas de amostras de entrada e saída da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés.

Parâmetro	Min	Máximo	Média	Desvio Padrão	No de não atendimentos
Entrada					
pH	4,8	7,6	7,1	0,5	1
Sólidos Sediment. (mL/L)	< 1	< 1	< 1	-	0
Sólidos Suspensos (mg/L)	10	110	42	23	0
DQO (mg/L)	22	521	163	108	1
NKT (mg/L)	0,4	58,8	18,3	16,7	13
Fósforo total (mg/L)	0,03	5,50	2,18	1,64	15
Óleos e graxas (mg/L)	< 1	29	9	7	8
Ferro (mg/L)	0,07	7,72	1,06	1,55	0
Saída					
pH	6,2	7,4	7,0	0,3	0
Sólidos Sediment. (mL/L)	< 1	< 1	< 1	-	0
Sólidos Suspensos (mg/L)	5	110	32	28	0
DQO (mg/L)	5	248	90	67	0
NKT (mg/L)	0,6	16,8	4,2	4,0	1
Fósforo total (mg/L)	0,03	3,54	0,86	0,81	6
Óleos e graxas (mg/L)	< 1	12	5	3	2
Ferro (mg/L)	0,03	1,84	0,78	0,49	0

Tabela 3. Dados estatísticos dos parâmetros de qualidade de águas das amostras de entrada e saída da lagoa com aguapés.

Parâmetro	Min	Máximo	Média	Desvio Padrão	No de não atendimentos
Entrada					
pH	6,9	7,5	7,2	2,7	0
Sólidos Sediment. (mL/L)	< 1	< 1	< 1	-	0
Sólidos Suspensos (mg/L)	10	110	59	35	0
DQO (mg/L)	45	452	173	155	1
NKT (mg/L)	9,0	66,7	21,4	20,3	5
Fósforo total (mg/L)	0,66	5,59	3,79	1,85	6
Óleos e graxas (mg/L)	2	21	11	6	3
Ferro (mg/L)	0,45	2,42	0,98	0,67	0
Saída					
pH	6,5	7,2	6,9	0,2	0
Sólidos Sediment. (mL/L)	< 1	< 1	< 1	-	0
Sólidos Suspensos (mg/L)	10	120	50	37	0
DQO (mg/L)	16	249	108	74	0
NKT (mg/L)	1,7	24,3	7,6	7,7	1
Fósforo total (mg/L)	0,07	5,04	1,64	1,86	3
Óleos e graxas (mg/L)	1	9	4	3	0
Ferro (mg/L)	0,36	1,32	0,85	0,36	0

5.2. Efeito do Nível de Recobrimento de Aguapés

A partir dos dados obtidos, procurou-se fazer uma avaliação do desempenho da lagoa em função do nível de recobrimento de aguapés. A Tabela 4 resume os dados de eficiência de remoção para os parâmetros sólidos suspensos, DQO, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total, óleos e graxas e ferro; cujos dados também podem ser vistos em gráficos de colunas nas Figuras 28 a 33. A Tabela 5 resume os valores de carga removida.

Em relação aos sólidos suspensos, observa-se que, a remoção foi bastante semelhante nos três níveis de recobrimento. Isso pode ser afirmado avaliando de forma conjunta os valores de eficiência de remoção e carga removida, juntamente com a variabilidade dos resultados (desvio padrão). De modo geral, os valores de entrada de sólidos suspensos são baixos, e os índices médios anuais de remoção não superam a 25%. O crescimento de microalgas pode ser favorecido na lagoa sem aguapés e com 50% de aguapés, principalmente nos meses de verão, diminuindo os valores de remoção de sólidos suspensos. Porém, esse fato não foi observado em grande intensidade. Os aguapés, nas lagoas com 50% e 100% de recobrimento, em algumas épocas do ano se decompõe, contribuindo, de alguma forma, na liberação de sólidos suspensos.

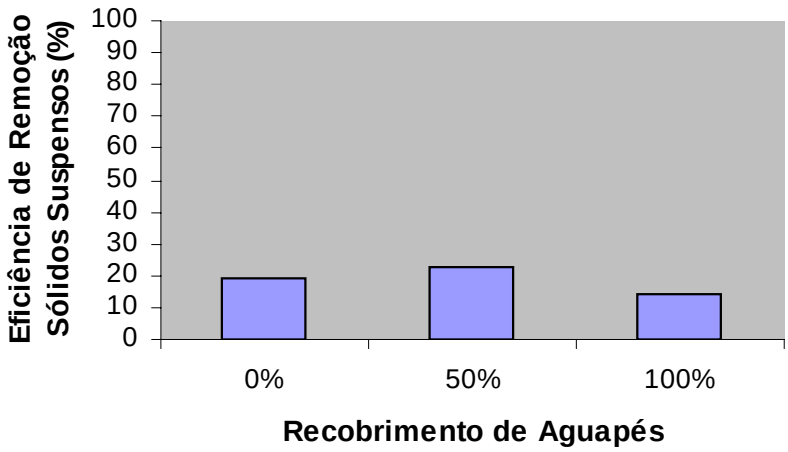

Figura 28. Eficiência de remoção de sólidos suspensos em função do nível de recobrimento de aguapés.

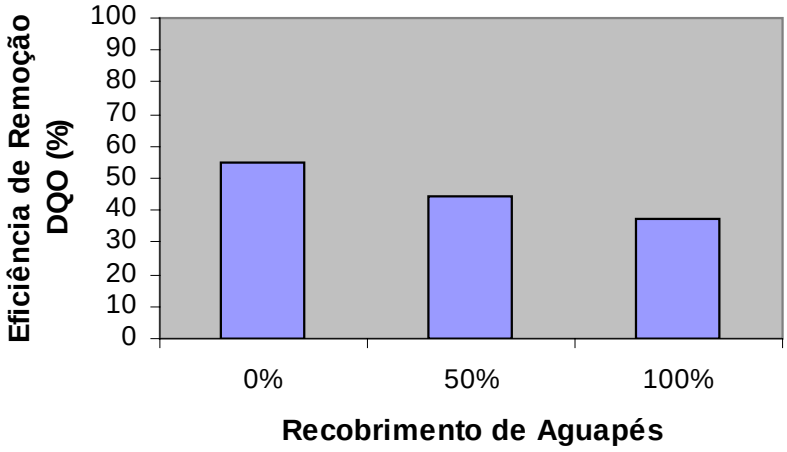

Figura 29. Eficiência de remoção de DQO em função do nível de recobrimento de aguapés.

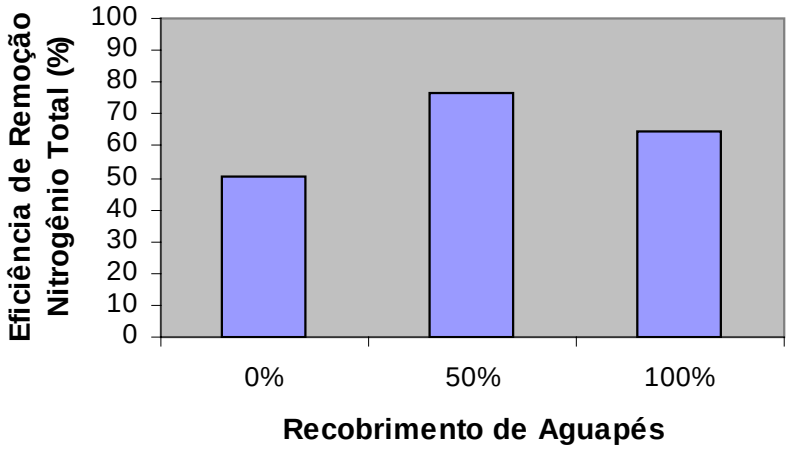

Figura 30. Eficiência de remoção de nitrogênio Kjeldahl total em função do nível de recobrimento de aguapés

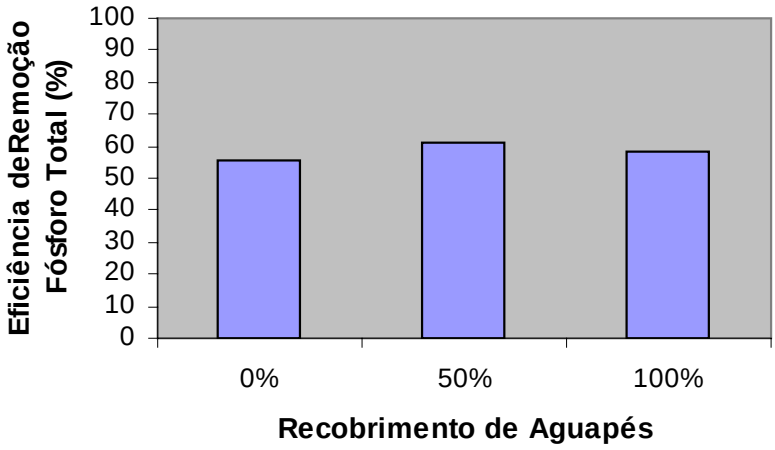

Figura 31. Eficiência de remoção de fósforo total em função do nível de recobrimento de aguapés

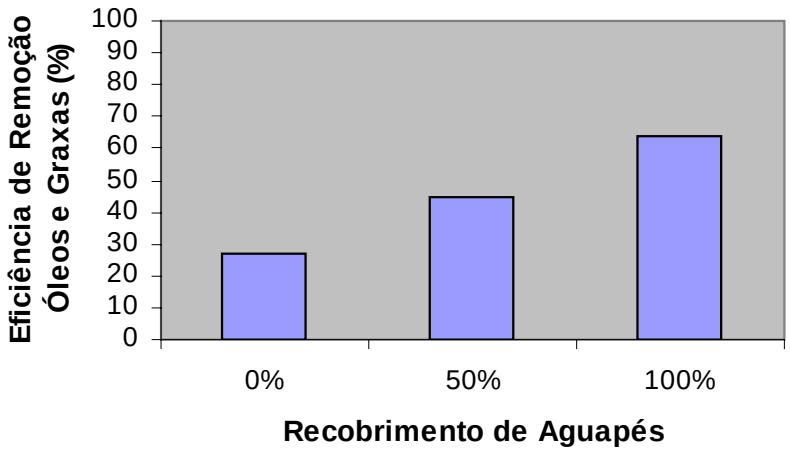

Figura 32. Eficiência de remoção de óleos e graxas em função do nível de recobrimento de aguapés

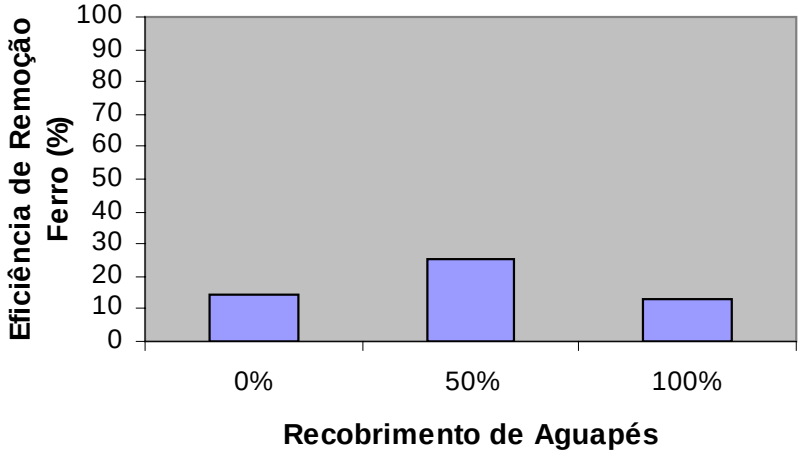

Figura 33. Eficiência de remoção de ferro em função do nível de recobrimento de aguapés

Tabela 4: Eficiência de remoção anual de sólidos suspensos, DQO, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total, óleos e graxas e ferro para a lagoa sem aguapés, com 50% de aguapés e com aguapés.

