

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

**LUEWTON LEMOS FELÍCIO AGOSTINHO**

REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM TANQUES DE 20m<sup>2</sup> POR FILMES  
MONOMOLECULARES DE HEXADECANOL E SUAS INFLUÊNCIAS NA  
QUALIDADE DA ÁGUA

FORTALEZA  
2007

LUEWTON LEMOS FELÍCIO AGOSTINHO

REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM TANQUES DE 20m<sup>2</sup> POR FILMES  
MONOMOLECULARES DE HEXADECANOL E SUAS INFLUÊNCIAS NA  
QUALIDADE DA ÁGUA

Dissertação submetida à coordenação do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, área de concentração Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Horst Frischkorn

FORTALEZA  
2007

**LUEWTON LEMOS FELÍCIO AGOSTINHO**

**REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS SUPERFICIAIS DE 20m<sup>2</sup>  
ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE FILMES MONOMOLECULARES DE  
HEXADECANOL E SUAS INFLUÊNCIAS NA QUALIDADE DA ÁGUA**

Dissertação submetida à coordenação do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, área de concentração Saneamento Ambiental.

Aprovada em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Horst Frischkorn (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará

---

Profa. Dra. Mabel Calina de França Paz  
Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (CEFET – CE)

---

Dr. Marcos Eduardo Sedra Gugliotti  
Lótus Química Ambiental

---

Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino  
Universidade Federal do Ceará

A minha família.

## AGRADECIMENTOS

O agradecimento é simplesmente uma forma de reconhecer que somos seres sociais, que precisamos de apoio das mais diversas formas, para superar obstáculos. E mesmo com todo esforço da nossa ínfima capacidade de memorização, estará sempre claro que nunca seremos capazes de reconhecer e homenagear todos que participaram de forma significativa das nossas vitórias.

### Agradecimento Institucional:

- À Universidade Federal do Ceará pelo aprendizado adquirido no curso de mestrado através de seu corpo docente.
- Ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará pela realização de análises laboratoriais.
- Ao Colégio Christus, pela visão de vanguarda que assume ao incentivar a pesquisa no ensino de base e pelo apoio cedido na infra-estrutura do projeto.
- A empresa Lótus Química Ambiental pelo fornecimento de informações valiosas à conclusão do projeto e pelo envio de hexadecanol.

### Agradecimento Pessoal:

- Aos meus pais José Newton Agostinho e Luena Lemos Felício Agostinho, pela dedicação, persistência e fé que tiveram em mim por todos estes anos. Tenho muito orgulho de poder assumir que sou filho de vocês.
- A minha esposa Silvia Letícia Abreu Agostinho e a meu filho Caio Newton Abreu Agostinho, porque simplesmente representam todos os motivos que possuo para ser uma pessoa melhor.
- A meus irmãos Newlena Lemos Felício Agostinho, Cícero Newton Lemos Felício Agostinho, Luane Lemos Felício Agostinho e Fabiano de Jesus Lemos Felício, porque representam meus referenciais de moralidade, conduta, inteligência, persistência e superação. Amo muito vocês.
- Ao professor e amigo Valter Lúcio de Pádua por ser um exemplo de pesquisador e de cidadão.
- Ao professor e amigo Horst Frischkorn por compartilhar tão pacientemente seus conhecimentos.
- Ao professor e amigo Thales Vinícius de Araújo Viana pela presteza durante todos os anos do projeto.
- Aos professores Bemvindo Gomes e Mabel Calina de França Paz pela amizade, realização das análises laboratoriais e por estarem sempre dispostos a ajudar e elucidar dúvidas.
- À equipe técnica do laboratório LIAMAR (CEFET-CE), pela ajuda nas análises laboratoriais.

- Ao professor e amigo Marcos Eduardo Gugliotti por todo apoio intelectual fornecido, pelo fornecimento de hexadecanol, pela presteza em acompanhar os resultados e responder todas as correspondências.
- À professora Marisete Dantas pela amizade e participação na banca julgadora.
- Aos amigos da turma de mestrado Saneamento Ambiental 2004.1, especialmente, Marcio Pessoa Botto, Marcos Erick, Marcus Barbosa, Soraia Gradvohl, Eliezer Abdala, Paulo Henrique, Neyliane, Aparecida Milhomem e Gustavo Weyne.
- Aos eternos amigos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Germana Menescal, Gustavo Weyne, Érika Rocha, André Bezerra e Luis Henrique.
- Ao grande amigo Erivelton pelo apoio, companheirismo e por compartilhar seus conhecimentos em informática.
- Ao amigo sincero Marcio Pessoa Botto, pela ajuda incondicional, pelo compartilhamento de conhecimento, pelas horas de estudo e pelo incentivo nas horas difíceis.
- A grande amiga Andréa Ferreira que realizou tão dedicada e responsavelmente a análise microbiológica dos dados em seus dias que provavelmente devem ter 30 horas.
- Ao professor Geoff Barnes, cientista mundialmente conhecido no estudo de surfactantes e que, solícito, me auxiliou nos momentos de dúvida.
- Ao professor Walter Martins Ferreira Filho (*in memoriam*) companheiro, educador, incentivador e pioneiro dos estudos de redução da evaporação com monocamadas no Brasil.
- A todos que, injustamente, tenha esquecido de citar.

***“A mente que se abre a uma  
nova idéia jamais retornará  
ao seu tamanho original”***

***Albert Einstein***

## RESUMO

A região Nordeste do Brasil, com suas condições de semi-árido, tem sofrido devido aos altos índices de evaporação que apresenta. Tais índices propiciam grandes perdas para a região, de uma forma geral, e mesmo para o país. O presente trabalho estuda uma das ferramentas mais populares do mundo para controle da evaporação em reservatórios superficiais - filmes monomoleculares de hexadecanol - e as conseqüências da sua aplicação na qualidade da água. Foram utilizados reservatórios de 20m<sup>2</sup> de área (Tanques Russos) construídos na Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici. Os experimentos compreenderam 03 anos de observação onde foram avaliados a eficiência do filme, uma correlação estatística entre a redução da evaporação e alguns fatores climatológicos (velocidade do vento, umidade relativa do ar, radiação líquida, radiação global e temperatura do ar), a influencia da aplicação do filme nas características bióticas (fungos, fitoplânctons, baterias e peixes) e abióticas (turbidez, temperatura da água, condutividade elétrica, pH e salinidade) da água. Foram ainda avaliadas a velocidade de dispersão do surfactante na superfície líquida e alguns efeitos adversos como à formação de estrias. Os resultados apontaram que o produto é capaz de reduzir a evaporação em cerca de 40% nas condições do estudo. Foi ainda visualizado no estudo estatístico que a velocidade do vento e a temperatura do ar apresentaram influencias estatisticamente significativas na redução da evaporação. No que diz respeito aos parâmetros abióticos a aplicação do filme só trouxe alteração significativa na temperatura da água. As espécies fitoplanctônicas avaliadas e os peixes não sofreram influencia do surfactante também, entretanto, foi observada certa seletividade nos fungos e bactérias.

Palavras chave: evaporação, filmes monomoleculares, hexadecanol e tanques de 20m<sup>2</sup>.

## ABSTRACT

Brazilian Northeast region, with its Semi-Arid conditions, has suffered difficulties due to its high evaporation levels. This evaporation brings great losses to the region and, in consequence, to the country. The present work studies one of the world most popular tools to control evaporation in open pans – hexadecanol monomolecular films - and the consequences of its application in water quality. It was used open pans of 20m<sup>2</sup> of area (Russian Pans) built on Agrometeorological Station of Ceará University in Fortaleza. The experiments takes 3 years where were evaluated the film effectiveness, the statistical correlation between the evaporation reduction and the weather conditions, and the influence of the film application on biotic (phytoplankton, bacteria, fungus and fishes) and abiotic (turbidity, temperature, electrical conductivity, pH and salinity) characteristics of the water. It was also evaluated the dispersion velocity of the surfactant and the formation of “strings”. Results show that the product is able to reduce evaporation in 40% in Semi-Arid conditions. It was also presented that wind velocity and air temperature have some influence on evaporation reduction. Concerning the abiotic parameters the film application just causes significant alteration in water temperature. Phytoplankton and fishes does not suffer influences of the surfactante also, but it was notice some selectivity in fungus and bacteria species.

Key words: evaporation, monomolecular films, hexadecane.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cloreto (mg/L) em açudes monitorados pela COGERH (CE). Campanha:Abril/2001. ....	22
Figura 2 – Representação da molécula de um surfactante com uma cadeia hidrocarbônica e um único grupo polar.....	32
Figura 3 – Representação da orientação da molécula de um surfactante na interface ar-água. ....	33
Figura 4 - Área experimental - Estação Agrometeorológica da UFC. Fortaleza, Ceará. 2005.....	39
Figura 5 - Tanque evaporimétrico "Classe A" instalado com poço tranquilizador e anemômetro. ....	41
Figura 6 – Poço tranquilizador de base triangular com parafusos de nivelamento nos vértices e micrômetro de gancho.....	42
Figura 7 – Tanques de 20m <sup>2</sup> (Russos) para determinação da evaporação construídos na Estação Agrometeorológica da UFC em Fortaleza, Ceará. ....	43
Figura 8 – Poço tranquilizador em aço inox, adaptado para os tanques de 20m <sup>2</sup> . ....	44
Figura 9 - Gráfico representativo da relação entre a quantidade de hexadecanol e as taxas médias de redução da evaporação encontradas. ....	58
Figura 10 – Evaporação dos tanques 01 (35 mg/m <sup>2</sup> .dia de hexadecanol) e 02 (livre) para o primeiro período de observação da segunda fase.....	62
Figura 11 – Evaporação nos Tanques 01 (35 mg/m <sup>2</sup> .dia de hexadecanol) e 02 (livre) e a velocidade do vento pra o mesmo período de aplicação. ....	63
Figura 12 – Evaporação nos Tanques 01 (35 mg/m <sup>2</sup> .dia de hexadecanol) e 02 (livre) e a umidade relativa do ar pra o mesmo período de aplicação. ....	64
Figura 13 – Evaporação nos Tanques 01 (35 mg/m <sup>2</sup> .dia de hexadecanol) e 02 (livre) e a temperatura média do ar (°C). ....	65
Figura 14 – Evaporação nos Tanques 01 (35 mg/m <sup>2</sup> .dia de hexadecanol) e 02 (livre) e a radiação líquida. ....	66
Figura 15 - Probabilidade normal das variáveis climatológicas e redução da evaporação (Fase02/Período I). ....	69
Figura 16 - Histogramas das variáveis climatológicas, evaporação em cada tanque e redução da evaporação (Fase 02/ Período I). ....	70

Figura 17 - Gráficos de probabilidade normal das variáveis (Fase 02/Período I) após aplicação dos ajustes.....	73
Figura 18 - Histogramas das variáveis (Fase 02/Período I) após aplicação dos ajustes.....	74
Figura 19 - Matriz de dispersão das variáveis analisadas (Fase 02/Período I).....	76
Figura 20 - Temperatura dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação.....	85
Figura 21: Turbidez dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação.....	86
Figura 22 - Condutividade dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação.....	87
Figura 23 - pH dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação.....	88
Figura 24 - Salinidade dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação.....	89
Figura 25 - Pluviometria (em milímetros) e dias de recarga no segundo período de observação.....	90
Figura 26 - Condutividade dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação com barras de máximo e mínimo.....	95
Figura 27 - pH dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação com barras de máximo e mínimo.....	95
Figura 28 - Histogramas das variáveis do físico-químico (Fase 02/ Período II).....	97
Figura 29 - Gráficos de probabilidade normal das variáveis do físico-químico (Fase 02/ Período II).....	98
Figura 30 - Diagramas de caixa ( <i>BoxPlot</i> ) das variáveis do físico-químico (Fase 02/Período II).....	99
Figura 31 - Teste estatístico comparando o desvio padrão da condutividade nos dois tanques (Fase 02/ período II).....	103
Figura 32 - Teste estatístico comparando o desvio padrão da turbidez nos dois tanques (Fase 02/ Período II).....	104
Figura 33 - Teste estatístico comparando o desvio padrão da temperatura nos dois tanques (Fase 02/ Período II).....	105
Figura 34 - Percentual de contribuição de cada táxon para o total fitoplanctônico, em valores de células/mL, para $t_0=17/12/05$ .....	107
Figura 35 - Comportamento das espécies fitoplanctônicas presentes no tanque 01 (Fase 02/ Período II).....	108
Figura 36 - Comportamento das espécies fitoplanctônicas presentes no tanque 02 (Fase 02/ Período II).....	109

Figura 37 - Quantificação do fitoplâncton total (células/mL) nos dois tanques (Fase 02/ Período II).	109
Figura 38 - Temperatura dos tanques 01 (sem hexadecanol) e 02 (com hexadecanol) para o terceiro período de observação.	113
Figura 39 - Turbidez dos tanques 01 (sem hexadecanol) e 02 (com hexadecanol) para o terceiro período de observação.	114
Figura 40 - Condutividade dos tanques 01 (sem hexadecanol) e 02 (com hexadecanol) para o terceiro período de observação.	115
Figura 41 - pH dos tanques 01 (sem hexadecanol) e 02 (com hexadecanol) para o terceiro período de observação.	116
Figura 42 - Salinidade dos tanques 01 (sem hexadecanol) e 02 (com hexadecanol) para o terceiro período de observação.	117
Figura 43 - Pluviometria (mm) e períodos de recarga no terceiro período de observação.	118
Figura 44 - Histogramas das variáveis do físico-químico (Fase 02/Período III).	121
Figura 45 - Gráficos de probabilidade normal das variáveis do físico-químico (Fase 02/Período III).	122
Figura 46 - Diagramas de caixa das variáveis do físico-químico (Fase 02/Período III).	123
Figura 47 - Teste estatístico comparando as médias da condutividade nos dois tanques (Fase 02/Período III).	126
Figura 48 - Teste estatístico comparando os valores médios da Turbidez nos dois tanques (Fase 02/Período III).	127
Figura 49 - Teste estatístico comparando os valores médios da Temperatura nos dois tanques (Fase 02/Período III).	128
Figura 50 - Teste estatístico comparando os valores médios do pH nos dois tanques (Fase 02/Período III).	129
Figura 51 - Percentual de contribuição de cada táxon para o total fitoplanctônico, em valores de células/mL, para $t_0=02/02/2006$ .	130
Figura 52 - Comportamento das espécies fitoplanctônicas presentes no tanque 01 (Fase 02/Período III).	131
Figura 53 - Comportamento das espécies fitoplanctônicas presentes no tanque 02 (Fase 02/Período III).	132
Figura 54 - Quantificação do total fitoplanctônico em células/mL (Fase 02/Período III).	132
Figura 55 - Quantificação da espécie <i>Ecdysichlamys periphytica 1c</i> com intervalo de confiança de 95% (períodos II e III).	135
Figura 56 - Quantificação da espécie <i>Ecdysichlamys periphytica 2c</i> com intervalo de confiança de 95% (períodos II e III).	136