Parâmetro	0% Rec. de Aguapés			50% Rec. de Águapés			100% Rec. de Aguapés		
	Média		Efic. (%)	Média		Efic. (%)	Média		Efic. (%)
	Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)		Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)		Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)	
Sol. Susp	59	47	20,3	42	32	23,8	59	50,0	15,2
DQO	173	77	54,5	163	90	44,8	173	108	37,6
NKT	21,4	10,7	50,0	18,3	4,2	77,0	21,4	7,6	64,5
P	3,79	1,70	55,1	2,18	0,86	60,5	3,79	1,64	56,7
Óleos e graxas	11	8	27,3	9	5	44,4	11	4	63,6
Ferro	0,98	0,83	15,3	1,06	0,78	26,4	0,98	0,85	13,3

Tabela 5: Carga removida média anual de sólidos suspensos, DQO, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas e ferro para a lagoa sem aguapés, com 50% de aguapés e com aguapés, considerando uma vazão média de 5,2 m^3/dia.

Parâmetro	Carga Removida (g/dia)			Carga Removida por área (kg/ha.dia)		
	0% de Recob.	50% de Recob.	100% de Recob.	0% de Recob.	50% de Recob.	100% de Recob.
Sólidos Susp.	62,4	52,0	46,8	3,9	3,3	3,0
DQO	499,2	379,6	338,0	31,4	23,9	21,3
NKT	55,6	73,3	71,8	3,5	4,6	4,5
P	10,9	6,9	11,2	0,7	0,4	0,7
OG	15,6	20,8	36,4	1,0	1,3	2,3
Ferro	0,8	1,5	0,7	0,05	0,09	0,04

Tabela 6: Aplicação do teste "t" de Student para um nível de significância 0,1 na avaliação de diferenças significativas na qualidade final do efluente da lagoa sem aguapés, com 50% de recobrimento de aguapés.

Parâmetro	Média Final do Efluente de Saída		Resultado do teste "t"		
	0% de Rec. de Aguapés	50% de Rec. de Aguapés	t*	t_{crit}	
Sólidos Suspensos (mg/L)	47	32	1,2	1,4	Não significativo
DQO (mg/L)	77	90	0,5	1,4	Não significativo
NKT (mg/L)	10,7	4,2	1,5	1,4	Significativo
Fósforo total (mg/L)	1,70	0,86	1,2	1,4	Não significativo
Óleos e graxas (mg/L)	8	5	1,4	1,4	Significativo
Ferro (mg/L)	0,83	0,78	0,3	1,4	Não Significativo

Em relação à DQO, observou-se que a eficiência média anual de remoção foi de 54,5%, 44,8% e 37,6% para as lagoas sem aguapés, com 50% de aguapés e com aguapés, respectivamente. O melhor desempenho da lagoa sem aguapés foi evidenciado tanto pelos valores de eficiência de remoção como de carga removida. Isso é devido a dois fatores. O primeiro é a maior superfície livre que permite uma maior oxigenação do sistema e com isso a degradação da matéria orgânica solúvel por processos aeróbicos. O segundo é o fato de não haver problemas decorrentes da decomposição dos aguapés, que contribui na contabilização da carga orgânica.

Entretanto, a remoção de nitrogênio foi favorecida com a presença dos aguapés. A eficiência média de remoção anual foi de 50,0 %, 77,0% e 64,5% para as lagoas sem aguapés,com 50% de aguapés e com aguapés, respectivamente, indicando o melhor desempenho da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés. Os valores de carga removida mostram valores parecidos para as lagoas com 50% de recobrimento e com aguapés. Esses dados indicam que a introdução de aguapés na lagoa promove um acréscimo na remoção de nitrogênio. O melhor desempenho da lagoa com recobrimento parcial sugere que a combinação dos mecanismos de absorção de nitrogênio pelo aguapé, nitrificação-denitrificação e volatilização da amônia apresentam uma eficiência maior do que estes em isolado. Teoricamente, na lagoa sem aguapés deve predominar os mecanismos de volatilização da amônia e nitrificação-denitrificação, enquanto que na lagoa com aguapés deve predominar o mecanismo de absorção de nitrogênio pelos aguapés.

Em relação ao fósforo, os resultados de eficiência de remoção se assemelham aos do nitrogênio, porém as diferenças foram menores. A eficiência média de remoção anual foi de 55,1 %, 60,5% e 56.7% para as lagoas sem aguapés, com 50% de aguapés e com aguapés, respectivamente. Aparentemente, a melhor eficiência ocorreu com na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés. Entretanto, observando os valores de carga removida, os valores são muito parecidos. O pH da lagoa, nos três níveis de recobrimento, sempre manteve uma média de 7,1 a 7,2, não favorecendo o mecanismo de precipitação do fósforo que, entretanto, de alguma forma deve ocorrer.

A remoção de óleos e graxas no sistema foi influenciada pelo aumento do recobrimento de aguapés. Isso pode ser verificado tanto em termos eficiência de remoção como de carga removida. Os valores da eficiência média anual de remoção foram de 27,3%, 44,4% e 63,6% para as lagoas sem aguapés, com 50% de aguapés e com aguapés. Esse é um parâmetro pouco

abordado na literatura nos estudos de lagoas de aguapés. Pode-se verificar que as raízes dos aguapés atuam como uma rede filtrante, favorecendo a adsorção, e provavelmente a decomposição, dos óleos e graxas presentes.

A remoção de ferro também ocorreu na lagoa com os três níveis de recobrimento. A remoção média anual da lagoa sem aguapés foi de 15,3%, da lagoa com 50% de aguapés foi de 26,4% e da lagoa com aguapés foi de 13,3%. Entretanto, apesar dos valores indicarem a maior eficiência da lagoa com 50% de aguapés, como os valores de entrada e saída foram bastante baixos, essas diferenças não são tão evidentes.

Mesmo comprovada as tendências médias para os diferentes parâmetros em questão nos diferentes níveis de recobrimento, verificou-se que a variabilidade dos dados é bastante alta (vide Tabelas 1, 2 e 3). Assim, de posse dos resultados obtidos, realizou-se também uma análise das médias pelo teste "t" de Student (Tabela 5), onde procurou-se avaliar se as diferenças foram significativas nos valores de saída entre a lagoa sem recobrimento de aguapés e 50% de recobrimento de aguapés.

Optou-se por estas duas alternativas pelas seguintes razões: (a) a lagoa sem aguapés pode ser considerada como um sistema de controle no estudo da influência dos aguapés no sistema; (b) dados da literatura aconselham o uso de lagoas de aguapés com recobrimento parcial; (c) os resultados obtidos neste trabalho também indicam que, para a maioria dos parâmetros avaliados, a melhor eficiência é obtida com recobrimento parcial de aguapés.

Pelo teste estatístico, pode-se afirmar, com uma confiança de 90% ($\alpha = 0,1$), que houve uma diferença significativa nos valores de saída somente para os parâmetros nitrogênio e óleos e graxas. Observa-se também, que em relação ao fósforo e aos sólidos suspensos, o t^* se aproximou bastante do t_{crit}, indicando que as diferenças entre as médias podem ser significativas para um nível de confiança mais baixo. Para os parâmetros DQO e ferro, as diferenças entre os valores médios de saída não permitem afirmar diferenças significativas dentro da variabilidade dos resultados obtidos.

5.3. Influência das estações do ano na lagoa com 50% de aguapés

A Figura 34 apresenta a variação anual da temperatura da água, da lagoa em estudo, nos anos de 2003 e 2004. Pode-se observar que a temperatura da água foi mais alta nos meses de

janeiro, fevereiro e março, variando de 19 a 21°C, e foi mais baixa nos meses junho, julho e agosto, variando de 9 a 13°C, acompanhando o clima regional.

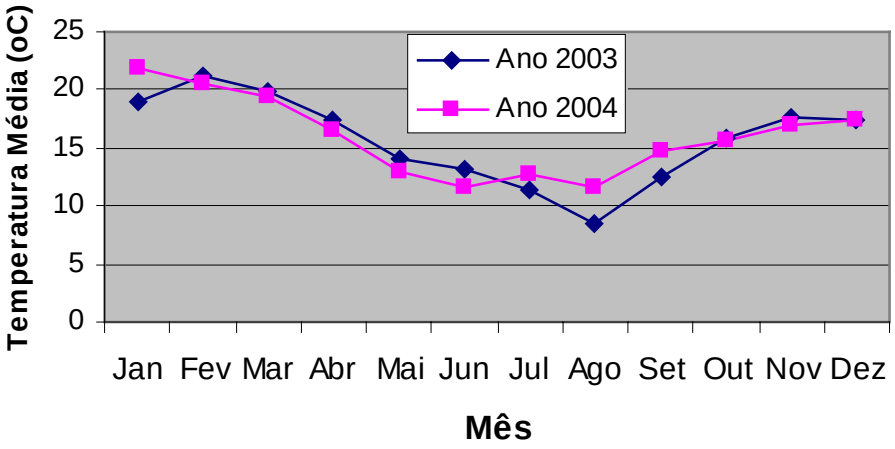

Figura 34. Variação da temperatura da água em função do mês do ano na lagoa de aguapés da Agrale nos anos de 2003 e 2004.

A Tabela 7 resume os dados de eficiência de remoção da lagoa com 50% de aguapés para os parâmetros sólidos suspensos, DQO, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total, óleos e graxas e ferro considerando as diferentes estações do ano; cujos dados também podem ser vistos em gráficos de colunas nas Figuras 35 a 40. A Tabela 8 resume os valores de carga removida.

A lagoa com 50% de recobrimento de aguapés apresentou um desempenho positivo na remoção de sólidos suspensos nos meses de outono, inverno e primavera, com valores de eficiência de remoção de 16,7 %, 26,3 % e 46,0%, respectivamente. Entretanto, no verão, a eficiência foi negativa, -6,8 %, ou seja, os valores médios no fluxo de saída foram maiores do que na entrada. Esse fato pode ser explicado pelo crescimento de algas, principalmente no verão, uma vez que metade da lagoa estava exposta à luz solar.

Em relação à DQO, observou-se valores altos de eficiência de remoção nas estações verão, outono e primavera, com valores de 63,9%, 52,0% e 40,0%, respectivamente. No inverno, a remoção média foi de apenas 2,7%. A influência da temperatura na remoção da DQO fica mais evidente se avaliarmos os valores de carga removida, demonstrando que no verão, onde a temperatura é mais alta, a remoção de matéria orgânica no sistema é maior. A razão para o baixo desempenho no inverno é devido a baixa temperatura e a liberação de matéria orgânica oriunda da decomposição dos aguapés.

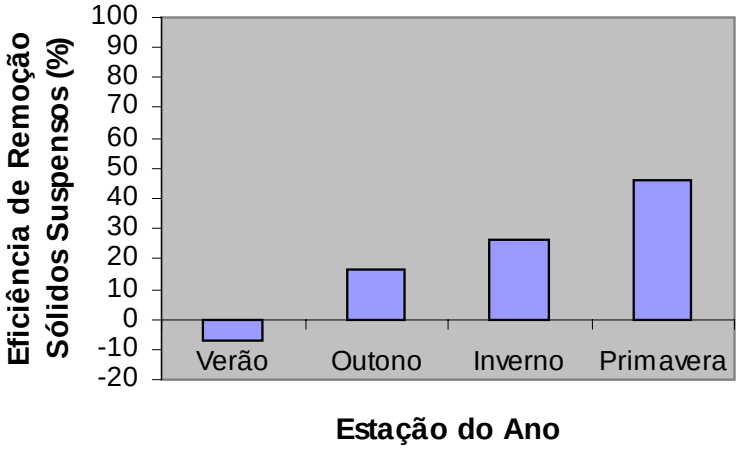

Figura 35. Eficiência de remoção de sólidos suspensos em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés.

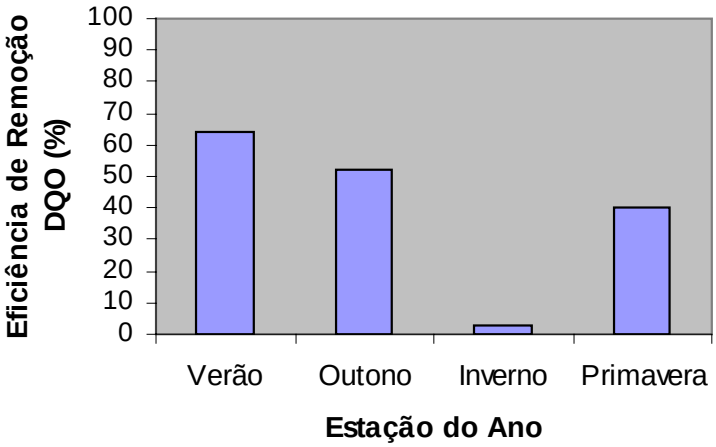

Figura 36. Eficiência de remoção de DQO em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés.