Figura 57 - Quantificação da espécie <i>Coelastrum reticulatum</i> var. <i>cubanum</i> com intervalo de confiança de 95% (períodos II e III).....	137
Figura 58 - Surgimento de “strings” (circuladas em vermelho) depois da aplicação do hexadecanol. ....	143
Figura A1 – Comportamento da temperatura do ar no período II. ....	164
Figura A2 – Comportamento da umidade relativa no período II. ....	165
Figura A3 – Comportamento da velocidade do vento no período II. ....	166
Figura A4 – Comportamento da radiação líquida no período II.....	167
Figura C1 - Teste de hipótese para comparação de médias da turbidez nos pontos 1 e 2 do tanque 02 no terceiro período.....	180
Figura C2 - Teste de hipótese para comparação de médias da turbidez nos pontos 1 e 3 do tanque 02 no terceiro período.....	180
Figura C3 - Teste de hipótese para comparação de médias da turbidez nos pontos 2 e 3 do tanque 02 no terceiro período.....	181
Figura D1 - Imagens dos táxons encontrados no estudo do fitoplâncton.....	190
Figura D2 - Fotos de <i>Ecdysichlamys periphytica</i> .....	192
Figura F1 - Correlação entre as condutividades dos tanques no período II. ....	196
Figura F2 - Correlação entre o pH dos tanques no período II. ....	196
Figura F3 - Correlação entre a turbidez dos tanques no período II. ....	196
Figura F4 - Correlação entre a temperatura dos tanques no período II. ....	197
Figura F5 - Correlação entre a condutividade dos tanques no período III. ....	197
Figura F6 - Correlação entre o pH dos tanques no período III.....	197
Figura F7 - Correlação entre a Turbidez dos tanques no período III. ....	198
Figura F8 - Correlação entre a Temperatura dos tanques no período III. ....	198
Figura F9 - Correlação entre a Turbidez e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 01. ....	198
Figura F10 - Correlação entre a Turbidez e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 02. ....	199
Figura F11 - Correlação entre a Temperatura e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 01. ....	199
Figura F12 - Correlação entre a Temperatura e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 02. ....	199
Figura F13 - Correlação o pH e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 01. ....	200
Figura F14 - Correlação o pH e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 02. ....	200
Figura F15 - Correlação entre a condutividade e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 01. ....	200

Figura F16 - Correlação entre a condutividade e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 02. ....	201
Figura F17 - Relação entre a turbidez (uT) e o fitoplâncton (cel/mL) para os dois tanques. ....	202
Figura F18 - Relação entre o pH e o fitoplâncton (cel/mL) para os dois tanques. ....	203
Figura F19 - Relação entre a condutividade (uS) e o fitoplâncton (cel/mL) para os dois tanques. ....	204
Figura F20 - Relação entre a temperatura (°C) e o fitoplâncton (cel/mL) para os dois tanques. ....	205
Figura 63 (A) – Processo construtivo dos Tanques Russos. ....	210
Figura 64 (A) – Pontos de coleta da triangulação aplicada no período III / fase 02. ....	211
Figura 65 (A) – Dispersão da monocamada após aplicação e visualização do efeito de atenuação. ....	212
Figura 66 (A) – Situações diferenciadas nos tanques durante o período do experimento. ....	213

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 - Coeficientes de relação entre diferentes tipos de evaporímetros. ....	28
Tabela 02 - Valores médios do quociente entre a evaporação de açudes (Eaçu), medida pela variação do nível da água, e a evaporação do tanque "classe a" (Etan). ....	29
Tabela 03 - Análise granulométrica realizada com a amostra triturada de hexadecanol para utilização nas aplicações. ....	55
Tabela 04 - Réplica da análise granulométrica realizada com a amostra triturada de hexadecanol para utilização nas aplicações. ....	56
Tabela 05: Características da água bruta utilizada na recarga dos tanques (valores médios). ....	57
Tabela 06 – Percentuais de redução obtidos após a aplicação diária de diferentes quantidades de hexadecanol. ....	57
Tabela 07 – Evaporação nos tanques 01 e 02 com respectivo percentual de redução para uma taxa de aplicação diária de 35 mg/m <sup>2</sup> no tanque 01. ....	60
Tabela 08 – Dados de climatologia, evaporação e redução da evaporação (fase 02 – período I). ....	68
Tabela 09 - Características de distribuição, testes de normalidade e possíveis ações corretivas. ....	72
Tabela 10 - Testes estatísticos de colinearidade para as variáveis preditoras (Fase 02/ Período I). ....	77
Tabela 11 - Resultado da regressão múltipla. ....	78
Tabela 12 - Coeficientes e características gerais da regressão para os modelos adotados. ....	78
Tabela 13 - Coeficiente e testes das variáveis excluídas em cada modelo. ....	78
Tabela 14 – Evaporação nos tanques 01 e 02 com respectivo percentual de redução e pluviometria do período (taxa de aplicação diária de 35 mg/m <sup>2</sup> no tanque 02). ....	80
Tabela 15 - Economia em mm de água para o período de aplicação. ....	82
Tabela 16 - Estatística descritiva dos dados de evaporação e economia. ....	83
Tabela 17 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos. ....	84
Tabela 18 - Características de distribuição, testes de normalidade e possíveis ações corretivas (Fase 02/Período II). ....	100
Tabela 19 - Estatística descritiva da Turbidez para os dois tanques depois de aplicado o ajuste. ....	102

Tabela 20 - Espécies fitoplanctônicas presentes no inóculo dos dois tanques (Fase 02/ Período II) e suas respectivas contribuições percentuais. ....	106
Tabela 21 – Evaporação nos tanques 01 e 02 com respectivo percentual de redução e pluviometria do período (taxa de aplicação diária de 35 mg/m <sup>2</sup> no tanque 02). ....	111
Tabela 22 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos. ....	112
Tabela 23 - Características de distribuição, testes de normalidade e possíveis ações corretivas dos parâmetros físico-químicos. ....	124
Tabela 24 - Espécies fitoplanctônicas presentes no inoculo dos dois tanques (Fase 02/Período III) e suas respectivas contribuições percentuais. ....	130
Tabela 25 - Espécies dominantes em cada tanque, considerando o número de células/mL. ....	133
Tabela 26 - Avaliação da massa corporal da macrobiota presente no tanque 01. ....	140
Tabela 27 - Avaliação da massa corporal da macrobiota presente no tanque 02. ....	140
Tabela 28 - Parâmetros de desempenho aplicados a macrobiota dos tanques. ....	140
Tabela 29 - Velocidade de dispersão da monocamada na superfície da água. ....	142
Tabela A.1 – Parâmetros climatológicos, níveis dos tanques e percentuais de redução da evaporação no período I. ....	158
Tabela A.2 – Parâmetros climatológicos, níveis dos tanques e percentuais de redução da evaporação depois de aplicado o ajuste para equivalência de normalidade com raiz quadrada (período I). ....	159
Tabela A.3 – Parâmetros climatológicos, níveis dos tanques e percentual de redução da evaporação depois de aplicado o ajuste para equivalência de normalidade com função inversa (período I). ....	160
Tabela A.4 – Verificação da normalidade pelo método dos parâmetros de simetria para os dados climatológicos após a aplicação do ajuste com raiz quadrada e com função inversa. ....	161
Tabela A.5 - Valores brutos dos níveis de cada tanque coletados em duplicata, evaporação e níveis de recarga. ....	162
Tabela A.6 – Parâmetros climatológicos, níveis dos tanques e percentuais de redução da evaporação no período II. ....	163
Tabela B.1 – Dados abióticos da etapa II para o mês de dezembro de 2005. ....	169
Tabela B.2 – Dados abióticos da etapa II para o mês de janeiro de 2006. ....	170
Tabela B.3 – Dados de economia de água (em litros) na etapa II. ....	171
Tabela B.4 – Valores brutos dos níveis de cada tanque coletados em duplicata, evaporação e níveis de recarga. ....	172

Tabela C.1 – Valores brutos dos níveis de cada tanque coletados em duplicata, evaporação e níveis de recarga.....	174
Tabela C.2 – Média dos valores de cada parâmetro abiótico em cada tanque. ....	175
Tabela C.3 – Valores brutos coletados para os parâmetros Condutividade e Salinidade em cada tanque nos pontos de triangulação. ....	176
Tabela C.4 – Valores brutos coletados para os parâmetros Temperatura e pH em cada tanque nos pontos de triangulação.....	177
Tabela C.5 – Valores brutos coletados para o parâmetro Turbidez (e suas duplicatas de análise) em cada tanque nos pontos de triangulação.....	178
Tabela C.6 – Dados de economia de água (em litros) na etapa III.....	179
Tabela D.1 – Lista e características gerais dos táxons encontrados na caracterização do fitoplâncton de cada tanque. ....	183
Tabela D.2 – Contagem (células/mL) dos táxons presentes no tanque 01 nas etapas II e III. ....	184
Tabela D.3 – Contagem (células/mL) dos táxons presentes no tanque 02 nas etapas II e III. ....	185
Tabela D.4 – Totais em células/mL e indivíduos/mL nos tanques para as etapas II e III.....	186
Tabela D.5 – Contagem da espécie <i>Ecdysichlamys periphytica</i> com determinação das margens de erro para um intervalo de confiança de 95% na etapa I. ....	187
Tabela D.6 – Contagem da espécie <i>Ecdysichlamys periphytica</i> com determinação das margens de erro para um intervalo de confiança de 95% na etapa II.....	188
Tabela D.7 – Contagem da espécie <i>Coelastrum reticulatum var. cubanum</i> com determinação das margens de erro para um intervalo de confiança de 95% nas etapas II e III. ....	189
Tabela D8 - Resumo dos táxons encontrados durante a quantificação. ....	191
Tabela D9 - Valores médios para as medidas aferidas para cada população. ....	191
Tabela E1 - Valores críticos do coeficiente de correlação de Pearson R. ....	194
Tabela G1 - Dados abióticos coletados em diferentes perfis nos dois tanques. ....	207
Tabela G2 - Avaliação qualitativa para fungos e bactérias. ....	208

## ÍNDICE ANALÍTICO

<b>RESUMO.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>15</b>
<b>I - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>26</b>
2.1 – A Evaporação .....	26
2.2 – Redução da evaporação .....	30
2.3 – Utilização de filmes monomoleculares para redução da evaporação .....	31
2.3.1 – Filmes monomoleculares (Surfactantes e filmes de Langmuir) .....	32
2.3.2 – Utilização de filmes monomoleculares para redução da evaporação. ....	34
<b>III - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
3.1 – Fases da pesquisa e características da área experimental .....	38
3.2 – Método antievaporante .....	39
3.3 – Tanques evaporimétricos .....	40
3.3.1 – Tanque Classe A: .....	41
3.3.2 – O Tanque de 20m <sup>2</sup> (Tanque Russo) .....	42
3.4 – Medida do nível da lâmina de água .....	44
3.5 – Determinação da evaporação diária.....	45
3.6 – Divisão do estudo em fases .....	45
3.7 – Fase 01 – Otimização da quantidade de hexadecanol. ....	46
3.8 – Fase 02 – Determinação de possíveis influências da aplicação de hexadecanol nas características bióticas e abióticas da água. ....	47
3.8.1 – Fase 02 – Período I .....	49
3.8.2 – Fase 02 – Período II.....	51
3.8.3 – Fase 02 – Período III: .....	51
3.8.3.1 – Influência do surfactante na microbiota.....	52
3.8.3.2 – Determinação da velocidade de dispersão do surfactante .....	54
3.9 – Parâmetros Meteorológicos. ....	54
<b>IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
4.1 – Caracterização da amostra .....	55
4.1.1 – Caracterização do hexadecanol .....	55
4.1.1 – Caracterização da água bruta utilizada para recarga dos tanques.....	56
4.2 – Fase 01.....	57
4.3 – Fase 02 / Período I.....	60
4.4 – Fase 02 / Período II.....	80
4.4.1 – Redução da evaporação .....	80
4.4.2 – Economia de água no período de aplicação.....	81
4.4.3 – Parâmetros abióticos.....	83
4.4.4 – Avaliação estatística .....	96
4.4.4.1 – Testes de normalidade e caracterização das amostras .....	96
4.4.4.2 – Testes de hipótese.....	102

4.4.5 – Avaliação do fitoplâncton.....	106
4.5 – Fase 02 / Período III .....	111
4.5.1 – Redução da evaporação .....	111
4.5.2 - Parâmetros abióticos. ....	112
4.5.3 – Avaliação estatística .....	119
4.5.3.1 – Testes de normalidade e caracterização das amostras .....	119
4.5.3.2 – Testes de hipótese .....	125
4.5.4 – Avaliação do fitoplâncton.....	129
4.5.5 – Avaliação específica do fitoplâncton (espécies dominantes). ....	133
4.5.6 – Avaliação fúngica e bacteriológica.....	138
4.5.7 – Influência na microbiota. ....	140
4.5.7 – Velocidade de espalhamento. ....	141
4.6 – Aspectos importantes e observações sobre o comportamento do surfactante nos períodos de aplicação. ....	142
4.6.1 – Surgimento de estrias no hexadecanol. ....	143
<b>V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>145</b>
<b>VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>148</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>157</b>
Parâmetros climatológicos.....	157
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>168</b>
Parâmetros abióticos e de evaporação no Período II da Fase 02.....	168
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>173</b>
Parâmetros abióticos e de evaporação no Período III da Fase 02 .....	173
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>182</b>
Parâmetros microbiológicos .....	182
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>193</b>
Valores críticos do coeficiente de correlação de Pearson.....	193
<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>195</b>
Correlações entre os fatores bióticos e abióticos nos dois períodos.....	195
<b>APÊNDICE G .....</b>	<b>206</b>
Dados abióticos coletados em perfis diferenciados e tabelas da avaliação fúngica e bacteriológica.....	206
<b>ANEXOS .....</b>	<b>209</b>

## **I - INTRODUÇÃO**

A água é o insumo básico para a sobrevivência de todas as espécies sendo necessária atenção especial no seu manejo, visando sua conservação em quantidade e qualidade. Isso é alcançado por meio da gestão dos recursos hídricos, que se refere aos procedimentos relativos à tentativa de equacionar e resolver as questões da água e aperfeiçoar o seu uso.