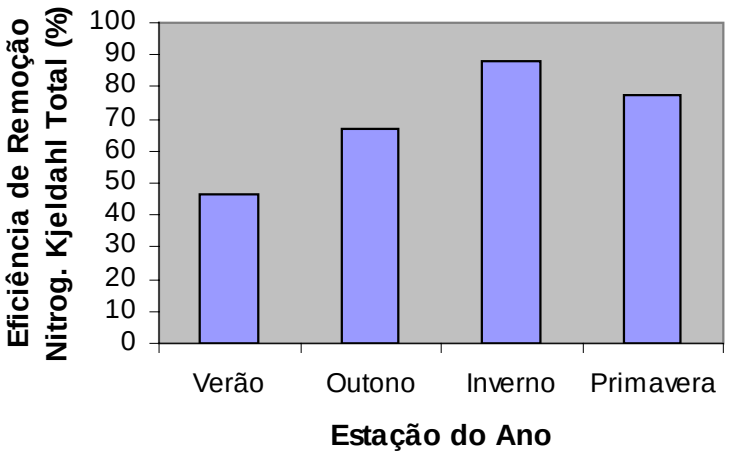

Figura 37. Eficiência de remoção de nitrogênio Kjeldahl total em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés.

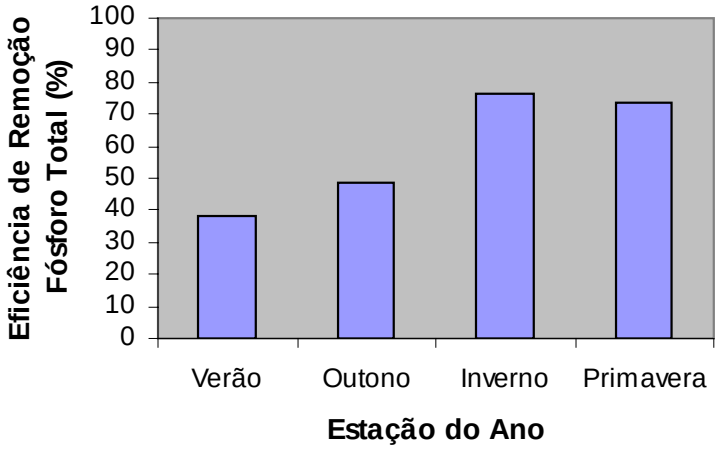

Figura 38. Eficiência de remoção de fósforo total em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés.

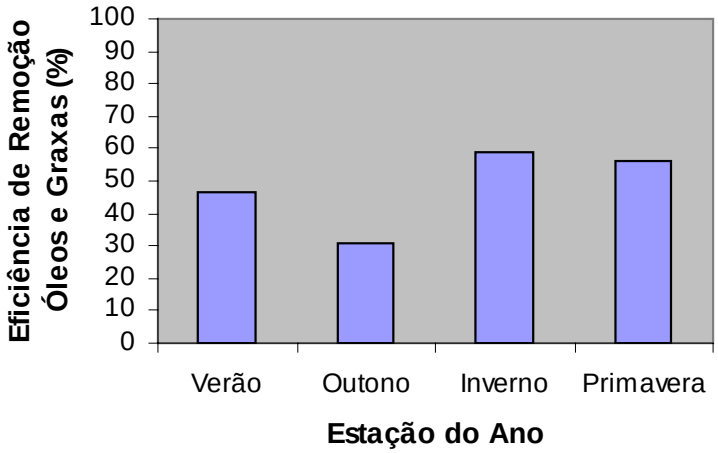

Figura 39. Eficiência de remoção de óleos e graxas em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés.

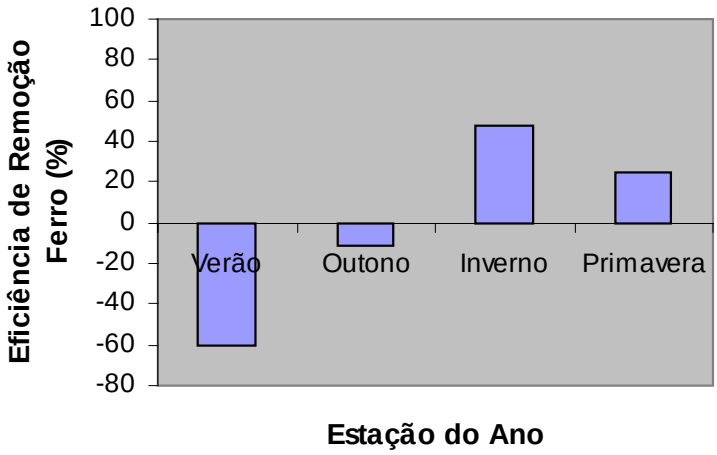

Figura 40. Eficiência de remoção ferro em função da estação do ano na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés.

Tabela 7. Eficiência de remoção de sólidos suspensos, DQO, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas e ferro para a lagoa com 50% de recobrimento de aguapés nas diferentes estações do ano.

Par.	Verão			Outono			Inverno			Primavera		
	Média		Efic. (%)	Média		Efic. (%)	Média		Efic. (%)	Média		Efic. (%)
	Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)		Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)		Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)		Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)	
SS	44	47	-6,8	35	30	16,7	38	28	26,3	50	27	46,0
DQO	233	84	63,9	173	83	52,0	110	107	2,7	145	87	40,0
NKT	10,3	5,5	46,6	8,2	2,7	67,1	29,7	3,5	88,2	23,5	5,3	77,4
P	2,76	1,46	38,1	1,72	0,88	48,8	1,85	0,43	76,7	2,82	0,75	73,4
ÓG	8,6	4,6	46,5	6,8	4,7	30,9	9,8	4,0	59,2	8,5	3,7	56,5
Ferro	0,33	0,53	-60,6	0,54	0,60	-11,1	2,21	1,16	47,5	1,02	0,77	24,5

Tabela 8. Carga removida média de sólidos suspensos, DQO, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas e ferro para a lagoa com 50% de recobrimento de aguapés nas diferentes estações do ano, considerando uma vazão média de 5,2 m^3/dia.

Parâmetro	Carga Removida (g/dia)				Carga Removida (kg/ha.dia)			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Sólidos Susp.	-15,6	26	52,0	119,6	-1,0	1,64	3,3	7,5
DQO	774,8	468,0	15,6	301,6	48,8	29,5	1,0	19,0
NKT	25,0	28,6	136,2	94,6	1,6	1,8	8,6	6,0
P	21,9	4,4	7,4	10,8	1,4	0,3	0,5	0,7
OG	20,8	10,9	30,2	25,0	1,3	0,7	1,9	1,6
Ferro	-1,0	-0,3	5,5	1,3	-0,06	-0,02	0,34	0,08

Tabela 9: Aplicação do teste "t" de Student para um nível de significância 0,1 na avaliação de diferenças significativas na qualidade final do efluente da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés entre as estações primavera/verão e outono/inverno.

Parâmetro	Média Final do Efluente de Saída		Resultado do teste "t"		
	Primavera Verão	Outono Inverno	T*	t_{crit}	Resultado
Sólidos Suspensos (mg/L)	36	29	0,5	1,4	Não significativo
DQO (mg/L)	85	95	0,3	1,4	Não significativo
Nitrogênio total (mg/L)	5,4	3,4	1,2	1,4	Não significativo
Fósforo total (mg/L)	1,07	0,66	1,3	1,4	Não significativo
Óleos e graxas (mg/L)	4	4	0,2	1,4	Não significativo
Ferro (mg/L)	0,66	0,88	1,1	1,4	Não significativo

Tabela 10: Aplicação do teste "t" de Student para um nível de significância 0,1 na avaliação de diferenças significativas na qualidade final do efluente da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés entre as estações verão/outono e inverno/primavera.

Parâmetro	Média Final do Efluente de Saída		Resultado do teste "t"		
	Verão Outono	Inverno Primavera	t*	t_{crit}	Resultado
Sólidos Suspensos (mg/L)	38	28	0,8	1,4	Não significativo
DQO (mg/L)	83	97	0,5	1,4	Não significativo
Nitrogênio total (mg/L)	4,0	4,4	0,3	1,4	Não significativo
Fósforo total (mg/L)	1,15	0,59	1,7	1,4	Significativo
Óleos e graxas (mg/L)	5	4	0,6	1,4	Não significativo
Ferro (mg/L)	0,57	0,97	2,1	1,4	Significativo

A remoção de nitrogênio foi eficaz durante todo o ano. Obteve-se uma eficiência média de remoção 46,6% no verão, 67,1% no outono, 88,2% no inverno e 77,4% na primavera. Ao observarmos também os valores de carga removida, verifica-se que a remoção de nitrogênio é claramente favorecida nas estações inverno e primavera.

Em relação ao fósforo, os resultados obtidos se assemelham ao do nitrogênio. A lagoa apresentou uma eficiência de 38,1 % no verão, 48,8 % no outono, de 76,7% no inverno e 73,4% na primavera. Os valores de carga removida comprovam também a mesma tendência. É interessante reparar que, como para o nitrogênio, os maiores valores de eficiência foram obtidos nos meses de inverno, seguido pelos meses de primavera.

A remoção de óleos e graxas apresentou valores significativos durante todo o ano. Os índices de eficiência obtidos foram de 46,5 % no verão, 30,9 % no outono, 59,2 no inverno e 56,5 na primavera. Os maiores índices de remoção, que podem ser observado tanto em termos de eficiência de remoção como de carga removida, ocorreram nas estações inverno e primavera. No inverno, a partir de julho até setembro, já se observa a renovação foliar e formação de novo sistema radicular, responsável pelo crescimento chamado vertical. Nos meses de primavera e verão, de outubro a janeiro, já se observa o crescimento horizontal dos aguapés, procurando ocupar espaço dentro da lagoa.

A remoção de ferro também é maior nos meses de inverno e primavera, quando ocorre a renovação do sistema radicular das plantas. Nos meses de verão e outono os valores médios de

eficiência foram negativos. Os valores obtidos foram de –60,65 % no verão, - 11,1 % no outono, 47,5 no inverno e 24,5 na primavera.

Com os dados obtidos, realizou-se também uma análise das médias pelo teste "t" de Student (Tabela 5, 9 e 10), considerando as seguintes situações: (a) estações com temperatura mais elevada x estações com temperatura mais baixa (primavera/verão x outono/inverno) e (b) período de elevação da temperatura na lagoa x período de diminuição da temperatura da lagoa (inverno/primavera x verão/outono).

Pelo teste estatístico não se pode afirmar que, com uma confiança de 90% ($\alpha = 0,1$) houve uma diferença significativa entre as estações primavera/verão e outono/inverno (ou seja estações com temperatura mais elevada e temperatura mais baixa, respectivamente) para todos os parâmetros analisados.

Porém, a realização do teste "t" de Student, também com uma confiança de 90% ($\alpha = 0,1$), demonstra que houve diferenças significativas nos valores médios de saída para os parâmetros fósforo e ferro quando comparado as estações inverno/primavera x verão/outono. Os valores médios de fósforo na saída foram menores no inverno/primavera e os valores de ferro menores no verão/outono. Para os parâmetros sólidos suspensos, DQO, nitrogênio e óleos e graxas, a variação dos resultados não permitem afirmar diferenças significativas entre as médias.

5.4. Desempenho e mecanismos envolvidos na remoção de poluentes da lagoa com 50% de recobrimento.

A Tabela 11 mostra os índices de eficiência medial anual de remoção de poluentes na lagoa com 50% de recobrimento. É importante aqui lembrar que a lagoa de aguapés da Agrale estava operando com uma taxa de aplicação superficial de 320 m^3/(ha.dia) e um tempo de detenção de 36 dias. Esse valor está enquadrado dentro do máximo previsto pela NBR 13969 (ABNT, 1997), que estabelece um máximo para lagoas de aguapés de 600 m^3/(ha.dia). Pode-se observar que, comparando os dados de entrada e saída, diferenças significativas foram encontradas para um nível de significância de 0,05 (ou com uma confiabilidade de 95%), em relação a DQO, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total e óleos e graxas. Em função da variabilidade dos resultados, diferenças significativas não foram encontradas para sólidos suspensos e ferro, não podendo-se afirmar com segurança que a lagoa é eficiente na redução destes parâmetros.

Os resultados apresentados anteriormente demonstram que a lagoa de aguapés remove sólidos suspensos nas estações de outono, inverno e primavera, porém pouco atua nesse sentido no verão. Mesmo assim, em uma avaliação global durante o ano, a média obtida foi de 23,8% de eficiência de remoção. Alguns autores afirmam que o sistema radicular dos aguapés (WOLVERTON e McDONALD, 1979a; COELHO, 1994) promove uma barreira filtrante, favorecendo a remoção de sólidos suspensos. Entretanto, como será visto a seguir, o sistema radicular na lagoa de aguapés da Agrale, pelo alto conteúdo de nitrogênio e fósforo, é pouco desenvolvido, não propiciando, em sua forma plena, este mecanismo.

Tabela 11: Aplicação do teste "t" de student para um nível de significância de 0,05 para avaliar possíveis diferenças significativas entre as médias de entrada e saída na lagoa com 50% de aguapés.

Parâmetro	Média		Eficiência Média de Remoção (%)	Resultados do teste "t"
	Entrada (mg/L)	Saída (mg/L)		
Sólidos Suspensos	42	32	23,8	Não significativo
DQO	163	90	44,8	Significativo
Nitrogênio Kjeldahl total	18,3	4,2	77,0	Significativo
Fósforo total	2,18	0,86	60,5	Significativo
Óleos e graxas	9	5	44,4	Significativo
Ferro	1,06	0.78	26,4	Não significativo

A remoção de DQO na lagoa também foi significativa, com uma média anual chegando a 44,8%. Entretanto, como avaliado anteriormente, se o maior objetivo da Empresa fosse a redução de DQO, a melhor opção seria o uso da lagoa sem aguapés, que nos experimentos apresentaram uma média anual de remoção de DQO de 54,5%. Porém, a alternativa de emprego de uma taxa de recobrimento de 50% de aguapés é razoável, atendendo de forma global a redução de carga orgânica e a remoção de nutrientes, objetivo principal desta etapa de tratamento.

A remoção de nitrogênio foi bastante eficiente na lagoa com 50% de recobrimento de aguapés, chegando a uma eficiência média anual de remoção de NKT de 77,0%. Como visto, o uso de aguapés realmente faz a diferença em relação a este parâmetro, pois a eficiência média anual da lagoa sem aguapés neste trabalho foi de 50%. Estudos realizados por outros autores também comprovam este comportamento. MOSSÉ et al (1980) obtiveram, no tratamento de esgotos doméstico, valores de remoção de nitrogênio total de 51% para uma lagoa de maturação sem aguapé e de 63% de remoção na lagoa de maturação com aguapés. Estudos de KAWAI e GRIECO (1982) também avaliaram de forma comparativa o uso de uma lagoa fotossintética e

uma lagoa de aguapés, e obtiveram valores de eficiência de remoção de nitrogênio de 32% para a primeira e de 52 % para segunda, considerando um tempo de detenção de 10 dias. Alguns outros exemplos de eficiência de remoção de nitrogênio em lagoas de aquapés são: William Creek (Texas) 64 a 70% (Td = 5 dias); Coral Spring (Flórida) 96% (Td = 6 dias), NASA (Flórida) 72% (Td = 54 dias), CETESB (São Paulo) 18 a 34% (Td = 2,5 a 10 dias) (KAWAI e GRIECO, 1983).

A remoção de fósforo também foi eficiente com a lagoa com 50% de recobrimento de aguapés, chegando a um valor médio anual de 60,5%. De forma diferente do nitrogênio, o aumento na eficiência de remoção não foi tão evidente quando comparado com a lagoa com 0% de aguapés, que apresentou uma média de remoção anual de 55,1%. Estudos realizados por outros autores realmente também mostram comportamento parecido. Estudos de KAWAI e GRIECO (1982) avaliaram de forma comparativa o uso de uma lagoa fotossintética e uma lagoa de aguapés, e obtiveram valores de eficiência de remoção de fósforo total de 35% para a primeira e de 58 % para segunda, considerando um tempo de detenção de 10 dias. Alguns outros exemplos de eficiência de remoção de fósforo em lagoas de aguapés são: Coral Spring (Flórida) 67% (Td = 6 dias), NASA (Flórida) 57% (Td = 54 dias), CETESB (São Paulo) 23 a 35% (Td = 2,5 a 10 dias) (KAWAI e GRIECO, 1983).

Os experimentos realizados na CESTESB por KAWAI e GRIECO (1983), no tratamento de esgoto doméstico em lagoas de aguapés, cuja temperatura média da água era sempre superior a 19^{o}C e um tempo de detenção que variou de 2,5 a 10 dias, obtiveram valores de carga removida que variaram de 12,5 a 18,1 kg/ha.dia para o nitrogênio e de 3,1 a 4,3 kg/ha.dia para o fósforo. Os valores de carga removida obtidos na lagoa da Agrale, com 50% de recobrimento, cuja temperatura da água variou de 9 a 21^{o}C e tempo de detenção é de 36 dias, foi de 4,6 kg/ha.dia para o nitrogênio e de 0,4 kg/ha.dia para o fósforo. Porém, deve-se observar que a carga aplicada nos experimentos da CETESB foi de 48 a 102 kg/ha.dia para o nitrogênio e de 12,5 a 18,1 kg/ha.dia para o fósforo, enquanto que a carga aplicada na lagoa da Agrale era de 7,0 kg/ha.dia para o nitrogênio e de 1,2 kg/ha.dia para o fósforo.

A Tabela 12 apresenta alguns resultados de análises de nitrogênio e fósforo, bem como de DQO, em amostras não filtradas e filtradas. O que se pode observar é que grande parte do N, do P e da DQO no efluente de entrada e de saída está na forma de material suspenso. Pelos índices de remoção obtidos, pode-se observar que grande parte do N e P suspenso de entrada são convertidos para amônia, nitrato e fosfato, formas absorvíveis desses nutrientes pelas plantas. Em relação aos valores de saída, pode se verificar também que uma significativa proporção

desses elementos sai na forma suspensa, como matéria vegetal em decomposição ou como algas e outros microrganismos em suspensão.

Tabela 12. Resultados de análise de nitrogênio Kjeldahl e fósforo total em amostras de entrada e saída da lagoa filtradas e não filtradas.

Coleta	Local	NKT (mg/L)	NKT solúvel (mg/L)	P total (mg/L)	P total solúvel (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO solúvel (mg/L)
1ª coleta	Entrada	1,2	1,1	0,64	0,13	80	42
(junho 2003)	Saída	0,3	0,3	0,61	0,08	28	19
2ª coleta	Entrada	40,3	5,6	2,60	0,09	-	-
(agosto 2003)	Saída	7,0	0,4	0,50	0,07	-	-

Tabela 13. Resultados de análise das diferentes formas de nitrogênio em amostras de entrada e saída da lagoa.

Coleta	Local	N orgânico (mg/L)	N-Nitrito (mg/L)	N-Nitrato (mg/L)	N amoniacal (mg/L)	N total (mg/L)
1ª coleta	Entrada	0,5	0,1	0,7	0,6	1,9
(junho 2003)	Saída	0,3	0,0	1,2	1,4	2,9
2ª coleta	Entrada	1,0	0,0	0,7	9,3	11,0
(novem 2003)	Saída	5,1	0,0	0,6	4,2	9,9

Tabela 13 apresenta os resultados da análise em duas amostras das diversas formas de nitrogênio presentes nos fluxos de entrada e saída. Como a assimilação do nitrogênio do meio aquoso pelos aguapés ocorre na forma de amônia e de nitratos, os processos de degradação da matéria orgânica são importantes na conversão do nitrogênio para as formas absorvíveis pelas plantas aquáticas. Essa transformação ocorre pela ação de microrganismos presentes no sistema, cuja decomposição da matéria orgânica é facilitada pela presença de uma área com maior incidência de luz solar e transferência de oxigênio. Nesse sentido, é importante a área descoberta da lagoa, pois apresenta influência nas reações de oxigenação do meio e conversão do nitrogênio orgânico e amoniacal em nitratos. Esse fato vem de encontro com conclusões de alguns outros autores. KAWAI e GRIECO (1983), no tratamento de esgoto doméstico, afirmam que o melhor nível de recobrimento de aguapés seria no valor de 70 % de recobrimento. Estudos em

laboratório realizados por BICH et al (1999) também mostraram que o melhor desempenho na remoção de nitrogênio total foram obtidos com 50% de recobrimento de aguapés.

A eficiência média de remoção de óleos e graxas na lagoa de aguapés com 50% de recobrimento foi marcante, com valor de 44,4%, superior ao da lagoa com 0% de aguapés, que chegou a somente a 27,3%. Provavelmente a adsorção do óleo nas raízes das plantas contribui significativamente na remoção desses componentes. A remoção de óleos em lagoa de aguapés é um aspecto pouco abordado na literatura, mas cuja eficácia foi demonstrada neste trabalho.

Estudos conduzidos por RIBEIRO et al (2000) já haviam mostrado que a biomassa do macrófito aquático *Salvinia* sp., que apresenta características hidrofóbicas, é um ótimo adsorvente para hidrocarbonetos, sendo comercializado atualmente na forma de SUPERSORB-BR. A Tabela 14 ilustra alguns resultados obtidos em estudos em coluna de percolação considerando a remoção de óleos e graxas na efluente de entrada da lagoa de aguapés ou no efluente de saída do tanque de quebra de emulsão. Pode-se observar que os níveis de remoção obtidos na lagoa de aguapés são parecidos aos obtidos na coluna com o SUPERSORB-BR, da ordem de 40%. O uso de carvão ativado permitiu a obtenção de resultados de 66% de eficiência de remoção. Deve-se ressaltar que o a operação da lagoa de aguapés é muito mais simples que o uso de meios adsorventes em colunas de percolação, ainda sem contar que não há custos de aquisição dos materiais sorventes. Porém, uma abordagem interessante seria o uso conjunto dos macrófitos *Eichhornia crassipes* e *Salvinia* sp em lagoas, talvez favorecendo ainda mais a remoção de óleos.

Complementando os dados obtidos, realizou-se também um estudo em colunas de adsorção considerando várias quantidades de material adsorvente na coluna (Tabela 15). Pode-se reparar que, quanto maior a massa de material colocado na coluna, maior a remoção de óleos, e que, em todas as quantidades aplicadas, o carvão ativado apresentou um melhor desempenho.

Tabela 14. Valores de remoção de óleos e graxas considerando a lagoa de aguapés e testes em coluna com SUPERSORB-BR e carvão ativado granulado (10 gramas para 1 L de efluente) em dois fluxos do efluente da Agrale.

Fluxo	Teste em coluna com SUPERSORB-BR			Teste em coluna com CAG			Lagoa com 50% de Aguapés (média)		
	Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)	Efic. (%)	Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)	Efic. (%)	Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)	Efic. (%)
Entrada da lagoa de polimento	12	7	41,6	12	4	66,6	9	5	44,4
Saída do tanque de quebra de emulsão	1542	653	57,6	1542	26	98,3	-	-	-

Tabela 15. Valores de remoção de óleos e graxas considerando várias concentrações de SUPERSORB-BR e carvão ativado em testes em coluna no tratamento da água de saída do tanque de quebra de emulsão.