Fatores econômicos, geográficos e climáticos fizeram com que as sociedades de todo o mundo adotassem reservatórios naturais e artificiais como forma de acumular água doce para o abastecimento público, para a irrigação, para a geração de energia elétrica, dentre outros fins.

Suassuna (2002) comenta que devido à facilidade de escoamentos superficiais e à baixa capacidade de infiltração da água no solo foram construídos no Semi-árido nordestino um número expressivo de açudes e barragens (estimado em mais de 70 mil) que represam cerca de 30 bilhões de metros cúbicos de água. Isto representa a maior reserva superficial de água artificialmente acumulada em região semi-árida do mundo. Porém, apenas 30% desse volume são utilizados na irrigação e no abastecimento das populações, consubstanciando-se numa evidente falta de planejamento na gestão dos recursos hídricos da região.

O mesmo autor ainda comenta que aliada à escassez apresenta-se também restrições relativas à qualidade desta água nos açudes, principalmente no que diz respeito à

salinização, o que gera prejuízo nas culturas e nos terrenos a jusante, além de comprometer a qualidade para o consumo humano.

A região ainda apresenta chuvas de grande intensidade, lixiviando a superfície e subsuperfície do solo. Estas características da pluviometria atribuem papel múltiplo no processo da salinização por dois motivos fundamentais: agem como transportador-concentrador, lixiviando o solo e transportando os sais que se encontravam na superfície da bacia hidrográfica para o reservatório mais próximo, e como diluidor quando aumenta o volume dos corpos d'água reduzindo a concentração de sais nos mesmos. A evaporação, por sua vez, tem um desempenho relevante no processo de salinização como agente facilitador, pois contribui para a extração dos sais que são encontrados no solo pelo processo da exudação, e como concentrador ao passo que retira apenas a água dos reservatórios aumentando a concentração dos sais (SUASSUNA, 1996).

Estudos apresentados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) no programa intitulado Rede de Monitoramento da Qualidade de Água<sup>1</sup> apontam que a concentração média de íons cloretos nos 117 açudes monitorados pela instituição está em torno de 100 mg/L, existindo, ainda, reservatórios no estado com concentrações de até 1500 mg/L (Figura 01).

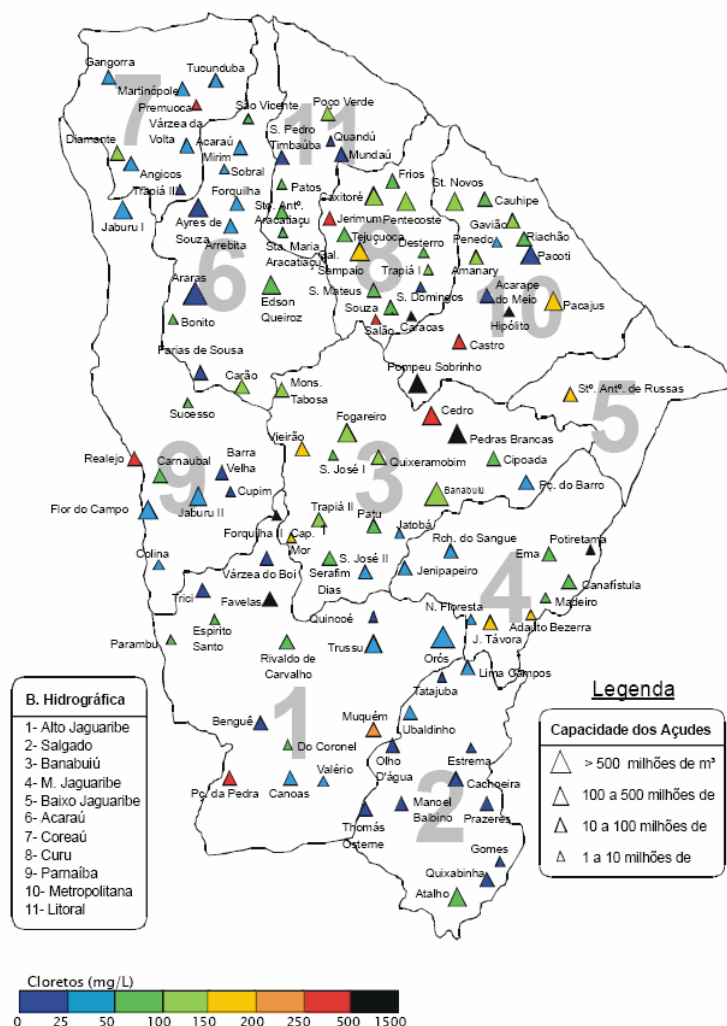
Neste tipo de reservatório, devido às características do substrato cristalino do Semi-árido Nordeste, as perdas de água ocorrem muito mais por evaporação que por infiltração, atingindo níveis muito elevados em certas regiões. Rebouças (2004) afirma que o Brasil é considerado um país privilegiado por abrigar cerca de 12% de toda a água doce disponível no planeta mas, apesar dos esforços do governo no sentido de preservar os recursos hídricos por meio de campanhas para o uso racional da água e da criação de sistemas mais eficientes de gerenciamento, praticamente nada tem sido feito para proteger a água contida em nossos reservatórios no que diz respeito à evaporação.

Molle (1989), em pesquisa realizada com base em dados de 11 postos distribuídos no semi-árido e séries variando entre 8 e 25 anos (na qual a evaporação era medida em tanques do tipo Classe A), constatou que a média anual de evaporação se

---

<sup>1</sup> Fonte: Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. Programa de Monitoramento da Qualidade de água operada pela COGERH (Janeiro de 2002).

aproxima de 3 metros, variando entre 2700 a 3300 mm, sendo que os valores mais elevados ocorrem nos meses de outubro a dezembro e os mínimos de abril a junho.



Fonte: COGERH/SEMACE, 2001

**FIGURA 1 – Cloreto (mg/L) em açudes monitorados pela COGERH (CE). Campanha: Abril/2001.**

Em 2002, investigações realizadas pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)<sup>2</sup> indicaram que a evaporação no reservatório de Sobradinho atinge níveis aproximados de 300 m<sup>3</sup>/s. Se pudéssemos simplesmente aplicar esta taxa proporcionalmente para outras localidades, a perda total nos reservatórios do São Francisco atingiria um valor aproximado de 560 m<sup>3</sup>/s, o que corresponderia à cerca de 27% da vazão

<sup>2</sup> Fonte: <http://www.cgEE.org.br/ee/>

regularizada ( $\sim 2.100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e seria suficiente para abastecer, em termos de consumo urbano (200 litros/habitante/dia), 70% da população da América do Sul.

Diante disto percebe-se o papel preponderante da evaporação quanto à qualidade da água e não somente quanto a sua quantidade, devendo ser observado cautelosamente os seus índices.

Objetivando o atendimento deste problema, vários cientistas se dedicaram ao estudo de metodologias que poderiam minimizar os efeitos da evaporação em grandes reservatórios. Apesar das várias tentativas que surgiram com essa finalidade (utilização de sistema de barra vento, plantas-aquáticas, aplicação de corpos flutuantes e/ou corpos refletor) os custos, os impactos ambientais e mesmo a operacionalidade destes outros métodos sempre ficaram aquém dos resultados obtidos com a utilização de monocamadas.

Tais resultados influenciaram tão positivamente a comunidade científica nos últimos anos que provocaram o surgimento de produtos disponíveis no mercado para redução da evaporação, aprovados e divulgados por entidades mundialmente conhecidas como a *American Water Works Association* (AWWA)<sup>3</sup>.

No Brasil, os estudos relatados na literatura compreendem basicamente avaliações feitas sobre a eficiência do produto e sua viabilidade econômica, utilizando evaporímetros do tipo Classe A e GGI 3000 (FERREIRA FILHO, 1974), sobre a influência do produto nas características bióticas e abióticas da água utilizando evaporímetros de  $20\text{m}^2$  (AGOSTINHO *et al*, 2003), e sobre o comportamento de monocamadas de várias composições em superfícies líquidas do ponto de vista da físico-química de superfícies (GUGLIOTTI, 2001).

Apesar da existência destes levantamentos, é fato preocupante, em se tratando de meio ambiente, a pouca abordagem que a maioria destes trabalhos apresenta a respeito das possíveis influências que a aplicação de um surfactante poderia causar a médio e a longo prazo nos corpos hídricos. Tal omissão pode ser atribuída basicamente a três fatores, quais sejam: (1) as imprecisões dos métodos para determinação da evaporação em escala real (MALHEIROS *et al*, 2003); (2) ao fato de que reservatórios reais são utilizados para as mais diversas práticas antrópicas bem como para dessedentação de animais e outros

---

<sup>3</sup> Fonte: “Water Saver” - Ondeo-nalco

fins; (3) as dificuldades operacionais e financeiras que um ensaio de grande porte compreende.

Existem poucas referências científicas nacionais publicadas sobre ensaios de aplicação do produto em grandes superfícies até o momento em que este estudo foi realizado. O Pesquisador Marcos Eduardo Gugliotti, apoiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)<sup>4</sup> realizou um ensaio de aplicação na represa do Broa na cidade de São Carlos, em São Paulo. O mesmo autor (GUGLIOTTI, 2005), em parceria com o Núcleo de Gestão Ambiental (ECOCÂMARA) e o Departamento Técnico (DETEC), reportou a aplicação de um produto fabricado com uma mistura de dois álcoois (hexadecanol e octadecanol) e calcário (GUGLIOTTI, 2004) em um período aproximado de 15 dias, no espelho d'água da Câmara dos Deputados em Brasília.

Apesar destas experiências e do trabalho de Ferreira Filho (1974), é importante observar que em todos estes casos, os estudos normalmente não foram realizados em períodos prolongados, nas condições climáticas do semi-árido brasileiro ou apresentaram uma preocupação mais latente com a qualidade da água tratada. Existem alguns relatos, ainda não publicados, de experimentos sem fins científicos de controle da evaporação com monocamadas, realizados no município de São Gonçalo do Amarante (região caracterizada como tendo clima semi-árido brando, no estado do Ceará). Tais ensaios, porém, foram realizados depois de finalizado o presente estudo e não tiveram por objetivo avaliar qualquer influência do produto na qualidade da água.

Comenta-se ainda que tais estudos apresentaram pareceres muito isolados sobre as possíveis modificações que os surfactantes provocam e, tendo em vista que as alterações ambientais nunca ocorrem isoladamente, é importante que se aplique uma abordagem mais correlacionada da utilização do surfactante com as propriedades bióticas e abióticas da água, e com os principais fatores meteorológicos que podem interferir no processo.

Utilizando então esta abordagem, apresentar-se-á um levantamento de cerca de três anos, realizado nas condições do semi-árido e em tanques russos, sobre as influências que a aplicação de surfactantes pode trazer a médio prazo na qualidade da água.

---

<sup>4</sup> Fonte: Agência FAPESP de divulgação científica. Agosto de 2005.

Compreendem ainda os objetivos deste estudo: apresentar de maneira quantitativa a economia que este tipo de metodologia pode produzir (em litros de água por período), verificar os fatores climáticos que interferem no processo de redução da evaporação, estudar o comportamento da micro e macrobiota (fitoplânctons, bactérias, fungos e peixes) do ambiente aquático durante o período de aplicação, o comportamento da monocamada nas condições do semi-árido e as possíveis relações entre estes parâmetros e alguns fatores meteorológicos.

## **II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 – A Evaporação**

Em Meteorologia o termo evaporação é usado para designar a transferência de água para a atmosfera, sob a forma de vapor, decorrente tanto da evaporação que se verifica no solo úmido sem vegetação, nos oceanos, lagos, rios e em outras superfícies hídricas naturais, como da sublimação que se processa nas superfícies de gelo.

Varejão (2001) comenta que, segundo a teoria cinética dos gases, a passagem da água à fase gasosa se dá como resultado do aumento da energia cinética das moléculas, requerendo, por isso, o dispêndio de certa quantidade de calor (o calor latente de vaporização). Assim, a transição de fase líquido-vapor ou sólido-vapor depende do saldo de energia disponível à superfície fonte e, por conseguinte, de sua temperatura.