Sorvente	Concentração	Ent. (mg/L)	Saída (mg/L)	Efic. (%)
SUPERSORB-BR	1 g / 1 Litro	1542	992	35,7
	5 g / 1 Litro	1542	653	57,6
	10 g / 1 Litro	1542	626	59,4
CAG	1 g / 1 Litro	1542	100	93,5
	5 g / 1 Litro	1542	26	98,3
	10 g / 1 Litro	1542	19	98,8

Os resultados da eficiência de remoção de ferro indicam que a média anual é de 26,4%. Devido à variabilidade dos resultados, não é possível afirmar que a diferença entre os valores de entrada e saída são significativos. A capacidade de remoção de metais por aguapés já foi demonstrada por vários autores (BOYD, 1970; WOLVERTON e McDONALD, 1979; DELGADO et al, 1993) e um mecanismo importante são as reações de troca iônica com grupos carboxila presentes nas raízes (SCHNEIDER e RUBIO, 1999). Entretanto, verifica-se nos resultados obtidos, que a remoção de ferro ocorre preferencialmente nas estações inverno e primavera, sendo que no verão e outono os valores obtidos são até negativos. Isso pode ser explicado pelo fato que no inverno e primavera há o surgimento de raízes novas, com novos sítios disponíveis para adsorção. Nas estações verão e outono, o ferro adsorvidos é eliminado pela degradação das raízes ou ser trocado por outros elementos que apresentam maior afinidade

pelo grupo carboxila, como por exemplo zinco e cobre (apesar de que esses elementos não estão presentes em grande quantidade no efluente).

A Tabela 16 apresenta alguns resultados de outros parâmetros analisados na lagoa, em uma amostra aleatória. Pode-se observar que a presença de surfactantes é baixa. Os valores dos metais Mn, Ni, Cu, Cr, Zn, Cd e Pb também são baixos, muitos não detectados pelo método de análise (absorção atômica por chama). Entretanto, pode-se observar que os níveis de manganês, zinco e chumbo diminuíram levemente. A concentração de bactérias do grupo coliforme também reduziu bastante ao longo da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés.

Por fim, pode-se também visualizar na Figura 41, o crescimento de carpas na lagoa. Mesmo sendo uma espécie resistente, demonstra que a água de saída se mostra propícia para o crescimento de peixes.

Tabela 16: Análise detalhada de vários parâmetros físico-químicos e microbiológicos de entrada e saída na lagoa de aguapés da Agrale S.A.

Parâmetro	Entrada	Saída	Portaria no 05 de 1989	Resolução CONAMA 357
PH	7,4	7,1	Entre 6,0 – 8,5	Entre 5,0 – 9,0
Turbidez (NTU)	9,4	7	-	-
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	< 1	< 1	< 1	< 1
Sólidos Suspensos (mg/L)	40	10	< 180*	-
Surfactantes (mg/L)	0,31	0,28	< 2	-
Óleos e Graxas (mg/L)	9	1	< 10*	< 20
DQO (mg/L)	39	33	< 405*	-
Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L)	10,3	9,3	< 10*	< 20
P total (mg/L)	1,4	0,9	< 1*	-
Fe (mg/L)	1,6	1,6	< 10	< 15
Mn (mg/L)	0,4	0,2	< 2	< 1
Ni (mg/L)	< 0,04	< 0,04	< 1	< 2
Cu (mg/L)	< 0,06	< 0,06	< 0,5	< 1,0
Zn (mg/L)	0,08	0,06	< 1	< 5,0
Cr (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,5	< 0,5
Cd (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,2
Pb (mg/L)	0,06	0,05	< 0,5	< 0,5
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	7.000	400	300	-
Coliformes totais (NMP/100 mL)	< 160.000	< 160.000	-	-

* Valor estabelecido na LO da FEPAM.

Figura 41. Carpas na Lagoa de Aguapés.

5.5. Caracterização da biomassa de aguapés

Na lagoa de aguapés, observaram-se alguns aspectos já esperados, mas que merecem registro. A renovação das plantas começa no mês de agosto, se estendendo para os meses de setembro e outubro, quando se verifica o aparecimento de folhas novas e as plantas ficam todas "verdes", caracterizando crescimento predominantemente vertical. No mês de novembro inicia o crescimento horizontal, havendo uma expansão da biomassa de aguapés na superfície da lagoa. Esta etapa se prolonga até o mês de fevereiro, tendo o seu ápice em janeiro. Em março e abril, parece haver um período de estagnação. As plantas permanecem verdes, porém há a inibição do crescimento, mesmo sendo um período onde a temperatura da água ainda é elevada. Em maio, com a chegada do frio, as plantas perdem o viço. Esse processo se estende até julho, quando a lagoa fica "amorronada", porém não há a morte das plantas. A Figura 42 ilustra o aspecto das plantas em duas estações do ano, onde no inverno as plantas apresentam-se "queimadas" e na primavera já bem "verdes".

Junho 2003

Novembro 2003

Figura 42. Detalhes da lagoa de aguapés no inverno e primavera.

A Figura 43 mostra, em um gráfico de colunas, a biomassa de aguapés retirada da lagoa ao longo de um ano, quando operava com um nível de recobrimento de 50%. No mês de janeiro de 2003, ápice do crescimento horizontal das plantas, retirou-se 10 toneladas de aguapés da lagoa em base úmida. Levando em consideração que apresentam cerca de 95% de umidade (Tabela 1), recolheu-se nesse mês 500 kg de massa seca de aguapés.

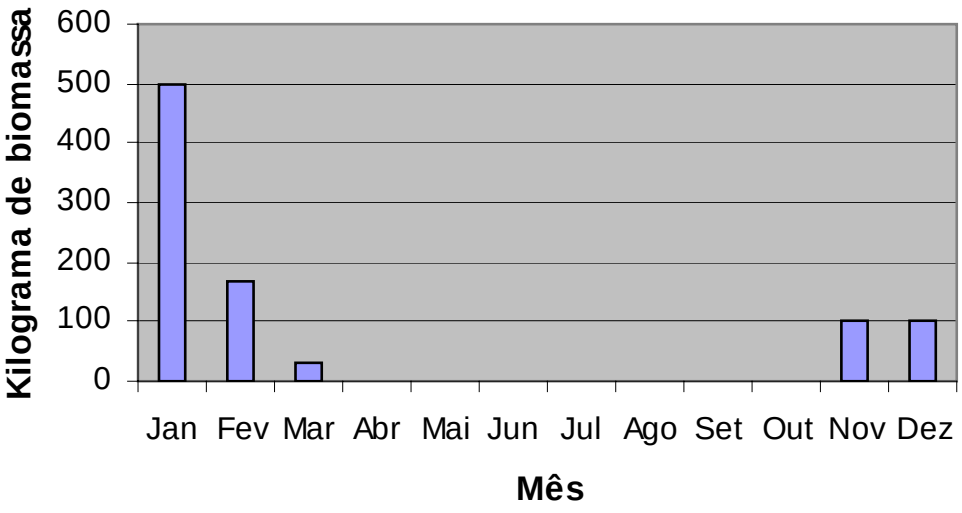

Figura 43. Produção da biomassa de aguapés ao longo do ano de 2003 na Agrale.

Somando-se os valores, chegou se a um valor anual de aguapés retirados de 900 kg. A média anual de crescimento é 150 kg/(ha.dia), porém, em janeiro, este valor chegou a 1000 kg/(ha.dia). Esses valores podem ser comparados com os dados da literatura. REDDY e DeBUSK (1987) reportam valores médios de produção de 164 a 301 kg/(ha.dia) nas condições climáticas da Flórida – EUA. Nas condições brasileiras, KAWAI e GRIECO (1983) e KAWAI *et al*. (1987) obtiveram valores de produção de 210-250 kg/(ha.dia) em uma unidade de tratamento de esgotos em São Paulo. COELHO (1994) reporta valores de até 1000 kg/(ha.dia) em locais com condições ótimas de nutrientes e temperatura.

A partir da composição dos aguapés (Tabela 17), principalmente em relação ao nitrogênio e fósforo, pode-se calcular a quantidade absorvida desses elementos pelas plantas. Considerando que a biomassa apresenta, em média, 2,2 % de nitrogênio, a quantidade de nitrogênio assimilada pelas plantas foi de 19,8 kg/ano. Sabendo que a carga anual removida média de nitrogênio na lagoa foi de 26,7 kg/ano (ou 73,3 g/dia, Tabela 5), pode-se dizer que 74% do NKT removido da lagoa ocorreu pela assimilação das plantas, ficando os 26 % restantes devido aos mecanismos de volatilização da amônia e ao processo de nitrificação-denitrificação. Da mesma forma, sabendo que a biomassa apresenta 0,85% de fósforo, a quantidade absorvida por esse elemento foi de 7,65 kg/ano. Sabendo que a carga anual removida média de fósforo na lagoa foi de 2,5 kg/ano (ou 6,9 g/dia, Tabela 5), verifica-se um valor contraditório, que somente pode ser explicado pela existência de um suprimento de fósforo no sedimento da lagoa.

A Tabela 17 mostra a análise elementar de duas amostras de aguapé coletado na ETE da Agrale, que pode ser comparado com uma amostra de aguapés coletada na barragem do Campus do Vale da UFRGS (exemplo de aguapé coletado em corpo d´água eutrofizado por esgoto doméstico) e por aguapés coletados no meio natural a partir do trabalho de BOYD et al (1970). Pode–se observar que, em relação aos elementos N, K, Ca, Mg, S, □é e Na, a composição dos aguapés da Agrale está dentro dos limites mínimo e máximo dos registrados por BOYD et al (197). Porém, apresenta uma maior concentração de P, B e dos metais Cu, Zn e Mn.

Tabela 17. Análise elementar do aguapé coletado.

Elemento	(Amostra Agrale 1)	(Amostra Agrale 2)	Amostra Campus do Vale	Flórida (Boyd et al, 1971)		
				Min	Média	Máx
N (%)	1,9	2,5	2,4	1,33	2,39	3,33
P (%)	0,84	0,87	0,62	0,14	0,54	0,80
K (%)	3,5	2,8	3,8	1,60	4,45	6,70
Ca (%)	1,8	2,0	1,6	0,66	1,35	2,10
Mg (%)	0,49	0,52	0,59	0,20	0,55	0,88
S (%)	0,45	0,36	0,51	0,37	0,37	0,63
Cu (mg/kg)	34	511	6	7	15	100
Zn (mg/kg)	442	304	50	25	67	209
Fe (mg/kg)	7267	3700	6000	522	3420	14440
Mn (mg/kg)	2099	2000	910	87	270	400
Na (mg/kg)	6215	4400	11000	1700	4100	7500
B (mg/kg)	39	31	16	15	20	25
Cd (mg/kg)	< 1	< 1	< 1	-	-	-
Cr (mg/kg)	< 5	<7	< 5	-	-	-
Ni (mg/kg)	< 5	< 5	< 5	-	-	-
Pb (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	-	-	-

* O aguapé da Agrale estava exposto na lagoa há 4 meses.

A relação nitrogênio:fósforo, para as amostras da Agrale, é de 2,3 para a amostra 1 e de 2,9 para a amostra 2, enquanto que na amostra coletada no Campus do Vale é de 3,9. ROGER e DAVIS (1972) E WOLVERTON e McDONALD (1979b), em seus experimentos, encontraram valores da relação nitrogêno:fósforo entre 6:1 e 5:1.

A maior quantidade de fósforo encontrados nos aguapés da lagoa da Agrale é decorrente da maior concentração deste elemento do que no meio natural. Em um dos primeiros trabalhos

sobre aguapés, DYMOND, em 1948, já reparou que a concentração de fósforo na biomassa pode aumentar substancialmente quando as plantas crescem em ambiente rico nesse nutriente. A maior concentração dos metais Cu, Zn e Mn, em relação a plantas coletadas na Flórida e no Campus do Vale da UFRGS, também é explicada pela maior disponibilidades destes elementos no efluente industrial. Muito provavelmente, o efluente de uma empresa do ramo metal-mecânico deve apresentar uma maior concentração de metais. A acumulação de metais pela *Eichhornia crassipes* já foi também observada em muitos trabalhos (BOYD et al, 1970; WOLVERTON e McDONALD, 1979a; DELGADO et al, 1993). A assimilação desses metais na biomassa pode ocorrer por processos metabólicos ou simplesmente por uma reação de troca iônica (SCHNEIDER e RUBIO, 1999).

Entretanto, a questão dos metais pesados não preocupam. Os limites de metais pesados para o uso de lodo biológico como composoto agrícola fixados pela SANEPAR são: Zn - 2500 mg/kg, Cu – 1000 mg/kg, Ni – 300 mg/kg, Cr – 1000 mg/kg, Cd – 20 mg/kg, Pb – 750 mg/kg, Hg – 16 mg/kg. Os valores obtidos na biomassa de aguapés da Agrale estão bem abaixo disso (SANEPAR apud PROSAB, 1999a).