Muito da moderna compreensão da evaporação vem do trabalho do cientista inglês John Dalton (1766-1844). Usando instrumentos que ele mesmo construiu, Dalton mediu e registrou valores de pressão barométrica, temperatura, condições do vento, umidade e índice pluviométrico. Estas observações diárias do tempo o levaram a pensar na composição do ar e no comportamento dos gases. Dalton concluiu que deveria haver algum

outro processo funcionando - alguma coisa que se movesse de modo lento e contínuo - que seus instrumentos não estavam medindo. Ele baseou sua teoria da evaporação na compreensão da pressão de vapor de um líquido e o efeito aditivo das pressões de constituintes individuais de uma mistura de gases (ou seja, o fato de a soma das pressões parciais dos gases ser igual à pressão total).

Observações sistemáticas mostraram a Dalton que a taxa de evaporação é proporcional à diferença entre a pressão de vapor de saturação na superfície do líquido e a pressão de vapor mínima no ar acima dele. Em outras palavras, a umidade relativa é 100% na superfície da água e diminui à medida que nos afastamos dela. Quanto maior a diferença de umidade, mais rápida a evaporação da água<sup>5</sup>.

Existem muitos estudos que objetivam a determinação da taxa de evaporação de uma superfície líquida ou sólida. Esses estudos geralmente são dirigidos em dois sentidos: um, visando à elaboração de aparelhos e métodos de medidas cada vez mais precisos para se aproximar dos valores reais da evaporação de superfícies; o outro na elaboração de fórmulas teórico-empíricas que visem para fins de previsão, uma melhor aproximação das condições reais (MATTOS, 1970 *apud* AQUINO, 1986).

Medidas diretas da evaporação, obtidas por diferença de nível da superfície evaporante, em condições naturais, são muito difíceis de realizar na prática. Um dos obstáculos é a constante presença de ondas, que se tornam maiores com o aumento da superfície líquida e do vento, dificultando a medida exata da variação do nível da água. A limitação mais séria, contudo, reside no fato dessa variação, em um grande reservatório (natural ou artificial), não ocorrer somente por causa da evaporação. Em geral há fluxos hídricos subterrâneos que resultam de contribuições (positivas e/ou negativas), causadas por movimento da água no solo circunjacente ao reservatório e que são difíceis de determinar (VAREJÃO, 2001).

Tomlinson (1894), estudando evaporação, observou que o fenômeno medido em superfícies livres de água cresce com a área de acordo com uma determinada proporcionalidade.

Posteriormente, Sleight (1917), pesquisando em Denver, Colorado, confrontou um lago de 720 ha de área hidráulica com tanques enterrados, tendo 0,90m de

---

<sup>5</sup> Fonte: Revista eletrônica de ciências. Numero 01, novembro de 2001.

profundidade, e diâmetros variáveis de 0,30 a 3,60m e concluiu que a evaporação do tanque de 3,60m de diâmetro seria a mesma que registraria no lago.

Penman (1948 *apud* AQUINO, 1986) propôs um modelo teórico-empírico para a estimativa da evaporação em grandes superfícies de água, posteriormente adaptado por outros autores para a estimativa da evapotranspiração (que corresponde a perda de água em superfícies vegetais), envolvendo dois termos distintos: um energético, com base no conhecimento da energia líquida disponível na superfície, e outro aerodinâmico, baseado no conhecimento da velocidade média do vento e do déficit de saturação de vapor ar.

Entretanto, o primeiro método a ser usado de maneira generalizada em estudos de evaporação em lagos foi o método do balanço de energia no lago Hefner (KOHLE, 1955). O método do balanço de energia pode ser aplicado, atualmente, de forma relativamente simplificada e tem servido de base para diversos estudos de evaporação em lagos desde sua aplicação pioneira no lago Hefner.

Na União Soviética, nos períodos de 1949-1953 e 1958-1963, surgiram as primeiras referências sobre comparações de evaporímetros com reservatórios de referência de 20m<sup>2</sup> recomendados pela WMO. Esses trabalhos foram conduzidos na estação Valday, próxima a Leningrado, com tanques Classe A, GGI-3000 e de 20m<sup>2</sup> e apresentaram os coeficientes de correlação apresentados na tabela 01 (AQUINO, 1986).

**TABELA 01 - Coeficientes de relação entre diferentes tipos de evaporímetros.**

<b>Relação</b>	<b>Tanque 20m<sup>2</sup> x Classe A</b>	<b>Tanque 20m<sup>2</sup> x GGI-3000</b>
<b>Coeficiente</b>	0,77	0,96

Fonte: Dados da Estação Walday (1958-1963) adaptados de AQUINO (1986)

Até aonde existem informações, apenas Oliveira (1971), em Piracicaba e Agostinho (2004) em Fortaleza, tiveram a oportunidade de instalar e operar no Brasil, evaporímetros com 20m<sup>2</sup> de superfície, e correlacionar os resultados obtidos no mesmo com outros dispositivos como Classe A e o Evaporímetro de Piché.

Com referência a evaporação de superfícies de água, Wartena (1960), constatou que a evaporação ocorrida em tanques, está intimamente ligada às condições de temperatura do solo e de nebulosidade. Esse fato proporcionou estudos nos diferentes termos de balanço de energia incidente que penetra na água, onde concluiu-se que 8% de radiação de onda curta é refletida e, particularmente, a radiação difusa é refletida pelo fundo do tanque.

Alberio (1970), concluiu que o evaporímetro de Piché mostrou-se eficiente na determinação da evaporação de superfícies de água. Mesmo sendo colocado dentro do abrigo meteorológico, boas correlações são possíveis porque a evaporação neste dispositivo é ocasionada basicamente em função do vento e do déficit de saturação do ar atmosférico. Assim sendo, o emprego deste evaporímetro na estimativa da evaporação de superfícies de água torna-se acessível a inúmeras regiões e estações carentes de aparelhos.

Molle (1989) apresentou dado que relaciona a evaporação medida em tanques evaporimétricos "Classe A" com aquela calculada pelo rebaixamento de nível do espelho d'água em vários açudes (Tabela 2), sem levar em conta a infiltração. Os maiores coeficientes (acima de 0,9) foram atribuídos pelo autor ao efeito da infiltração e à maior exposição dos respectivos açudes ao vento.

**TABELA 02 - Valores médios do quociente entre a evaporação de açudes ( $E_{acu}$ ), medida pela variação do nível da água, e a evaporação do tanque "classe a" ( $E_{tan}$ ).**

AÇUDE	VOLUME ( $10^6 \text{ m}^3$ )	$E_{acu}/E_{tanque}$ (Média)	$E_{acu}/E_{tanque}$ (Desv. Pad)
Conceição (Riacho do Navio, PE)	1,78	0,86	0,1
Jatobá (Sumé, PB)		0,87	0,13
João Frágoso (Tauá, CE)		0,97	0,12
Juá (Tauá, CE)	1,3	0,95	0,13
Foquem (Tauá, CE)	1,5	0,85	0,12
Uruçu (Sumé, PB)	0,89	0,94	0,14

Fonte: Molle (1989).

Citam-se ainda trabalhos mais recentes que investigaram diferentes metodologias para determinação da evaporação com focos relativamente distintos.

Alguns autores relacionaram as taxas de evaporação utilizando diferentes tipos de evaporímetros em paralelo, como Araújo *et al* (2002), que comparou tanques de cimento amianto com classe A.

Malheiros (2003) comparou o método de covariâncias turbulentas atenuadas (MCTA) e o método do balanço de energia (MBE), durante dois anos, no lago de Itaipu, mostrando que o primeiro apresentou valores mais baixos que o segundo e sugeriu que o MBE não apresentava uma boa opção para este tipo de determinação, mesmo sendo considerado um método confiável por muitos engenheiros.

Todos os estudos apresentados, ainda que com focos bem diferenciados, basicamente resumem que as metodologias práticas (uso de evaporímetros) podem sempre ser ajustadas para diferentes ambientes em diferentes condições. É sempre importante, desta forma, que o pesquisador tenha opções diferenciadas de determinação para que possa aumentar a confiabilidade dos seus resultados. É ainda um consenso que os tanques de maior superfície sempre reproduzirão índices de evaporação mais próximas do real devido às condições de troca de calor, massa de água envolvida e conseqüente maior inércia a fatores meteorológicos.

## **2.2 – Redução da evaporação**

Com o intuito de reduzir a perda elevada de água por evaporação, houve intensa pesquisa em países atingidos por este problema, tendo, como conseqüência, surgido diversos tipos de técnicas de controle de evaporação em águas superficiais. Essas consistiam principalmente na redução dos efeitos dos principais parâmetros do processo evaporativo, vento e radiação solar. Para controle através do vento, surgiram os “quebra-ventos”, que podem ser flutuantes ou não flutuantes; enquanto que a redução do efeito da radiação solar é obtida através de coberturas sobre a massa líquida. As mais utilizadas são: (1) coberturas flutuantes que possuem alta refletividade (esferas brancas de polietileno, placas flutuantes etc.), e (2) filmes monomoleculares originários da colocação de certos álcoois sobre a superfície da água (FERREIRA FILHO, 1974).

Em um estudo realizado por Silans (2003) para a Revista Brasileira de Recursos Hídricos, o autor comenta diferentes técnicas que possibilitariam a redução da

evaporação como a utilização de plantas aquáticas, o uso de barreiras naturais e artificiais a montante do corpo hídrico para redução da velocidade do vento, a aplicação de corpos flutuantes das mais diversas formas e de filmes monomoleculares.

Entretanto, dentre todos os tipos de técnicas pesquisadas, a que despertou maior atenção dos estudiosos no assunto foi a dos filmes monomoleculares, pois apresentam vantagens primordiais sobre os outros, quais sejam: não oferecem perigo ao equilíbrio  $\text{CO}_2 - \text{O}_2$ , não impedem a reaeração, não influenciam nas características paisagísticas e têm fácil aplicabilidade.

### **2.3 – Utilização de filmes monomoleculares para redução da evaporação**

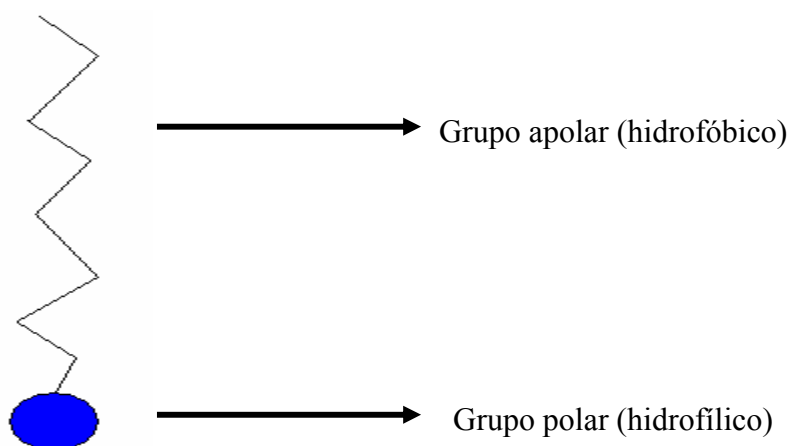
Diversos tipos de filmes para redução da evaporação foram testados em ensaios que se originaram por volta de 1925 (HEDESTRAND, 1925 e LANGMUIR, 1926), com o objetivo principal de encontrar substâncias que, além de reduzir as taxas de evaporação, pudessem apresentar vantagens como: suportar altas taxas de incidência eólica (BARNES, 1992), possuir boa velocidade de dispersão (LA MER, 1964), ter baixo coeficiente de solubilidade (BARNES 1997 e PENG, 1993 e PENG, 1999) e outros.

Alguns cientistas ainda testaram formadores de monocamadas das mais diversas espécies. Dentre as substâncias mais utilizadas, citam-se os ácidos graxos (LA MER, 1964), álcoois graxos de cadeia longa (BEAN, 1968) e composições mistas (GUGLIOTTI, 2004). Destes, os álcoois graxos, principalmente o octadecanol e o hexadecanol, foram os mais presentes nas pesquisas, porque reuniam boa parte das características almejadas (BARNES, 1992).

As pesquisas atuais apontam para a utilização de composições mistas (aquelas que compreendem, além da utilização do surfactante, o uso de uma terceira substância) com o intuito, principalmente, de diminuir a agregação (característica destes álcoois), aumentar a sua velocidade de dispersão e reduzir os custos.

### 2.3.1 – Filmes monomoleculares (Surfactantes e filmes de Langmuir)

Surfactante é uma palavra derivada da contração da expressão “*surface active agent*”, termo que significa, literalmente, agente de atividade superficial. Em outras palavras, um surfactante é um composto caracterizado pela capacidade de alterar as propriedades superficiais e interfaciais de um líquido<sup>6</sup>. O termo também deve ser utilizado para classificar as moléculas que possuem a propriedade de orientar-se na interface líquido-gás provocando uma diminuição na tensão superficial. As moléculas de surfactantes apresentam duas partes distintas, uma hidrofílica, formada por grupos polares que podem ser carregados ou não, e outra hidrofóbica (apolar), formada por cadeias hidrocarbônicas (Figura 2).



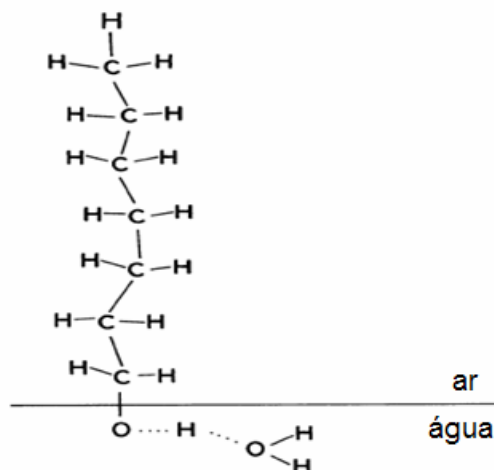
Fonte: Adaptado de Gugliotti (2001)

**FIGURA 2 – Representação da molécula de um surfactante com uma cadeia hidrocarbônica e um único grupo polar.**

Quando uma pequena quantidade de surfactantes é adicionada à água, suas moléculas orientam-se na interface de modo que a parte polar fica submersa e a parte apolar permanece voltada para o ar, formando assim uma monocamada, um filme cuja espessura é o próprio comprimento da molécula (Figura 3).

---

<sup>6</sup> Fonte: Dicionário Aurélio



Fonte: Gainer (1969)

**FIGURA 3 – Representação da orientação da molécula de um surfactante na interface ar-água.**

Benjamin Franklin (1774) talvez tenha sido o primeiro cientista a realizar um experimento com monocamadas do qual se tem registro. Em um ensaio realizado no século XVIII ele demonstrou que, com uma quantidade de óleo equivalente a uma colher de chá cheia, é possível recobrir a superfície de uma lagoa de aproximadamente 2000 m<sup>2</sup>.

Outros trabalhos importantes ajudaram a compreender melhor a natureza dos filmes de óleo espalhados sobre a água. Mas foi somente em 1917 que Irving Langmuir mostrou que as monocamadas comprimidas na superfície por meio de barreiras móveis flutuantes apresentavam diferentes propriedades estruturais devido à mudança na orientação e na proximidade das moléculas.

Desde o primeiro trabalho de Langmuir sobre a redução da evaporação com monocamadas em 1926, o estudo deste mecanismo tem recebido grande atenção pelo seu potencial tecnológico. Servem atualmente de modelo para o estudo de membranas biológicas, são utilizadas em camadas múltiplas para recobrimento de lentes para óculos com o objetivo de diminuir a reflexão da luz (filmes da Langmuir-Blodgett) e em diferentes tipos de substrato (GUGLIOTTI, 2001).

Sobre a capacidade de redução da evaporação que as monocamadas possuem, Gugliotti (2001) provou por meio de mecanismos ópticos de detecção, que a aplicação de surfactantes em interfaces líquido-gás atenua os efeitos de convecção diminuindo, conseqüentemente, a presença de ondas capilares.

Este fenômeno já é reportado pelo “senso comum” e provavelmente originou o dito popular “vamos por óleo sobre as água bravas” (“to put oil on trouble waters”), frase atribuída a Bede, o Venerável (ou *Venerabilis Baedae*, ca. 672-635 a.C.).

Esta capacidade pode ser explicada pelo surgimento de correntes contrárias de convecção criadas pela contração do filme, que originam pressões de re-expansão (“*back-spreading pressure*”). Tais pressões são produzidas devidos as correntes de convecção que surgem no sentido oposto daquela gerada por turbulência ou por gradientes de tensão superficial, ocasionadas por variações locais na temperatura da superfície.

A redução da tensão superficial que estas substâncias produzem, também diminui a tensão superficial e aumenta viscosidade superficial do líquido, conferindo à superfície uma maior elasticidade e tornando-a mais resistente a deformações (BARNES, 1986). Ferreira Filho (1974) ainda atribuiu à estruturação das moléculas do surfactante na interface líquido-gás como sendo uma barreira para passagem da molécula de água para o estado de vapor.

### 2.3.2 – Utilização de filmes monomoleculares para redução da evaporação.

Hedestrand (1924), um dos primeiros a estudar o efeito dos filmes monomoleculares sobre a evaporação da água em laboratório, não conseguiu mostrar qualquer redução significativa na evaporação de filmes de ácidos oléico e palmítico.

Posteriormente, Adam (1925) mencionou que poderia haver um erro nas experiências de Hedestrand face à existência de possível camada de ar estagnada próxima à superfície da água. Tal erro foi confirmado mais tarde por Rideal (1925) que, utilizando-se de técnicas experimentais mais aperfeiçoadas, mostrou, pela primeira vez, que filmes monomoleculares de ácidos estereático, láurico e oléico eram capazes de reduzir a evaporação, sendo que as reduções obtidas com tais ácidos foram da ordem de 28%, 42% e 52%, respectivamente, à temperatura ambiente de 25°C.

Langmuir e Langmuir (1926) mostraram que os filmes monomoleculares de hexadecanol eram mais significativos e eficazes na redução da evaporação do que aqueles de outras substâncias, como ácidos oléico, palmítico e álcool miricílico.

Mansfield (1953) mostra que filmes monomoleculares, embora menos eficientes que filmes multimoleculares, ofereciam melhores condições de aplicação prática, pois os filmes multimoleculares eram facilmente prejudicados pelo vento e pela poeira, o que não ocorria com os filmes monomoleculares.

Mansfield (1955) realizou, pioneiramente, pesquisas de campo a cerca da eficácia de filmes monomoleculares de hexadecanol, tendo obtido a redução média de evaporação da ordem de 30% em um lago de aproximadamente 0,8ha de área superficial. Ele também observou, em experiências de laboratório, que o hexadecanol, quando suficientemente puro, demonstrava as seguintes propriedades: (a) na forma sólida apresentava a cor branca; (b) quando derretido se mostrava incolor; (c) apresentava ponto de fusão variando de 47°C a 51°C, dependendo do grau de pureza.

No que diz respeito aos efeitos indiretos da aplicação do hexadecanol em reservatórios superficiais, os primeiros ensaios que se têm notícia foram os de Ludzack *et al* (1956) que apresentam resultados sobre oxidação biológica do hexadecanol em condições laboratoriais.

Timblin (1957) mostrou que as pesquisas efetuadas nos Estados Unidos apresentaram o hexadecanol, dentre outras 125 substâncias estudadas, como o mais eficiente no controle da evaporação, pois não apresentou perigo à vida humana e aquática, embora tenha se mostrado factível a metabolização por parte de microorganismos, especialmente por bactérias.

Berger (1957), em um estudo das possíveis influências produzidas pela aplicação do hexadecanol em superfícies livres, chegou à conclusão que o mesmo: (1) não produz problemas de toxicidade em peixes, (2) “possivelmente” não afeta a eficiência dos processos de tratamento de água e (3) é degradado por bactérias do gênero *Flavobacterium* e *Pseudomonas*.

Vines (1959) reporta que uma boa metodologia para aplicação de filmes monomoleculares de álcool cetílico, em grandes áreas seria dissolvidos em solventes de petróleo. Segundo o autor, após a aplicação, a solução se espalharia sobre a superfície e o solvente evaporaria deixando o álcool cetílico na superfície. Essa metodologia, entretanto foi descartada porque o solvente reduzia significativamente a resistência do filme ao vento bem como tornava o processo mais caro.

Barnes (1986) comenta que a eficiência de filmes monomoleculares na redução da evaporação é indiscutível, o problema se resumiria na manutenção do filme o maior intervalo de tempo possível para maximizar a redução da evaporação. Segundo o autor, os fatores que mais influenciavam na quebra do filme seriam o vento, ação bacteriana e radiação solar.

Durante o estudo realizado no lago Hefner, Silvey *et al* (1973) comentam que não houve modificações muito significativas no crescimento de algumas espécies de fungos e algas que foram identificados durante o estudo. Entretanto, relatam que a barreira que o álcool produzia a troca de gases e penetração da luz, pode ter influenciado, indiretamente, o decréscimo da população destes organismos.

Com relação à solubilidade, Myrick *at al* (1998), relatam que o álcool cetílico possui 41 ppb., ou seja, é praticamente insolúvel. Tal propriedade contribui para redução de possíveis impactos relacionados à dissolução deste álcool na água.

Os primeiros dados do Brasil foram do estudo de Ferreira Filho (1974) com aplicações de hexadecanol puro em tanques Classe A e GGI-3000 para determinação da redução. O autor apresenta que os melhores resultados de redução, cerca de 30%, foram obtidos para aplicações de 34,8 mg/m<sup>2</sup>.dia de hexadecanol granulado em tanques do tipo Classe A e de 40mg/m<sup>2</sup>.dia em tanques do tipo GGI-3000.

Barnes (1992) relata que os monofilmes são especialmente mais eficientes em condições onde as taxas de evaporação são elevadas. Tais condições incluem clima seco e quente e baixos índices de umidade relativa do ar. O mesmo autor comenta que em altas temperaturas o hexadecanol pode ser perdido através da superfície de aplicação por evaporação; também aconselha a introdução de materiais poliméricos na monocamada a fim de produzir uma maior resistência a ação do vento.

Gugliotti (2004) comenta que, em ensaios toxicológicos com *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia similis*, *Mysidopsis juniae* e peixes, só foi detectada toxicidade quando aplicado quantidades muito acima de 100mg/L.

Em sua grande maioria, os trabalhos foram conduzidos por entidades governamentais, o que explica a pouca divulgação da tecnologia na literatura científica a partir da década de 60. As décadas de 70 e 80 foram marcadas por poucos estudos sobre o mecanismo de ação dos antievaporantes, porém com os principais resultados coletados em

uma revisão de 1986 (Barnes, 1986). Mais recentemente, em função da preocupação mundial com a água, a técnica voltou a ser motivo de investigações científicas, resultando também no desenvolvimento de novas técnicas e novas composições antievaporantes.

Estudos recentes, publicados em julho de 2003 pela AWWA, em convênio com outras entidades como a Universidade de Anna na cidade de Chennai, Índia e o Centro Nacional de Estudos em Engenharia na China, apontam cerca de 40% de redução de evaporação em reservatórios de médio porte submetidos à aplicação de um produto a base de hexadecanol. Estes mesmos estudos reportaram que o produto não causa impactos negativos ao meio aquático, não modifica os níveis de oxigênio dissolvido e nem a temperatura dos reservatórios submetidos aos testes<sup>7</sup>.

Agostinho *et al.* (2004), em estudos de aplicação de hexadecanol em tanques de 20m<sup>2</sup>, mostrou as vantagens da utilização deste tipo de reservatório para estudos de evaporação superficial devido ao grande volume de água que o mesmo encerra.

---

<sup>7</sup> Fonte: AWWA (e-Journal), julho de 2003.

### **III - MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 – Fases da pesquisa e características da área experimental**

A pesquisa foi realizada no Estado do Ceará, constituindo-se, basicamente, de duas fases:

- 1- Otimização da quantidade de hexadecanol para aplicações em tanques de 20m<sup>2</sup> nas condições do semi-árido.
- 2- Estudo das possíveis influências oriundas da aplicação de hexadecanol nos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água.

O Estado do Ceará está localizado um pouco abaixo da linha do Equador, numa posição nitidamente tropical entre 2°46'30" e 7°52'15" de latitude sul e 37°14'54" e 41°24'45" de longitude ocidental, possuindo condições de alta insolação (2800 horas/ano) e de baixa nebulosidade (média: 3,70).<sup>8</sup>

A área experimental, onde se realizou a primeira etapa da pesquisa, está localizada na estação climatológica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. A escolha deste local se deu pelo fato da proximidade com

---

<sup>8</sup> Fonte: <http://www.ceara.com.br/cepg/recursoshidricos.htm>

a estação automática, equipamento recolhedor de todos os dados meteorológicos, e por ser uma área plana, sem edificações ou vegetação robusta que proporcionassem sombras ou barreiras naturais para se interferir a propagação do vento (Figura 4).



**FIGURA 4 - Área experimental - Estação Agrometeorológica da UFC. Fortaleza, Ceará. 2005.**

Para estruturação e obtenção dos dados experimentais relativos aos índices de evaporação e evaporímetros foi utilizada como base a metodologia desenvolvida por Ferreira Filho (1974). Para determinação dos dados relativos às características gerais da água foram utilizadas metodologias padrões contempladas pelo *Standard Methods* (2004).

### **3.2 – Método antievaporante**

Devido às propriedades do hexadecanol como supressor de evaporação, suas características de resistência à evaporação e sua capacidade de dispersão, os estudos desenvolvidos neste trabalho se concentraram especificamente nesta substância.

Para melhor confiabilidade dos resultados, a amostra utilizada foi devidamente caracterizada com relação ao tamanho dos grãos e níveis de pureza. O hexadecanol utilizado foi da Marca Synth gentilmente cedido pela empresa Lótus Química Ambiental.

Tendo em vista que o formato comercial de fornecimento deste álcool é em lentilhas e que o tamanho médio dos grãos é fator importante para a velocidade de dispersão e para eficiência do filme (BARNES, 1986), todas as amostras foram trituradas e peneiradas antes da aplicação.

A fim de determinar o tamanho médio dos grãos, as amostras foram submetidas a testes granulométricos utilizando a série 03 de peneiras (0,71-0,062mm), utilizada pela ABNT para caracterização de agregado miúdo<sup>9</sup>. As amostras foram divididas em quantidades de aproximadamente 70,00g. Os procedimentos para determinação dos percentuais passantes e retidos em cada peneira obedeceram aos padrões definidos pela norma NBR-7217/87, sendo adotado processo de agitação manual com períodos padronizados de 2 minutos.

O cálculo do tamanho médio dos grãos foi determinado como sendo a média ponderada dos percentuais retidos em cada peneira relativa ao tamanho médio da peneira para cada um dos ensaios. Após a determinação das médias ponderadas a granulometria média final foi adotada como sendo a média aritmética dos resultados obtidos nos dois procedimentos. Tendo em vista que tais álcoois não são contemplados nas classificações normais de agregado não se fez necessária a montagem de curvas granulométricas.

### **3.3 – Tanques evaporimétricos**

Tanques evaporimétricos são recipientes, abastecidos com água, usados para medir a evaporação que se processa na superfície líquida que delimitam. Fundamentam-se na aplicação do princípio da conservação da massa à água neles armazenada. Na prática, a medida da evaporação consiste em determinar a variação de nível (em mm) que a superfície líquida experimentou em um dado intervalo de tempo.

A fim de se obter os dados referentes à evaporação foram utilizados dois tipos

---

<sup>9</sup> Fonte: NBR 7217/87

de evaporímetros, quais sejam: o tanque “Classe A” e o tanque de 20m<sup>2</sup>, também conhecido como “Tanque Russo”. Tais tanques possuem as seguintes características:

### 3.3.1 – Tanque Classe A:

Um dos modelos de tanque evaporimétrico mais difundido no Ocidente e adotado no Brasil é o "Classe A", desenvolvido pelo *United States Weather Bureau* (Figura 5). Trata-se de um tanque não enterrado e não telado, com diâmetro de 1,21m, montado a céu aberto sobre uma grade de barrotes de madeira, colocada em nível. Como acessórios o tanque evaporimétrico "Classe A" possui um poço tranquilizador e um micrômetro (Figura 6).