5.6. Produção de um composto orgânico.

A Tabela 17 mostra a composição da biomassa de aguapés após o processo de compostagem por um período de 3 meses. Observa-se que os compostos, sem lodo da ETE e com o lodo da ETE, apresentaram composição semelhante. Ambos atendem aos quesitos da portaria número 1 de quatro de março de 1983, que define alguns parâmetros que devem ser respeitados para o composto em geral. A única exceção é a umidade, que facilmente pode ser corrigido. Observou-se, também, que a mistura do aguapé com 10% de lodo não proporcionou diferenças marcantes ao composto obtido somente com aguapés.

A Tabela 18 apresenta as características dos compostos de aguapés produzidos na Agrale com o obtido em estudos da CETESB com aguapés obtidos em um braço do reservatório Tietê a região de Novo Horizonte (SP) (Gomes et al, 1987) e com os obtidos em misturas entre lodos biológicos com podas de árvores e bagaço de cana (PROSAB, 1999a).

Tabela 18. Análise da biomassa do aguapé da Agrale antes e após compostagem.

Elemento	(Aguapé "in natura")	Composto de aguapé	Composto de aguapé com lodo	Portaria nº 1 de 4/03/1983.
Umidade (%)	95	74	53	Máx. 40 %
pH	7,6	8,8	9	Min. 6,0 %
C orgânico (%)	36	31	28	-
N (%)	2,5	2,5	2,2	Min. 1,0 %
Relação C/N	14,4/1	12,4/1	12,7/1	Max 18/1
P (%)	0,87	1,3	1,1	-
K (%)	2,8	5,4	4,2	-
Ca (%)	2,0	2,3	2,1	-
Mg (%)	0,52	0,7	0,62	-
S (%)	0,36	0,64	0,56	-
Cu (mg/kg)	511	472	485	-
Zn (mg/kg)	304	346	328	-
Fe (mg/kg)	3700	8200	1400	-
Mn (mg/kg)	2000	2700	2300	-
Na (mg/kg)	4400	1000	8200	-
B (mg/kg)	31	32	31	-

Tabela 19. Análise dos compostos de aguapés obtidos na Agrale comparada com outros compostos citados na literatura.

Elemento	Aguapé (Agrale)	Aguapé e lodo aerob. (Agrale)	Aguapé (CETESB)	Aguapé e ester. gal. (CETESB)	Lodo anaer. e podas de árvor (PROSAB)	Lodo aeróbio e bagaço de cana (PROSAB)
Umidade	74	53	78	82	40	35
pH	8,8	9	6,4	7,7	7,0	6,5
C. Org. (%)	36	31	22,8	18,5	-	-
N (%)	2,5	2,2	0,9	1,1	3,1	1,1
P (%)	1,3	1,1	0,1	0,3	0,5	0,4
K (%)	5,4	4,2	1,1	1,9	0,4	0,2
Ca (%)	2,3	2,1	-	-	1,0	0,7
Mg (%)	0,7	0,6	-	-	0,2	0,2
S (%)	0,64	0,56	-	-	0,72	-
C/N	12,4/1	12,7/1	25,3	17,0	12,0/1	12/1

Comparando-se os resultados, pode-se verificar que os compostos obtidos na Agrale são mais alcalinos e mais ricos em carbono orgânico, nitrogênio, fósforo, potássio que o lodo obtido a partir de aguapés nos estudos da CETESB. Ainda a relação C/N é menor, o que também é favorável. Na verdade, as características do composto obtido na Agrale estão mais parecidas com os obtidos com lodo anaeróbio e podas de árvores e do lodo aeróbio e bagaço de -cana listados por PROSAB (1999a).

Deve-se ressaltar que, nos estudos realizados por GOMES et al (1987) na CESTESB, os autores concluíram que os aguapés podem facilmente ser transformado em composto. Na avaliação do uso do composto de aguapés no plantio de trigo, os resultados de produtividade revelaram valores maiores para o composto fermentado com esterco. Entretanto, estudos de viabilidade econômica apontaram que seu alto custo de produção desestimularia sua comercialização em larga escala.

Porém, o composto de aguapés obtidos na Agrale foi bem mais rico, enquadrando-se nos padrões da portaria sem, necessariamente, adição de um outro material mais rico em nutrientes. Talvez, os aguapés produzidos na Agrale sejam diferenciados em função das características do efluente, mais rico em nutrientes do que a água na barragem do Tietê. O composto produzido foi facilmente introduzido nos gramados e canteiros da Empresa. Não foi realizado nenhum experimento de crescimento vegetal com o composto, pois, o principal objetivo era simples eliminação dos aguapés.

Figura 44. Composto orgânico obtido a partir da biomassa de aguapés.

Pode-se por fim dizer que o uso e manejo de lodo biológico de esgoto na agricultura tem sido alvo de intensos estudos, onde o uso de um material suporte para a compostagem é bastante importante (PROSAB, 1999a; PROSAB, 1999b; ANDREOLI et al, 1999). Entre os materiais estruturantes empregados estão os resíduos de podas de árvores, bagaço-de-cana, cascas de cafés, serragem de madeira, palhas de trigo e sabugo de milho. Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que o aguapé pode encontrar uma importante aplicação como um material estruturante para a compostagem de biossólidos.

5. CONCLUSÕES

a) A existência de uma lagoa estabilização para fins de polimento é importante na estação de tratamento de efluentes da Agrale, pois reduz consideravelmente o número de não conformidades na qualidade do efluente final em termos de concentração de DQO, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas e metais pesados.

b) Os valores médios anuais de eficiência de remoção obtidos nos diferentes níveis de recobrimento da lagoa de aguapés foram:

Parâmetro	0% de aguapés	50% de aguapés	100% de aguapés
Sólidos Suspensos (%)	20,3	23,8	15,2
DQO (%)	54,5	44,8	37,6
Nitrog. Kjeldahl Total (%)	50,0	77,0	64,5
Fósforo Total	55,1	60,5	56,7
Óleos e Graxas	27,3	44,4	63,6
Ferro	15,3	26,4	13,3

A lagoa sem aguapés apresentou o melhor resultado em relação ao parâmetro DQO. A lagoa com 50% de recobrimento de aguapés apresentou os melhores valores em relação à sólidos suspensos, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total e ferro. A lagoa com aguapés apresentou os melhores resultados em relação à remoção de óleos e graxas. Entretanto, como a função primordial da lagoa era a remoção de nutrientes, considerou-se que, para o caso da ETE da Agrale, a melhor opção é a operação com um nível de 50% de recobrimento de aguapés.

c) Testes estatísticos entre médias do efluente de saída ($\alpha = 0,1$), quando comparadas as lagoas sem aguapés com a de 50% de recobrimento de aguapés, permitem somente afirmar que diferenças significativas ocorreram em relação aos parâmetros nitrogênio e óleos e graxas.

d) Com relação às estações do ano na lagoa com 50% de aguapés, alguns fatos foram constatados: eficiência negativa de remoção de sólidos suspensos no verão e

positiva no outono, inverno e verão; eficiência nula de remoção de DQO no inverno, mas positiva na primavera, verão e outono. Eficiências de remoção de nitrogênio e fósforo acima de 40% durante todo o ano e acima de 70% no inverno e primavera. Eficiências de remoção acima de 30% de óleos e graxas durante todo o ano. Eficiências negativas de remoção de ferro no verão e outono e positivas no inverno e primavera.

e) Testes estatísticos entre médias ($\alpha = 0,1$) demonstraram não haver diferenças significativas nos índices de saída para todos os parâmetros avaliados quando comparadas as estações onde a temperatura da água é mais quente (primavera e verão) com as estações onde a temperatura da água é mais fria (outono e inverno).

f) Testes estatísticos entre médias ($\alpha = 0,1$) mostraram, que os índices de fósforo no efluente de saída são menores no período de aumento da insolação (inverno e primavera) do que no período de diminuição da insolação (verão e outono), o inverso ocorrendo para o ferro. Para os demais parâmetros, não houve diferenças significativas entre as médias.

g) A operação da lagoa de aguapés é simples, requerendo somente a manutenção periódica em relação à retirado do excesso de plantas na lagoa. Melhorias poderiam ser efetuadas pela retirada do excesso de plantas mortas e pedaços de folhas a fim de não incorporar carga orgânica ao sistema;

h) Os processos bioquímicos envolvidos em torno da lagoa de aguapés da Agrale são muito dinâmicos e nem sempre o que está descrito na teoria ocorreu na prática. Verificou-se que durante o inverno (julho, agosto e setembro) foi onde ocorreu a maior eficiência de remoção do nitrogênio e fósforo. Assim, presume-se que vários mecanismos ocorrem ao mesmo tempo dentro deste sistema. Os dados obtidos demonstram que é importante um percentual de área livre de aguapés para a oxigenação do sistema, tanto para aumentar a difusão do oxigênio atmosférico como aumentar a incidência de luz solar para a produção de oxigênio pelas algas;

i) Em relação à remoção de óleos e graxas, a lagoa de aguapés apresentou níveis de remoção de óleos e graxas de 41%, semelhantes aos obtidos com o uso de um

material adsorvente à base de plantas aquáticas, empregado em colunas de percolação, desenvolvido para o controle da poluição em derramamento de óleos.

j) Levando em consideração as condições climáticas de Caxias do Sul, pode-se afirmar que o crescimento horizontal dos aguapés ocorre no período de novembro a março, sendo que a maior crescimento ocorre durante o mês de janeiro. A média anual de crescimento é 150 kg/(ha.dia), porém, em janeiro, este valor chega a 1000 kg/(ha.dia).

k) A biomassa de aguapés retirada na lagoa da Agrale apresenta-se com composição parecida com a de aguapés retirados do meio natural e de lagoas eutrofizadas com esgoto doméstico. Não se apresenta contaminada com metais pesados, possibilitando o seu descarte através da transformação em composto agrícola.

l) O composto de aguapés obtidos na Agrale atende aos Padrões da Portaria número 1 de 04/03/1983. O material pode ser facilmente descartado pela simples introdução nos canteiros e gramados na Empresa.

m) O uso de lagoa de aguapés é uma alternativa viável no polimento final de efluentes do setor metal-mecânico. A lagoa de aguapés auxilia na remoção nutrientes (nitrogênio e fósforo), óleos e graxas e concentrações residuais de metais pesados; apresentando sucesso nas condições climáticas de Caxias do Sul, RS.

n) A biomassa de aguapés deve ser retirada da lagoa no momento da sua reprodução, ou seja, durante o monitoramento da lagoa com 50% de recobrimento de aguapés, ao perceber que o volume de plantas está ultrapassando o nível de 50% de sua área superficial, deve-se retirar este excesso. Também, todas as aguapés mortas devem ser retirados da lagoa, a fim de evitar aumento da DQO na saída do efluente.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

(a) Avaliar a eficiência da lagoa de aguapés considerando diferentes taxas de aplicação superficial;

(b) Avaliar a eficiência da lagoa de aguapés em sistemas mistos com *Eichhornia crassipes* e *Salvinia* sp.

(c) Estudo mais detalhado do ciclo anual de crescimento dos aguapés nas condições climáticas do Rio Grande do Sul.

(d) Estudos em escala real de remoção de óleos e graxas com carvão ativado e biomassas secas de plantas aquáticas na remoção de óleos e graxas no efluente de saída do tanque de quebra de emulsões.

(e) Avaliar o tempo de permanência, de residência e idade dos aguapés.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. *Tanques Sépticos. Unidades de Tratamento Complementares*. NBR 13969. Rio de Janeiro, 1997.

2. ALVARADO, G.R.P.; FASANARO, R. Aguapés: Sua Aplicação no Tratamento Biológico dos Esgotos e na Produção de Energia Alternativa. *Engenharia Sanitária*, v.19, n.1, p.68-69, 1980.

3. ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. *Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em Soluções*. Curitiba: Sanepar, Finep, 1999. 288p.

4. APHA, *Standard Methods for Water and Wastewater Analysis*. Washington, 1999.

5. AOAC. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists*. 13th Edition. Washington: William Horwitz, 1980.

6. BASAK, M.N. Water Hyacinth Compost. In: Little, E.D.S. (Ed). *Handbood of Utilization of Aquatic Plants*. Roma: FAO, 1978.