**FIGURA 5 - Tanque evaporimétrico "Classe A" instalado com poço tranquilizador e anemômetro.**

O poço tranquilizador é instalado dentro do tanque, a cerca de 30 cm de sua borda e tem a finalidade de manter uma pequena parte da superfície evaporante praticamente isenta das ondulações causadas pelo vento, permitindo determinar seu nível com maior exatidão. É constituído por um cilindro, confeccionado com uma liga metálica não corrosiva (em geral bronze), tendo 9cm de diâmetro interno e 21,7 cm de altura (Figura 6) e que está fixado a uma base do mesmo material, dotada de três parafusos de nivelamento (para permitir colocar a borda do cilindro em posição horizontal).

O fundo do cilindro dispõe de um pequeno orifício, que assegura sua

comunicação com a água do tanque. No interior do cilindro, portanto, a água está ao mesmo nível que à sua volta, porém, a superfície líquida mantém-se muito menos agitada.



**FIGURA 6 – Poço tranquilizador de base triangular com parafusos de nivelamento nos vértices e micrômetro de gancho.**

O micrômetro (aparelho de medição) constitui-se por uma base de metal, dotada de três pinos de apoio, de uma rosca acoplada a um parafuso-sem-fim, acionada por um anel solidário a uma escala circular com divisões equivalentes a 0,02 mm. A rosca faz deslocar, para cima ou para baixo, um ajuste vertical que termina em gancho. Nessa haste está gravada uma escala cujas divisões equivalem a 1mm. Para efetuar a leitura, o micrômetro é apoiado na borda do tranquilizador e o anel é girado, até que a extremidade pontiaguda do gancho submerso tangencie a superfície da água. Os milímetros inteiros são indicados na escala vertical e os décimos e centésimos, no anel suporte da rosca.

### *3.3.2 – O Tanque de 20m<sup>2</sup> (Tanque Russo)*

Os tanques de 20m<sup>2</sup>, também conhecidos como Tanques Russos, são os reservatórios de referência utilizados pela *World Meteorological Organization* (WMO).

Este tanque evaporimétrico é cilíndrico, enterrado, com área superficial de 20m<sup>2</sup>, profundidade total de 2,10 metros, profundidade de lâmina d'água de 2,00m e conseqüente capacidade de 40m<sup>3</sup> (Figura 7).

Para realização dos ensaios, os tanques foram construídos em ferro-cimento, enterrados e impermeabilizados com manta asfáltica aluminizada de 3mm a fim de evitar perdas devido a processos de infiltração. O posicionamento foi definido de maneira que os dois se apresentassem a montante da incidência eólica do local no maior período possível, a fim de evitar a influência recíproca dos próprios tanques no processo evaporativo. Para evitar interferências externas como dessedentação de animais ou ainda interferências antrópicas, os reservatórios foram cercados por cercas que definem um perímetro de proteção sem produzir muita interferência na propagação eólica.

Para comparação dos efeitos foram construídos dois tanques idênticos e paralelos. A construção foi realizada no período de junho a setembro de 2003 através de um convênio estabelecido entre o Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, a Estação Agrometeorológica do Campus do Pici e o Núcleo de Pesquisas Christus.



**FIGURA 7 – Tanques de 20m<sup>2</sup> (Russos) para determinação da evaporação construídos na Estação Agrometeorológica da UFC em Fortaleza, Ceará.**

Devido à profundidade dos reservatórios não foi possível utilizar poços tranquilizadores padrões, do tipo utilizado em tanques Classe A. Dessa forma adaptou-se um poço tranquilizador em aço inox, com 50 centímetros de comprimento, fixo e nivelado externamente à borda dos tanques em uma base de concreto (Figura 8). Os poços possuem orifícios na base para entrada da água e conseqüente equiparação com o nível dos tanques.



**FIGURA 8 – Poço tranqüilizador em aço inox, adaptado para os tanques de 20m<sup>2</sup>.**

É importante salientar que após a construção destes reservatórios, somente duas estações meteorológicas no país passaram a possuir este tipo de evaporímetro, a estação do campus de Piracicaba, em São Paulo e atualmente a estação do Campus do Pici, em Fortaleza, Ceará.

### **3.4 – Medida do nível da lâmina de água**

As medições eram realizadas diariamente, sempre as 7:30 da manhã pelo mesmo operador e com o mesmo aparelho. Todas as medidas eram realizadas em duplicata utilizando como nível do dia a média aritmética dos valores lidos.

Para manter uma condição climatológica semelhante, os tanques precisavam ser recarregados periodicamente em intervalos de tempo que variavam de 10 a 30 dias de acordo com o período de realização do ensaio. Devido à facilidade operacional, e tendo em vista a paralisação que as recargas impunham ao processo de determinação de nível, as mudanças de dosagem eram realizadas concomitantemente às recargas dos tanques. Por este mesmo motivo os períodos de aplicação para cada dosagem variaram de acordo com a época de aplicação (períodos maiores em épocas de pluviometria e menores em épocas de estiagem).

Na segunda fase do experimento (com a dosagem já estabelecida), por razões estatísticas, foram fixados intervalos mínimos de 30 dias. Desta forma, eram aplicadas duas ou três recargas durante o período, devidamente registradas.

A água de abastecimento utilizada era proveniente do poço profundo que abastece a estação meteorológica e caracterizada com relação à turbidez, cor, temperatura, pH, salinidade, condutividade em todos os processos de recarga e periodicamente com relação a coliformes e fitoplânctons. Tais recargas eram realizadas simultaneamente para evitar abastecimentos diferenciados em cada tanque. Nos períodos de alta pluviometria (de março a junho de cada ano) as coletas eram paralisadas por consequência de transbordamentos e outros fatores que inviabilizavam determinações precisas dos índices de evaporação.

### **3.5 – Determinação da evaporação diária**

A evaporação diária em cada tanque (representada em milímetros/dia) foi obtida a partir da diferença entre os valores de nível em dias consecutivos. Simultaneamente a obtenção das medidas de nível, também é determinada diariamente a pluviometria. Desta forma, a evaporação era definida a partir da seguinte equação:

$$e_1 = (n_2 - n_1) - p_1 \quad (E1)$$

Onde  $e_1$  é a evaporação do dia 1,  $n_2$  é a leitura do micrômetro no dia 2 (dia imediatamente posterior ao dia 1),  $n_1$  é a leitura do micrômetro no dia 1 e  $p_1$  é a pluviometria do dia 1. Todos os dados foram coletados em duplicada.

### **3.6 – Divisão do estudo em fases**

Para melhor divisão do estudo o experimento foi dividido em duas grandes fases:

1. Fase 01: Destinada somente ao estudo mais detalhado da evaporação dos tanques, sua manutenção, processos de recarga e aplicação do hexadecanol. Nessa fase foram aplicadas diversas dosagens do produto, tomando como base

o trabalho de Ferreira Filho (1974), a fim de estabelecer uma dosagem de aplicação adequada às condições de realização do estudo. Realizada no período de junho a dezembro de 2004, esta fase foi marcada pela adaptação ao trabalho com Tanques Russos.

2. Fase 02: Destinada ao estudo da influência da aplicação do hexadecanol nas características bióticas e abióticas da água dos tanques. Realizada entre agosto de 2005 e fevereiro de 2006, esta fase foi dividida em três períodos distintos devido à reprodução inesperada de peixes no tanque 01.

Os tópicos abaixo fornecem informações mais detalhadas de cada uma das duas fases com seus respectivos períodos.

### **3.7 – Fase 01 – Otimização da quantidade de hexadecanol.**

A primeira fase do experimento teve como objetivo otimizar a quantidade de hexadecanol para as condições do estudo.

Tais ensaios foram realizados no período de junho a dezembro de 2004, sempre em intervalos de aplicação que tinham como limitante as recargas dos tanques. As quantidades iniciais de aplicação foram baseadas no trabalho de Ferreira Filho (1974), com extrapolações positivas e negativas devido às condições diferenciadas de clima entre as regiões de estudo (São Paulo e Fortaleza). Dessa forma, foram escolhidas para quantidades iniciais de aplicação os valores de 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80mg/m<sup>2</sup>.dia.

As aplicações eram feitas sempre no mesmo horário (7:30 da manhã) juntamente com a leitura do nível de cada reservatório pelo micrômetro de gancho e da pluviometria. Para excluir erro por diferenças não detectadas entre os tanques, as aplicações de hexadecanol foram aleatorizadas alternando-se, a cada mudança de dosagem, o tanque que recebia a aplicação. Entre dois períodos de coleta os tanques eram sempre recarregados até um nível pré-estabelecido por demarcações na borda (leitura 80,00 mm do micrômetro) através de torneiras de recargas instaladas nas proximidades de cada um e ligadas ao poço de abastecimento da estação agrometeorológica.

Os percentuais diários de redução da evaporação foram determinados sempre com referência ao tanque livre de hexadecanol através da equação E1.

### **3.8 – Fase 02 – Determinação de possíveis influências da aplicação de hexadecanol nas características bióticas e abióticas da água.**

Para determinação da influência do hexadecanol na qualidade da água dos reservatórios, a taxa de aplicação escolhida foi de 35 mg/m<sup>2</sup>.dia (obtida na primeira fase).

Esta fase foi dividida em três períodos distintos:

- Período I (outubro e novembro de 2005) - Foi realizado o monitoramento da evaporação de cada tanque para determinação da correlação entre os fatores meteorológicos e a redução da evaporação.
- Período II (dezembro de 2005 e janeiro de 2006) - Foi a primeira etapa de avaliação da influência do hexadecanol na qualidade da água dos tanques, marcada por uma diferenciação na biota aquática. Neste período também foram determinados o percentual de evaporação diário, total de litros economizados e realizado um estudo de evaporação acumulada
- Período III (fevereiro e março de 2006) - Foi avaliada a influência do hexadecanol na qualidade da água dos tanques, a partir de uma biota aquática mais estável e homogênea. Nesta fase também foram feitas coletas triangulares e avaliada a velocidade de dispersão do surfactante.

Para os períodos II e III os parâmetros abióticos da água (salinidade, condutividade e pH) foram determinados “*in situ*” através da utilização de eletrodos específicos (condutivímetro da marca ORION e pH-metro (potenciômetro), mod. 60 da marca YSI.).

Para determinação da turbidez as amostras (100 mL) eram coletadas em garrafas esterilizadas e levadas para o Laboratório de Qualidade de Água do departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (SELAQUA), onde eram determinados em turbidímetro da marca HACH modelo 2100P.

A temperatura foi determinada “*in situ*” de duas maneiras.

1. Em todos os períodos, diariamente com termômetro digital Minipa.
2. Nos períodos I e II, foram gentilmente cedidos pela Estação Agrometeorológica, termopares do tipo T (cobre-constantan) ligados a Estação Automatizada (*datalogger* da Campbell Scientific, Inc, modelo: CR 10X) que determinavam os valores máximo, mínimo e médio da temperatura superficial da água em intervalos de 30 minutos. Os termopares foram enterrados sob o solo, protegidos por tubulação de PVC até os tanques, e mergulhados a uma profundidade de 10cm. Os dados eram retirados quinzenalmente do datalogger, utilizando um módulo armazenador e levados para o computador onde se procedeu a transferência dos mesmos através do software (PC 208W, Campbell Scientific, Inc).

Resultados preliminares (AGOSTINHO *et al.* 2004) mostraram que, devido ao pequeno volume de água reservado e a regularidade na geometria dos Tanques Russos, não era necessário fazer a coleta destes parâmetros em perfis diferenciados de profundidade (Apêndice G). Por este motivo as mesmas foram realizadas subsuperficialmente (30 cm) em três pontos distintos (dispostos triangularmente conforme ilustração mostrada na figura 64 (A), nos documentos em anexo).

Para estudo dos parâmetros microbiológicos, as coletas foram realizadas semanalmente sempre a 30 centímetros da superfície, no centro do tanque, em frascos de coleta específicos para o procedimento.

A quantificação do fitoplâncton foi realizada em câmara de Sedgwick-Rafter (S-R), segundo procedimentos descritos em Clesceri *et al.* (1999) Foi examinado um transecto para cada amostra na câmara de S-R. As densidades em número de células/mL foram estimadas multiplicando-se o número de indivíduos contados (indivíduos/mL) pelo número médio de células por indivíduo (tricomas ou filamentos e colônias ou cenóbios), o qual foi definido pela medição de ao menos 30 indivíduos para as espécies mais abundantes. A acuracidade da quantificação foi calculada como a margem de erro vinculada ao número médio de indivíduos contados da espécie dominante, gerando um

intervalo de confiança com 95% chance de ocorrer, pela aplicação da fórmula apresentada em Clesceri *et al.* (1999) para o cálculo do erro:

$$Erro = \frac{2}{\sqrt{N}} * 100 \quad (02)$$

Onde N é o número de indivíduos contados da espécie dominante.

Os organismos fitoplanctônicos foram identificados em nível específico sempre que possível, de acordo com literatura recente (Divisão *Cyanobacteria*, classe *Cyanophyceae*: Komárek & Anagnostidis (1986; 1999) e Anagnostidis & Komárek (1988); Divisão *Chlorophyta*, Classe *Chlorophyceae*, Ordem *Chlorococcales*: Komárek & Comas (1984) e Comas (1996)).

As análises fúngicas e bacteriológicas foram feitas pelo Laboratório Integrado de Água de Mananciais e Residuárias (LIAMAR), CEFET Ceará

A fim de propiciar o controle biológico de larvas de mosquitos nos reservatórios e aproximar as condições experimentais daquelas encontradas em escala real, foram introduzidos em cada tanque 05 exemplares de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), gentilmente cedidos pela Estação de Piscicultura da Universidade Federal do Ceará, machos, cada um com massa corporal em torno de 200g, previamente determinadas para possibilitar uma análise futura da influência do produto no desenvolvimento destes animais.

Os parâmetros iniciais de qualidade da água de cada tanque foram pré-determinados, estipulou-se um período de 05 dias para início das coletas a fim de permitir uma maturação e estabilização das comunidades planctônicas nestes ambientes.

Os tópicos abaixo comentam sobre as particularidades de cada período.

### 3.8.1 – Fase 02 – Período I

Para coleta de dados desta fase, os dois tanques foram completamente esvaziados e preenchidos igualmente com água proveniente do poço da estação

agrometeorológica. Os níveis foram estabilizados e aplicou-se hexadecanol no tanque 01, diariamente, na dosagem de 35 mg/m<sup>2</sup>.dia (dosagem otimizada na fase 01).

O objetivo desta análise, em primeiro plano, é verificar a correlação entre as variáveis climatológicas e a redução da evaporação mediante aplicação de hexadecanol, obtendo, por conseguinte, uma relação confiável entre os termos a fim de que seja possível visualizar quais destes parâmetros climatológicos podem estar melhor relacionados com a redução.

O “percentual de redução da evaporação” foi determinado através da equação E3:

$$P(\%) = \left( 1 - \frac{e_1}{e_2} \right) * 100 \quad (E3)$$

Onde  $e_1$  representa a evaporação do tanque 01 (com hexadecanol) e  $e_2$  a evaporação do tanque 02 (sem hexadecanol).

Como a relação que se pretende analisar é uma relação de dependência, constituída por múltiplas variáveis sendo uma dependente (critério) e várias independentes (preditoras) e que todas são métricas, optou-se pela aplicação de uma regressão múltipla. Desta forma, para satisfazer às exigências que este tipo de teste demanda, todas as seqüências de dados tiveram que ser testadas com relação a sua normalidade, homocedasticidade e linearidade. Para determinação do tamanho mínimo das amostras adotou-se o valor aconselhado por Hair *et al* (2005) que estabelece uma população mínima igual a cinco vezes a quantidade de variáveis independentes (25 medidas).

Para avaliação da normalidade nas variáveis métricas utilizou-se a análise dos gráficos de probabilidade normal (TRIOLA, 2005). Complementarmente à análise gráfica foram utilizados alguns testes estatísticos que refletem a forma de distribuição (assimetria e curtose), bem como um teste estatístico de normalidade (Kolmogorov-Smirnov).

Nos testes de normalidade baseados na assimetria e na curtose utilizou-se como valores críticos  $\pm 1,9600$ , correspondente a um nível de significância  $\alpha = 0,05$ . No teste Kolmogorov-Smirnov adotou-se como valor de referência 0,200 para um nível de significância também  $\alpha = 0,05$ . Associado a estes testes também foram observadas

possíveis assimetrias apresentadas nos gráficos de probabilidade normal e dispersões nos histogramas (MONTGOMERY *et al*, 2003).

As correções utilizadas para adequação das variáveis foram à função inversa e a raiz quadrada. As variáveis cujas adequações não produziram modificações significativas nos testes ou nas distribuições mantiveram seus valores originais ou foram descartadas.

Para a avaliação de adequação foi utilizado o método de eliminação progressiva (*stepwise*) com nível de significância  $\alpha = 0,05$ . Todos os testes foram feitos utilizando-se dois softwares: o “SPSS” (*Statistical Package for the Social Sciences*) 8.0 *for windows* e o *Excel*, versão 2003, da *Microsoft*.

### 3.8.2 – Fase 02 – Período II.

Neste período foram aplicados testes de hipóteses comparando o desvio padrão das amostras, estes destinados à análise de amostras aleatórias simples, com populações independentes e distribuição normal.

A metodologia de verificação do teste utilizada foi: o método do valor P e o método do intervalo de confiança mantendo-se o nível de significância  $\alpha = 0,05$ . Apesar das amostras utilizadas serem compostas sempre por populações com mais de 30 dados, todas foram testadas quanto a sua normalidade por meio de métodos estatísticos de simetria (assimetria e curtose), pelo teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, bem como pela análise dos histogramas, gráficos de probabilidade normal e diagramas de caixa (*box plot*). As ferramentas utilizadas foram às mesmas do período anterior.

Neste mesmo período os dados de evaporação coletados ainda permitiram a composição de gráficos para determinação do percentual de evaporação diário, total de litros economizados e um estudo de evaporação acumulada para visualização comparativa do comportamento do fenômeno em cada tanque.

### 3.8.3 – Fase 02 – Período III:

No período III, os tanques passaram por um processo de equalização obedecendo a seguinte seqüência: O tanque 02 foi completamente esvaziado, retirado todos

os seus peixes e limpo, tendo sua água completamente descartada. Em seguida o tanque 01 foi esvaziado e a água do seu interior transferida para o tanque 02 (já seco e limpo). Após a devida limpeza do tanque 01 e a retirada completa dos peixes, metade da água contida no tanque 02 foi transferida para o mesmo até que os dois atingissem aproximadamente o mesmo volume de água (cerca de 20.000 litros). Em seguida foram acionadas as torneiras de recarga até que a água atingisse o nível máximo. Por fim foram separados mais cinco peixes da espécie Tilápia do Nilo e colocados em cada tanque. A colocação dos peixes foi mantida visando o controle do vetor dos vírus da DENGUE – o mosquito *Aedes aegypti* - tanto quanto para maior rapidez no processo de maturação dos tanques, levando em consideração que os peixes tornam a ciclagem de nutrientes para o fitoplâncton mais rápida.

O teste de hipótese aplicado nesta etapa foi um teste para amostras aleatórias simples, com populações independentes, distribuição normal sobre as médias populacionais. As metodologias de verificação do teste utilizadas foram: o método do valor P (para um nível de significância de 5%) e o método do intervalo de confiança com um intervalo de confiança de 95% e conseqüente nível de significância de 5%. Para validação do teste todas as amostras foram testadas com relação à normalidade, homocedasticidade e linearidade, pelos mesmos métodos que foram adotados na fase 01, anteriormente comentados.

Devido ao fato de que o final do período de coletas já apresentava influências significativas de pluviometria houve uma paralisação prematura (anterior ao período previsto de 30 dias) com 23 dias de aplicação do ensaio.

Neste período ainda apresentam-se resultados da interferência do hexadecanol na comunidade de peixes e referentes à velocidade de dispersão da monocamada sobre a superfície do líquido, analisados da seguinte forma.

#### 3.8.3.1 – Influência do surfactante na microbiota.

Para estudo de uma possível influência da aplicação do surfactante na microbiota, foram escolhidos peixes da espécie Tilápia do Nilo (*Oreochromis Niloticus*) por suas características de adaptação em ambientes insalubres e pela disponibilidade de

fornecimento dos mesmos pelo Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará.

Tais ensaios foram realizados durante toda a segunda etapa do experimento. Utilizou-se 10 machos revertidos hormonalmente (17  $\alpha$  metiltestosterona), com peso vivo inicial médio de 207,6g. Todos os animais foram pesados individualmente no início e no final do período de aplicação do surfactante, em balança digital com precisão de até 0,1g em balde de plástico, devidamente tarado. Depois de pesados foram introduzidos cinco animais em cada tanque. Os parâmetros de desempenho produtivo avaliados seguiram a metodologia adotada por BACCARIN *et al* (2001) e foram os seguintes: ganho de peso (GP), taxa de crescimento específico (TCE) e porcentagem de mortalidade (PM) nas duas fases experimentais, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$GP = Pf - Po \quad (E4)$$

$$TCE = 100 \times \left( \frac{\ln(Pf) - \ln(Po)}{\Delta T} \right) \quad (E5)$$

$$PM = 100 \times (No - Nf) \quad (E6)$$

Sendo  $P_f$  o peso do peixe em gramas no final do ensaio,  $P_o$  o peso do peixe em gramas no início do experimento,  $\Delta T$  o intervalo de duração do experimento em dias,  $N_o$  o número de peixes no início do experimento e  $N_f$  o número de peixes no final do experimento.

Durante todo o período do ensaio optou-se pelo não fornecimento de ração aos peixes por causa das possíveis interferências que a mesma poderia causar ao experimento e pela existência de microbiota suficiente para alimentação dos espécimes nos tanques.

### 3.8.3.2 – Determinação da velocidade de dispersão do surfactante

A velocidade de dispersão foi determinada na segunda fase do experimento em paralelo a aplicação do surfactante.

Para tanto, eram determinados os intervalos de tempo, através de cronômetro manual, necessário para o completo recobrimento do tanque em aplicação. O resultado desta velocidade se apresenta como sendo o quociente entre a superfície recoberta ( $20\text{m}^2$ ) e o intervalo de tempo necessário a este recobrimento em segundos, ficando, desta forma, definida em metros quadrados de superfície recoberta por segundo.

### **3.9 – Parâmetros Meteorológicos.**

Todos os dados climatológicos utilizados no estudo foram cedidos pela Estação Agrometeorológica do Campus do Pici localizada na mesma área de construção dos tanques.

De acordo com sua natureza, os dados utilizados eram obtidos de duas diferentes formas:

1 – Umidade relativa do ar, velocidade do vento, temperatura média do ar e radiação líquida e global: Retirados quinzenalmente do *datalogger* da Estação Agrometeorológica, utilizando um módulo armazenador PC 208W, *Campbell Scientific, Inc.*

2 – Precipitações: Obtidas através da leitura de pluviômetro, modelo “Ville de Paris”, pelo operador da estação convencional em três horários distintos (9h, 15h e 21h).

## IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os comentários apresentados a seguir baseiam-se nos dados obtidos nos apêndices do A ao H, e da metodologia descrita no capítulo anterior.

### 4.1 – Caracterização da amostra

#### 4.1.1 – Caracterização do hexadecanol

As tabelas abaixo apresentam os resultados obtidos na análise granulométrica realizada com a amostra triturada de hexadecanol.

**TABELA 03 - Análise granulométrica realizada com a amostra triturada de hexadecanol para utilização nas aplicações.**

Peneira (mm)	Massa retida(g)	Acumulada	Percentual Retido	Percentual x Malha
0,71	0,3	0,3	0,2	0,126
0,5	8,0	8,2	5,6	2,787
<b>0,35</b>	<b>25,6</b>	<b>33,8</b>	<b>17,9</b>	6,267
<b>0,25</b>	<b>22,6</b>	<b>56,4</b>	<b>15,8</b>	3,962
0,21	0,1	56,5	0,0	0,008
0,177	4,3	60,8	3,0	0,531
0,062	7,7	68,5	5,4	0,336
fundo	0,3	68,8	0,2	0,0
<b>Média Ponderada</b>				<b>0,292</b>

**TABELA 04 - Réplica da análise granulométrica realizada com a amostra triturada de hexadecanol para utilização nas aplicações.**

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Massa retida(g)</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Percentual Retido</b>	<b>Percentual x Malha</b>
0,71	0,3	0,3	0,2	0,1255422
0,5	10,0	10,3	7,0	3,5
<b>0,35</b>	<b>21,2</b>	<b>31,5</b>	<b>14,8</b>	5,194
<b>0,25</b>	<b>19,4</b>	<b>50,9</b>	<b>13,6</b>	3,395
0,21	0,3	51,2	0,2	0,0441
0,177	8,3	59,5	5,8	1,02837
0,062	8,7	68,2	6,1	0,37758
fundo	0,7	68,9	0,5	0
<b>Média Ponderada</b>				<b>0,286</b>

Os valores apresentados mostram que o processo utilizado de trituração determinou uma amostra final de hexadecanol com tamanho médio dos grãos na ordem de 0,29 mm. Barnes (1986) já apresentava preocupação com o tamanho dos grãos da amostra e explica que grãos menores aumentam sua velocidade de dispersão. O mesmo autor comenta ainda que o tamanho da partícula pode influenciar a dispersão tendo em vista que grãos maiores podem ser recobertos por partículas de poeira ou mesmo servir como meio de cultura para certos microorganismos. Gugliotti (2002), já com esta preocupação, comenta a utilização de amostra com grãos entre 1 e 3 milímetros, em ensaios de bancada, com eficiência na redução da evaporação da ordem de 30%.

No decorrer dos ensaios foi observada certa aglomeração de surfactante dentro do depósito utilizado para transporte do mesmo até o ponto de aplicação. Tais aglomerações, entretanto, se desfaziam no momento da aplicação do material na água. Tal fato, entretanto, não provocou mudanças no tamanho das partículas devido, exatamente, a dissolução no momento da aplicação.

#### *4.1.1 – Caracterização da água bruta utilizada para recarga dos tanques.*

A tabela 05 apresenta a análise preliminar da água utilizada para abastecimento dos tanques.