7. BAVARESCO, A.S.L.; MEDRI, W.; COSTA, R.H.R. Lagoas de Aguapés no Tratamento Terciário de Dejetos de Suínos. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999. CD ROM... ABES, Rio de Janeiro, Trabalho I-148, 1999.

8. BENEMANN, J.R. Energy from Wastewater Aquaculture Systems. In: *Aquaculture Systems for Wastewater Treatment*. Proceedings. Washington, EPA, 1980, p.441-458.

9. BICH, N.N.; YAZIZ, M.I.; BAKTI, N.A.K. Combination of *Chlorella vulgaris* and *Eichhornia crassipes* for Wastewater Nitrogen Removal. *Water Research*, v.33, n.10, p.2357-2362, 1999.

10. BOHNENBERGER, J.C. *A Problemática dos Curtumes Gaúchos, Face à Preservação dos Recursos Hídricos*. Dissertação de Mestrado: UFRGS, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1980. 145p.

11. BOYD, C.E. Vascular Aquatic Plants for Mineral Nutrient Removal form Polluted Waters. *Economy Botany*, v.24, p.95-104, 1970.

12. BRANCO, S.M.; BERNARDES, R.S. Culturas Hidropônicas como Forma de Remoção e Reciclagem de Nutrientes Minerais dos Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos. Revista DAE, n.134, p.113-115, 1983.

13. CHATTERJEE, I.; ABDUL HYE, M.D. Can Water Hyacinth by Used as a Cattle Feed? In: LITTLE, E.C.S. (Ed.) *Handbook of Utilization of Aquatic Plants*. Roma: FAO, p.28-32, 1968.

14. COELHO, T. Aguapé: Bom, Bonito e Barato. *Ecologia e Desenvolvimento*, n.38, p.1-4, 1994.

15. CORNWELL, D.A.; ZOLTEK. J.; PATRINELY, D.; FURMAN, T.; KIM, J. Nutrient removal by water hyacinth. *Journal WPCF*, v.49, n.1, p.57-65, 1977.

16. DELGADO, M.; BIGERIEGO, M.; GUARDIOLA, E. Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths. *Water Research*, v.27, n.2, p.269-272, 1993.

17. DINGES, R. Upgrading stabilization pond effluent by water hyacinth culture. *Journal WPCF*, v.50, n.5, p.833-845, 1978.

18. DYMOND, G.C. *The Water Hyacinth – A Cinderella of the Plant World. Soil Fertility and Sewage*. New York: Dover Publication, 1948.

19. GAJALAKSHMI, S.; RAMASAMY,E.V., ABBASI, S.A. High-rate composting-vermicomposting of water hyacinth (Eichhornia crassipes, Mart Solms). *Bioresource Technology*, v.83, p.235-239, 2002.

20. GOMES, J.A.; KAWAI, H.; JAHNEL, M.Estudo Piloto sobre Obtenção de Composto Orgânico a Partir do Aguapé. *Ambiente*, v.1., n.1., p.12-17, 1987.

21. HESS, M.L. Inovação e Criação de Tecnologia Brasileira no Tratamento de Águas Residuárias Domésticas e Industriais. In: 10º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Manaus, AM. Anais... ABES, 1979.

22. HOSSAIN, W. Investigation on Water Hyacinth as a Fodder. In: LITTLE, E.C.S. (Ed.) *Handbook of Utilization of Aquatic Plants*. Roma: FAO, p.37-42, 1968.

23. JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. *Tratamento de esgotos domésticos*. Rio de Janeiro: ABES, 1985.

24. KAWAI, H.; GRIECO, V.W. Tratabilidade de poluentes em lagoa fotossintética acelerada e aproveitamento do potencial protéico de algas. *Revista DAE*, n.128, 1982.

25. KAWAI, H.; GRIECO, V.M. Utilização do Aguapé para Tratamento de Esgoto Doméstico. Estabelecimento de Critérios de Dimensionamento da Lagoa de Aguapé e Abordagem de Alguns Parâmetros Operacionais. *Revista DAE*, n.135, p.79-90, 1983.

26. KAWAI, H.; UEHARA, M.Y.; GOMES, J.A.; JAHNEL, M.C.; ROSSETO, R.; ALEM, P.; RIBEIRO, M.D.; TINEL, P.R.; GRIECO, V.M. Pilot-Scale Experiments in Water Hyacinth Lagoons for Wastewater Treatment. *Water Science Technology*, v.19, n.10, p.129-173, 1987.

27. KIEHL, E.J. Composto de Aguapé. *O Estado de São Paulo*. 1º de novembro de 1978. Suplemento Agrícola, p.7.

28. KISSMANN, K.G. *Plantas Infestantes e Nocivas*. Tomo I. São Paulo: BASF Brasileira S.A., 1991, 608p.

29. MOSSÉ, R.A.; CHAGAS, J.M.; TERRA, A. R.S. Utilização de Lagoas de Maturação com Aguapé (*Eichhornia crassipes*) na Remoção de Algas e Coliformes em Efluentes de Lagoas de Estabilização. *Engenharia Sanitária*, v.19, n.72-76, p.72-76, 1980.

30. POMPEO, M.L.M. Culturas Hidropônicas, uma Alternativa Não uma Solução. *Anais do Seminário Regional de Ecologia*, São Carlos, SC, v.8, p.73-80, 1996.

31. PROSAB. *Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos*. Rio de Janeiro: ABES, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999a. 84p.

32. PROSAB. *Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura*. Rio de Janeiro: PROSAB, Programa de Pesquisa em Saneamento, 1999b. 97p.

33. REDDY, K.R.; DeBUSK, T.A. State-of-the-Art of Utilization of Aquatic Plants in Water Pollution Control. *Water Science Technology*, v.19, n.10, p.1-79, 1987.

34. RIBEIRO, T.M.H.; RUBIO, J.; SMITH, R.W. Sorption of Oils by the Non Living Biomass of a Salvinia sp. *Environmental Science & Technology*, v.34, n.24, p.5201-5205, 2000.

35. RIBEIRO, T.M.H. Sorção de Petróleos na Biomassa Seca do Macrófito Aquático *Salvinia herzogii*. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas Metalúrgica e Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

36. RIBEIRO,M.D.; KAWAI, H. TINEL, P.R.; ROSSETTO, R. Experimento-Piloto da Lagoa de Aguapés para Tratamento de Esgoto Bruto. *Revista DAE*, v.46, n.144, p. 82-86, 1986.

37. ROMITELLI, M.S. Remoção de Fósforo em Efluentes Secundários com Emprego de Macrófitas Aquáticas do Gênero *Eichhornia*. *Revista DAE*, n.133, p.66-88, 1983.

38. ROGERS, H.H.; DAVIS, D.E. Nutrient removal by water hyacinth. *Weed Science*, v.20, n.5., p.423-427, 1972.

39. ROTHENBERG, R.I. *Probability and Statistics*. San Diego: HBJ, 1991. 391p.

40. SALATI, E.; RODRIGUES, N.S. De Poluente na Nutriente, a Descoberta do Aguapé. *Revista Brasileira de Tecnologia*, v.13, n.3, p.37-42, 1982.

41. SCHNEIDER, I.A.H. Biossorção de Metais Pesados com a Biomassa de Macrófitos Aquáticos. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas Metalúrgica e Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

42. SCHNEIDER, I.A.H., RUBIO, J.; MISRA, M.; SMITH, R.W. *Eichhornia crassipes* as biosorbent for heavy metal ions. *Minerals Engineering*, v.8, n.9, p.979-988, 1995.

43. SCHNEIDER, I.A.H.; RUBIO, J. Sorption of Heavy Metal Ions by the Nonliving Biomass of Freshwater Macrophytes. *Environmental Science and Technology*, v.33, p.2213-2217, 1999.

44. STEWART, W.C. Utilization of Water Hyacinth for Control of Nutrients in Domestic Wastewater – Lakeland, Flórida. In: *Aquaculture Systems for Wastewater Treatment. Proceedings*. Washington: EPA, p.273-292, 1980.

45. SWEET, D.A. Water Hyacinth Advanced Wastewater Treatment System. In: *Aquaculture Systems for Wastewater Treatment. Proceedings*. Washington: EPA, p.273-292, 1980.

46. Von SPERLING, M. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. Belo Horizonte, UFMG, 1996a.

47. Von SPERLING, M. *Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos*. Belo Horizonte, UFMG, Departamento do Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996b.

48. Von SPERLING, M. *Lagoas de Estabilização*. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996c.

49. WESTLAKE, D.F. Comparisions of Plant Productivity. *Biological Reviews*, v.38, p.385-425, 1963.

50. WOLVERTON, b.C. Bioconversion of Water Hyacinth into Methone Gas. *Nasa Technical Memorandum* TM-S-72725, 1975.

51. WOLVERTON, B.C. Application of Vascular Aquatic Plants for Pollution Removal, Energy and Food Production in a Biological System. In: TOURBIER, J.; PIERSON, Jr., R.W. (Ed.) *Biological Control of Water Pollution*. Pennsylvania, University of Pennsylvania Press. 1976. 141p.

52. WOLVERTON, B.C.; McDONALD, R. The Water Hyacinth: from Prolific Pest to Potential Provider. *Ambio*, v.8, n.1, 1979a.

53. WOLVERTON, B.C.; McDONALD, R. Upgrading Facultative Wastewater Lagoons with Vascular Aquatic Plants. *Journal WPCF*, v.51, n.2, p.305-313, 1979b.

54. WOLVERTON, B.C. Engineering Design for Small Vascular Aquatic Plant Wastewater Treatment Systems. In: *Aquaculture Systems for Wastewater Treatment. Proceedings*. Washington: EPA, p.171-191, 1980.

APÊNDICE

Dados de entrada da lagoa durante o ano de 2004 com 0% de recobrimento de aguapés.

Coleta	Data	pH	SD (mL/L)	SS (mg/L)	DQO (mg/L)	N total (mg/L)	P total (mg/L)	OG (mg/L)	Fe (mg/L)
1ª	Mar 2003	7,5	< 1	70	137	66,7	5,44	8	0,62
2ª	Abr 2003	7,6.	< 1	90	133	14,1	3,73	12	0,67
3ª	Jun 2003	7,3	< 1	30	55	17,6	2,75	2	1,00
4ª	Ago 2003	7,3	< 1	60	452	9,0	5,49	14	2,42
5ª	Out 2003	6,9	< 1	10	45	17,4	0,66	21	0,45
6ª	Nov 2003	7,0	< 1	40	68	15,4	2,87	10	0,70
7ª	Dez 2003	7,3	< 1	110	320	9,6	5,59	8	0,97
Padrão	-	6 – 8,5	< 1	< 180	< 405	< 10	< 1	< 10	< 10
Mín.		6,9	< 1	10	45	9,0	0,66	2	0,45
Máx.		7,5	< 1	110	452	66,7	5,59	21	2,42
X		7,2	< 1	59	173	21,4	3,79	11	0,98
Sx		2,7	-	35	155	20,3	1,85	6	0,67
NC		0	0	0	1	5	6	3	0

Dados de saída da lagoa durante o ano de 2004 com 0% de recobrimento de aguapés.

Coleta	Data	pH	SD (mL/L)	SS (mg/L)	DQO (mg/L)	N total (mg/L)	P total (mg/L)	OG (mg/L)	Fe (mg/L)
1ª	Mar 2003	6,8	< 1	50	85	33,6	4,45	6	0,88
2ª	Abr 2003	7,0	< 1	80	10	7,9	3,37	7	0,08
3ª	Jun 2003	7,0	< 1	50	194	15,9	1,33	5	1,28
4ª	Ago 2003	7,1	< 1	20	97	3,6	0,45	15	0,46
5ª	Out 2003	6,7	< 1	20	13	4,2	0,56	18	0,99
6ª	Nov 2003	6,7	< 1	20	45	2,0	0,70	1	1,11
7ª	Dez 2003	7,2	< 1	90	97	7,4	1,04	3	1,04
Padrão	-	6 – 8,5	< 1	< 180	< 405	< 10	< 1	< 10	< 10
Mín.		6,7	< 1	20	10	2,0	0,45	1	0,08
Máx.		7,2	< 1	90	194	33,6	4,45	18	1,28
X		6,9	< 1	47	77	10,7	1,70	8	0,83
Sx		0,2	-	29	63	11,1	1,57	6	0,42
NC		0	0	0	0	1	4	2	0

Mín. – valor mínimo das amostras
Max – valor máximo das amostras
X – média
Sx – desvio padrão da amostra
NC – número de não conformidades para n = 7

Dados de entrada da lagoa durante o ano de 2003 com 50% de recobrimento de aguapés.

Coleta	Data	pH	SD (mL/L)	SS (mg/L)	DQO (mg/L)	N total (mg/L)	P total (mg/L)	OG (mg/L)	Fe (mg/L)
1ª	Jan 2003	6,8	< 1	30	259	0,4	2,63	< 1	0,07
2ª	Jan 2003	7,2	< 1	10	22	0,6	0,03	8	0,45
3ª	Fev 2003	7,0	< 1	110	237	22,4	3,53	14	0,33
4ª	Fev 2003	7,1	< 1	60	521	7,0	0,68	16	0,07
5ª	Mar 2003	7,1	< 1	10	127	21,0	4,92	4	0,75
6ª	Mar 2003	4,8	< 1	20	149	16,8	1,86	4	0,79
7ª	Abr 2003	7,6	< 1	70	131	0,8	5,50	1	0,38
8ª	Abr 2003	7,1	< 1	30	310	12,6	0,22	10	0,47
9ª	Mai 2003	7,0	< 1	40	120	8,4	0,46	2	0,51
10ª	Mai 2003	7,2	< 1	30	164	4,2	0,90	1	0,60
11ª	Jun 2003	6,9	< 1	20	167	6,3	1,40	23	0,50
12ª	Jun 2003	6,9	< 1	20	102	2,5	1,87	4	2,29
13ª	Jul 2003	7,2	< 1	40	55	58,8	0,74	7	1,11
14ª	Jul 2003	7,6	< 1	70	71	1,1	0,83	5	0,38
15ª	Ago 2003	7,6	< 1	40	48	40,3	2,64	3	1,25
16ª	Ago 2003	7,0	< 1	30	200	40,6	3,95	11	7,72
17ª	Set 2003	6,9	< 1	30	185	35,0	1,08	29	0,50
18ª	Set 2003	7,2	< 1	40	130	29,4	4,91	2	1,28
19ª	Out 2003	7,3	< 1	70	143	25,2	2,80	17	1,40
20ª	Out 2003	7,2	< 1	50	150	23,8	0,77	12	0,30
21ª	Nov 2003	7,2	< 1	60	140	6,8	3,48	3	0,60
22ª	Nov 2003	7,2	< 1	40	270	45,7	3,56	8	0,90
23ª	Dez 2003	7,4	< 1	40	39	10,3	1,43	9	1,63
Padrão	-	6 – 8,5	< 1	< 180	< 405	< 10	< 1	< 10	< 10
Mín.		4,8	< 1	10	22	0,4	0,03	< 1	0,07
Máx.		7,6	< 1	110	521	58,8	5,50	29	7,72
X		7,1	< 1	42	163	18,3	2,18	9	1,06
Sx		0,5	-	23	108	16,7	1,64	7	1,55
NC		1	0	0	1	13	15	8	0

Mín. – valor mínimo das amostras
Max – valor máximo das amostras
X – média
Sx – desvio padrão da amostra
NC – número de não conformidades para n = 23

Dados de saída da lagoa durante o ano de 2003 com 50% de recobrimento de aguapés.

Coleta	Data	pH	SD (mL/L)	SS (mg/L)	DQO (mg/L)	N total (mg/L)	P total (mg/L)	OG (mg/L)	Fe (mg/L)
1ª	Jan 2003	6,7	< 1	5	248	0,7	0,79	< 1	0,50
2ª	Jan 2003	7,4	< 1	10	29	0,6	0,95	7	0,54
3ª	Fev 2003	7,1	< 1	110	22	16,8	1,55	3	0,71
4ª	Fev 2003	7,2	< 1	90	73	2,2	2,14	10	0,03
5ª	Mar 2003	7,2	< 1	20	47	7,0	1,89	2	0,89
6ª	Mar 2003	6,6	< 1	20	87	7,0	0,86	4	1,13
7ª	Abr 2003	6,6	< 1	70	95	0,7	3,54	<1	0,39
8ª	Abr 2003	7,1	< 1	50	73	4,2	0,03	12	0,63
9ª	Mai 2003	7,4	< 1	10	98	2,8	0,10	1	0,73
10ª	Mai 2003	6,2	< 1	20	109	0,8	0,63	1	0,30
11ª	Jun 2003	7,2	< 1	10	36	0,8	0,12	9	0,40
12ª	Jun 2003	7,0	< 1	60	5	1,6	0,86	6	1,84
13ª	Jul 2003	7,2	< 1	20	50	0,7	0,73	4	1,00
14ª	Jul 2003	7,0	< 1	30	65	0,7	0,12	2	1,65
15ª	Ago 2003	7,1	< 1	20	211	7,0	0,48	2	1,14
16ª	Ago 2003	7,2	< 1	10	180	5,6	0,37	2	1,14
17ª	Set 2003	7,2	< 1	30	133	5,6	0,03	8	0,20
18ª	Set 2003	6,9	< 1	20	71	2,8	1,03	2	0,10
19ª	Out 2003	7,2	< 1	60	49	7,0	1,00	6	0,95
20ª	Out 2003	7,1	< 1	40	81	2,2	0,36	2	0,31
21ª	Nov 2003	7,0	< 1	10	55	1,7	0,52	4	0,94
22ª	Nov 2003	7,2	< 1	20	231	9,0	0,65	7	0,70
23ª	Dez 2003	7,1	< 1	10	32	9,3	0,93	1	1,61
Padrão	-	6 – 8,5	< 1	< 180	< 405	< 10	< 1	< 10	< 10
Mín.		6,2	< 1	5	5	0,6	0,03	< 1	0,03
Máx.		7,4	< 1	110	248	16,8	3,54	12	1,84
X		7,0	< 1	32	90	4,2	0,86	5	0,78
Sx		0,3	-	28	67	4,0	0,81	3	0,49
NC		0	0	0	0	1	6	2	0

Mín. – valor mínimo das amostras
Max – valor máximo das amostras
X – média
Sx – desvio padrão da amostra
NC – número de não conformidades para n = 23

Dados de entrada da lagoa durante o ano 2004 com 100% de recobrimento de aguapés.

Coleta	Data	pH	SD (mL/L)	SS (mg/L)	DQO (mg/L)	N total (mg/L)	P total (mg/L)	OG (mg/L)	Fe (mg/L)
1ª	Mar 2003	7,5	< 1	70	137	66,7	5,44	8	0,62
2ª	Abr 2003	7,6.	< 1	90	133	14,1	3,73	12	0,67
3ª	Jun 2003	7,3	< 1	30	55	17,6	2,75	2	1,00
4ª	Ago 2003	7,3	< 1	60	452	9,0	5,49	14	2,42
5ª	Out 2003	6,9	< 1	10	45	17,4	0,66	21	0,45
6ª	Nov 2003	7,0	< 1	40	68	15,4	2,87	10	0,70
7ª	Dez 2003	7,3	< 1	110	320	9,6	5,59	8	0,97
Padrão	-	6 – 8,5	< 1	< 180	< 405	< 10	< 1	< 10	< 10
Mín.		6,9	< 1	10	45	9,0	0,66	2	0,45
Máx.		7,5	< 1	110	452	66,7	5,59	21	2,42
X		7,2	< 1	59	173	21,4	3,79	11	0,98
Sx		2,7	-	35	155	20,3	1,85	6	0,67
NC		0	0	0	1	5	6	3	0

Dados de saída da lagoa durante o ano 2004 com 100% de recobrimento de aguapés.

Coleta	Data	pH	SD (mL/L)	SS (mg/L)	DQO (mg/L)	N total (mg/L)	P total (mg/L)	OG (mg/L)	Fe (mg/L)
1ª	Mar 2003	7,1	< 1	30	91	24,3	5,04	4	0,76
2ª	Abr 2003	6,8	< 1	120	16	6,3	3,40	5	0,36
3ª	Jun 2003	6,9	< 1	50	249	8,8	0,43	2	1,12
4ª	Ago 2003	6,7	< 1	10	116	2,0	0,72	3	0,52
5ª	Out 2003	6,5	< 1	50	48	5,3	0,07	9	1,32
6ª	Nov 2003	7,0	< 1	20	110	1,7	0,64	7	0,70
7ª	Dez 2003	7,2	< 1	70	129	5,0	1,16	1	1,16
Padrão	-	6 – 8,5	< 1	< 180	< 405	< 10	< 1	< 10	< 10
Mín.		6,5	< 1	10	16	1,7	0,07	1	0,36
Máx.		7,2	< 1	120	249	24,3	5,04	9	1,32
X		6,9	< 1	50	108	7,6	1,64	4	0,85
Sx		0,2	-	37	74	7,7	1,86	3	0,36
NC		0	0	0	0	1	3	0	0

Mín. – valor mínimo das amostras
Máx – valor máximo das amostras
X – média
Sx – desvio padrão da amostra
NC – número de não conformidades para n = 7

ANEXO

fepam

1/3

LICENÇA DE OPERAÇÃO **LO Nº 4455/2002-DL**

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental, criada pela Lei Estadual nº 9.077 de 04/06/90 e com seus Estatutos aprovados pelo Decreto nº 33.765, de 28/12/90, registrada no Ofício do Registro Oficial em 01/02/91, no uso das atribuições que lhe confere a Lei nº 6.938, de 31/08/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 06/06/90 e com base nos autos do processo administrativo nº 12100-05.67/02.6, expede a presente LICENÇA DE OPERAÇÃO que autoriza a:

EMPREENDIMENTO: 928, **CODRAM:** 1415,
EMPREENDEDOR: AGRALE S/A,
ENDEREÇO: BR 116, km 145, nº 15.104,
MUNICÍPIO: Caxias do Sul – R.S,

a promover a operação
relativa à atividade de: **FÁBRICA DE VEÍCULOS AUTOMOTORES**, com uma área útil total é de **34.000 m²** e **449 empregados**,

localizada: na BR 116, km 145, nº 15.104 no município de Caxias do Sul – R.S.

Com as condições e restrições:

1-a capacidade produtiva máxima mensal da empresa é de 200 tratores, 2.000 motores e 600 Conjuntos componentes para Caminhão a produção diária atual é de 75 tratores, 330 motores e 350 Conjuntos componentes para Caminhão.

2-quanto aos efluentes líquidos:

2.1-a empresa permanece incluída no Sistema de Automonitoramento de Efluente Líquidos Industriais - SISAUTO, na classe **A**, devendo realizar medições e análises de seus efluentes líquidos de acordo com item 2.2 desta Licença e encaminhar a respectiva a "Planilha de Acompanhamento de Efluentes Líquidos" à FEPAM até o décimo dia do mês de **janeiro**, de acordo com o Art. 19, da Resolução CONSEMA Nº 01 de 15/04/98;

2.2-para fins de automonitoramento, deverão ser analisados e reportados, através da "Planilha de Acompanhamento de Efluentes Líquidos", os parâmetros, as freqüências de medição e os tipos de amostragem abaixo listados:

Parâmetros	Padrão de Emissão a ser atendido	freqüência de medição	tipo de amostragem
Temperatura	inferior a 40 °C	Diária	simples
Sól. Sedimentáveis	até 1 ml/l, em teste de 1 hora em cone Imhoff	Semestral	composta
pH	entre 6,0 e 8,5	Diária	simples
DQO	até 405 mg/l	Trimestral	composta
Sólidos Suspensos	até 180 mg/l	Semestral	composta
Fósforo Total	até 1,0 mg/l P	Semestral	composta
Nitrogênio Total	até 10 mg/l N	Semestral	composta
Ferro	até 10 mg/l Fe	Semestral	composta
Vazão	24 m^3/dia	Diária	simples

Cor: não deve provocar alterações visuais significativas no corpo receptor;

Papel não clorado - protegendo a natureza.