**TABELA 05: Características da água bruta utilizada na recarga dos tanques (valores médios).**

Parâmetro	Valor
Turbidez	1,2 uT
pH	8,3
Condutividade	832 $\mu$ S
Salinidade	0,4 ‰
Colimetria	Ausente
Fitoplâncton	Ausente

#### 4.2 – Fase 01.

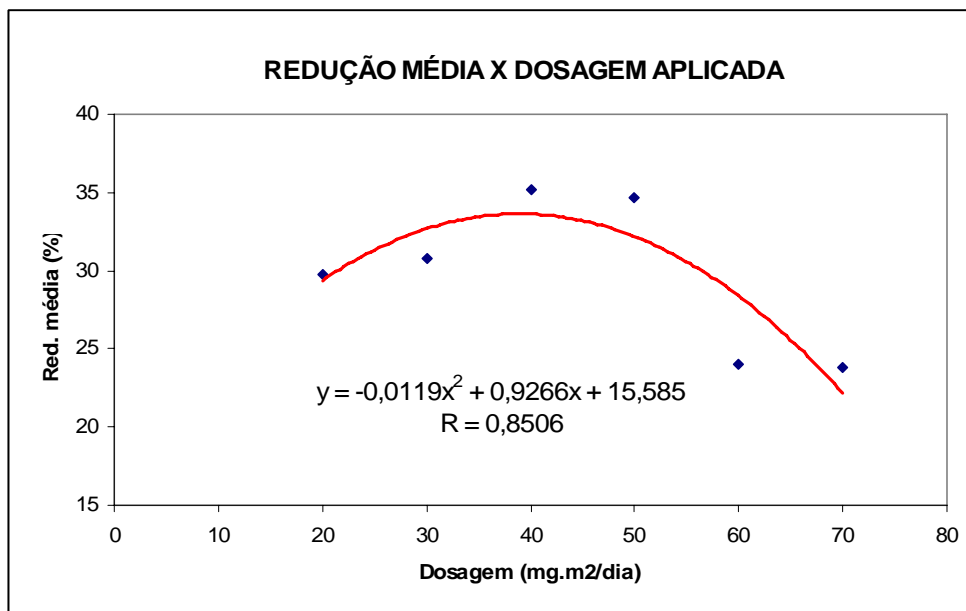
Os dados apresentados na tabela abaixo representam de forma resumida os percentuais de redução obtidos durante a primeira fase dos ensaios para as diversas dosagens de hexadecanol no período de agosto a dezembro de 2004.

**TABELA 06 – Percentuais de redução obtidos após a aplicação diária de diferentes quantidades de hexadecanol.**

Dia	Quantidade de Hexadecanol (mg.m2/dia)					
	20	30	40	50	60	70
1	31,1	26,3	33,2	40,7	16,9	1,3
2	19,6	19,7	39,3	38,6	28,6	27
3	16,7	23,9	38,5	32,9	18	8,9
4	20,6	29,5	32,5	30,6	28,9	28,6
5	18,4	20,5	27,5	34,4	33,1	47,8
6	32,7	32,6	37,7	26,5	22,5	24,3
7	39,4	37,8	39	38,5	19,8	21,3
8	40,5	39,3	34	35,5	35,8	42,9
9	39,5	39,5			12,9	12,5
10	39	39				

Os valores apontam percentuais de redução da evaporação variando entre 1,3% e 47,8%. Tais valores condizem com taxas apresentadas pela literatura como a taxa de redução de 9% encontradas nos ensaios realizados no lago Hefner (SILVEY *et al*, 1973), de 20% apresentadas por Gugliotti (2005) durante aplicações em espelhos d'água e de 60% apresentadas por La Mer (1965).

Após determinadas às taxas de redução para cada dosagem, o gráfico abaixo foi montado para facilitar a visualização da quantidade ideal nas condições do experimento.



**FIGURA 9 - Gráfico representativo da relação entre a quantidade de hexadecanol e as taxas médias de redução da evaporação encontradas.**

Dentre as opções testadas para adequação dos pontos a função polinomial foi a que melhor se ajustou à distribuição em questão. O coeficiente de Pearson encontrado para este modelo foi  $R = 0,8506$ , apresentado na figura e aceitável para um nível de significância  $\alpha = 0,05$ , em uma população com 6 indivíduos (apêndice E). Através da equação sugerida pelo modelo, em um processo de derivação simples, o valor de X encontrado para o máximo da função ficou estabelecido em  $38,933 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{dia}$ .

O resultado demonstra que existe uma relação entre a eficiência do hexadecanol e a dosagem aplicada, e explicita que o surfactante tem seu rendimento comprometido em baixas e em altas taxas de aplicação.

A redução da eficiência para dosagens pequenas pode ser explicada devido ao fato de que é necessária uma quantidade mínima de surfactante para cobrir a superfície e resistir a ações negativas como o vento e a degradação microbiológica. Gainer *et al.* (1969) e Mansfield (1953) comentam que altas dosagens de surfactante produzem um efeito acumulativo que diminui a capacidade que o filme possui de reduzir a tensão superficial,

sua atuação sobre a redução das ondas capilares e, conseqüentemente, sobre a redução da evaporação.

A quantidade ideal de hexadecanol para as condições do experimento, entre 30 e 40mg.m<sup>2</sup>/dia, estão em concordância com aqueles encontrados por Ferreira Filho (1974) que determinou uma quantidade de 34,8 mg.m<sup>2</sup>/dia em experimentos realizados com tanques Classe A em São Carlos, São Paulo. A tendência um pouco mais elevada encontrada nestes experimentos em particular, justificam-se pelas condições mais adversas do clima semi-árido.

Pesquisas recentes que versam sobre a utilização de produtos semelhantes (GUGLIOTTI, 2005), apontam para taxas de utilização de 10 mg/m<sup>2</sup>.dia de hexadecanol, com redução variando entre 14% e 55%, em condições climáticas semelhantes aquelas encontradas no Semi-Árido, mas em pequenos intervalos de aplicação (15 dias).

A dosagem escolhida para continuidade dos testes nas fases seguintes será, desta forma, de 35 mg/m<sup>2</sup>.dia, o valor utilizado nesta fase mais baixo e mais próximo do ideal por questões econômicas, pelo fato de que, segundo a literatura (BARNES, 1989), não é necessário que o filme recubra a superfície completamente para que se obtenha bons níveis de redução e ainda por que o objetivo maior deste estudo compreende os efeitos do hexadecanol na qualidade da água e não um estudo sobre taxas de eficiência.

Apesar do longo período de experimentação da primeira fase (05 meses), os dados finais só foram obtidos nos ensaios realizados durante os últimos dois meses de coleta devido aos períodos de estabilização exigidos para confirmação da inexistência de infiltrações nos tanques, a difícil operação que exige o Tanque Russo e por outras perdas ocasionadas por interferências externas como dessedentação de animais e fatores não identificados.

#### 4.3 – Fase 02 / Período I

No primeiro período foi escolhida uma dosagem de 35 mg.m<sup>2</sup>/dia de aplicação por consequência dos resultados obtidos na primeira fase.

A tabela abaixo mostra os valores de evaporação dos dois tanques e as taxas de redução obtidas nesta fase do experimento.

**TABELA 07 – Evaporação nos tanques 01 e 02 com respectivo percentual de redução para uma taxa de aplicação diária de 35 mg/m<sup>2</sup> no tanque 01.**

<b>Dia</b>	<b>Evaporação 01 (mm)</b>	<b>Evaporação 02 (mm)</b>	<b>Per. Reduzido (%)</b>
19/out	7,0	8,5	17,48
20/out	7,5	8,0	6,39
21/out	7,6	7,1	-7,68
22/out	7,1	7,3	3,14
23/out	7,0	7,4	5,63
24/out	7,5	9,0	16,69
25/out	6,5	7,2	9,72
26/out	5,4	8,2	33,88
27/out	5,0	6,3	20,98
28/out	5,1	6,4	21,37
29/out	5,3	5,8	8,79
30/out	5,3	6,7	20,85
31/out	5,5	6,7	17,44
1/nov	5,9	6,8	13,35
2/nov	7,3	7,5	2,72
3/nov	8,0	8,7	7,11
4/nov	10,4	9,5	-9,02
5/nov	4,9	7,1	30,37
6/nov	6,5	7,2	9,72
7/nov	6,9	7,4	6,61
8/nov	5,8	7,7	24,64
9/nov	7,8	7,5	-3,25
10/nov	6,7	6,1	-9,59
11/nov	5,0	7,0	28,81
12/nov	4,8	5,9	17,18
13/nov	5,6	6,7	17,09
14/nov	6,9	7,2	3,96
15/nov	7,2	6,9	-4,66
16/nov	22,2	9,8	

Neste ensaio o Tanque 01 recebe aplicações diárias de hexadecanol na quantidade de 35mg.m<sup>2</sup>/dia e o Tanque 02 está livre. Os valores encontrados apresentaram uma taxa média de redução da evaporação para o período de 10%. Com níveis que

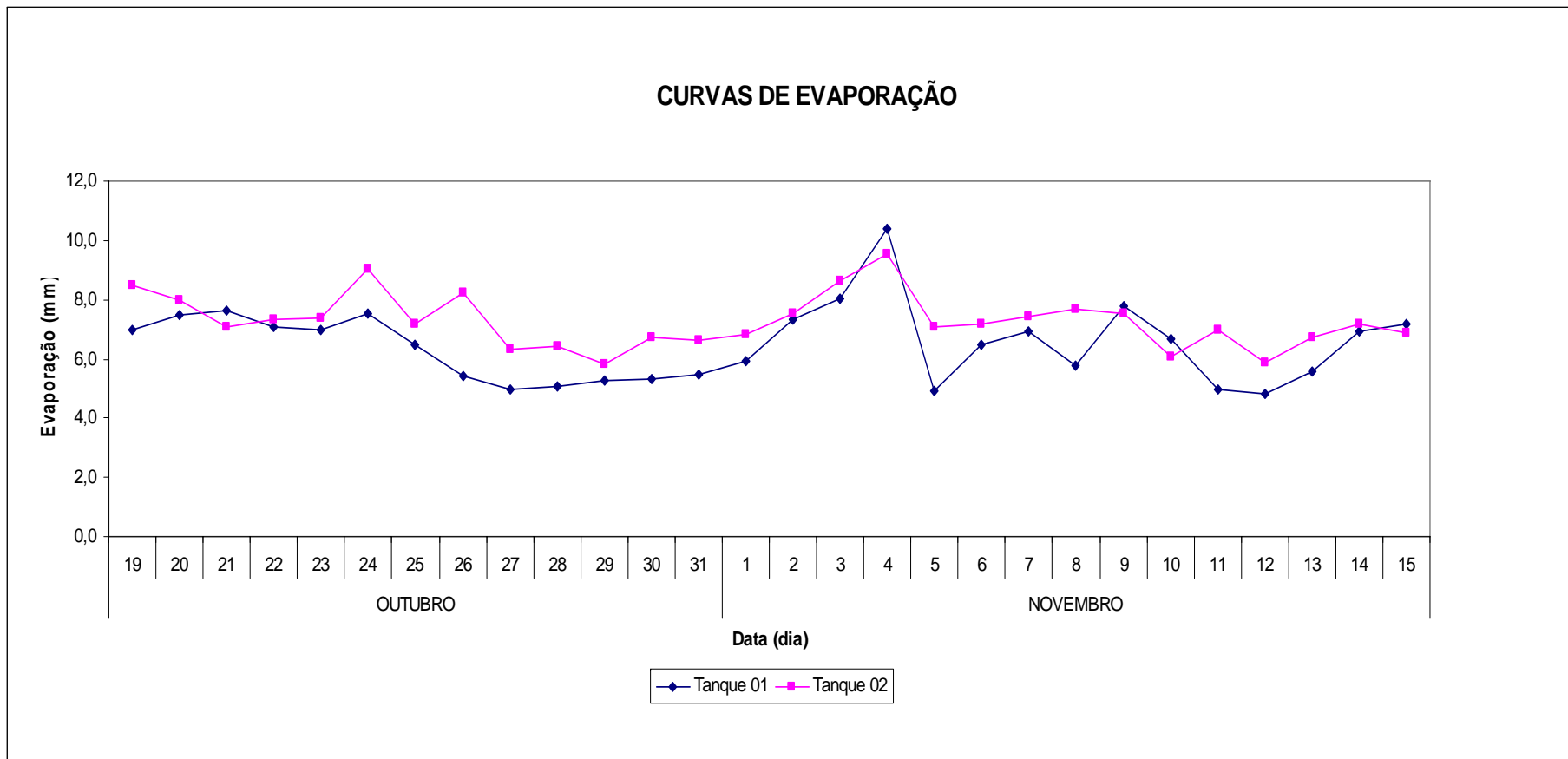
variaram de -9,59% (o tanque com hexadecanol evaporou cerca de 9% a mais que o tanque sem o produto) chegando a até 34% de redução.

Aumentos da evaporação no tanque com filme (quando o tanque coberto por surfactante evapora mais que o livre) podem ser vistos nos dias 21 de outubro e 4, 9, 10 e 15 de novembro da tabela 07. Tais fenômenos também foram observados por Ferreira Filho (1974) e por Agostinho *et al.* (2004). Os dois autores defendem que tais fenômenos podem ser justificados pela quebra da monocamada causada por picos de incidência eólica que produzem evaporações elevadas no tanque tratado com surfactante, devido aos níveis elevados de temperatura que o filme provoca no corpo hídrico.

Mansfield (1953), afirmou, entretanto, que ventos fortes podem favorecer a redução da evaporação, e não o seu aumento, na presença de filmes monomoleculares, devido ao fato de que os filmes resistem consideravelmente à ação eólica. Barnes (1992), por sua vez, comenta a velocidade do vento como um dos fatores mais negativos no processo de redução.

Não foi avaliada de maneira mais aprofundada, uma correlação entre tais fenômenos e os fatores climatológicos (que certamente poderia servir de base para esclarecimentos sobre o tópico). Contudo, o apêndice A (Tabela A.1), apresenta alguns dados climatológicos coletados para o período com os respectivos níveis em cada tanque e a taxa de redução da evaporação.

A figura 10 mostra as curvas de evaporação dos tanques 01 e 02 para este período de observações e apresenta o comportamento dos dois tanques durante toda a coleta. Em seguida apresentam-se os gráficos de velocidade do vento (figura 11), umidade relativa do ar (figura 12), radiação líquida (figura 13) e temperatura média do ar (figura 14), emparelhados com as curvas de evaporação em cada tanque no mesmo período. Tal procedimento possibilita uma visualização mais direta da existência de correlações entre os fatores climatológicos e a redução da evaporação.



**FIGURA 10 – Evaporação dos tanques 01 (35 mg/m<sup>2</sup>.dia de hexadecanol) e 02 (livre) para o primeiro período de observação da segunda fase.**

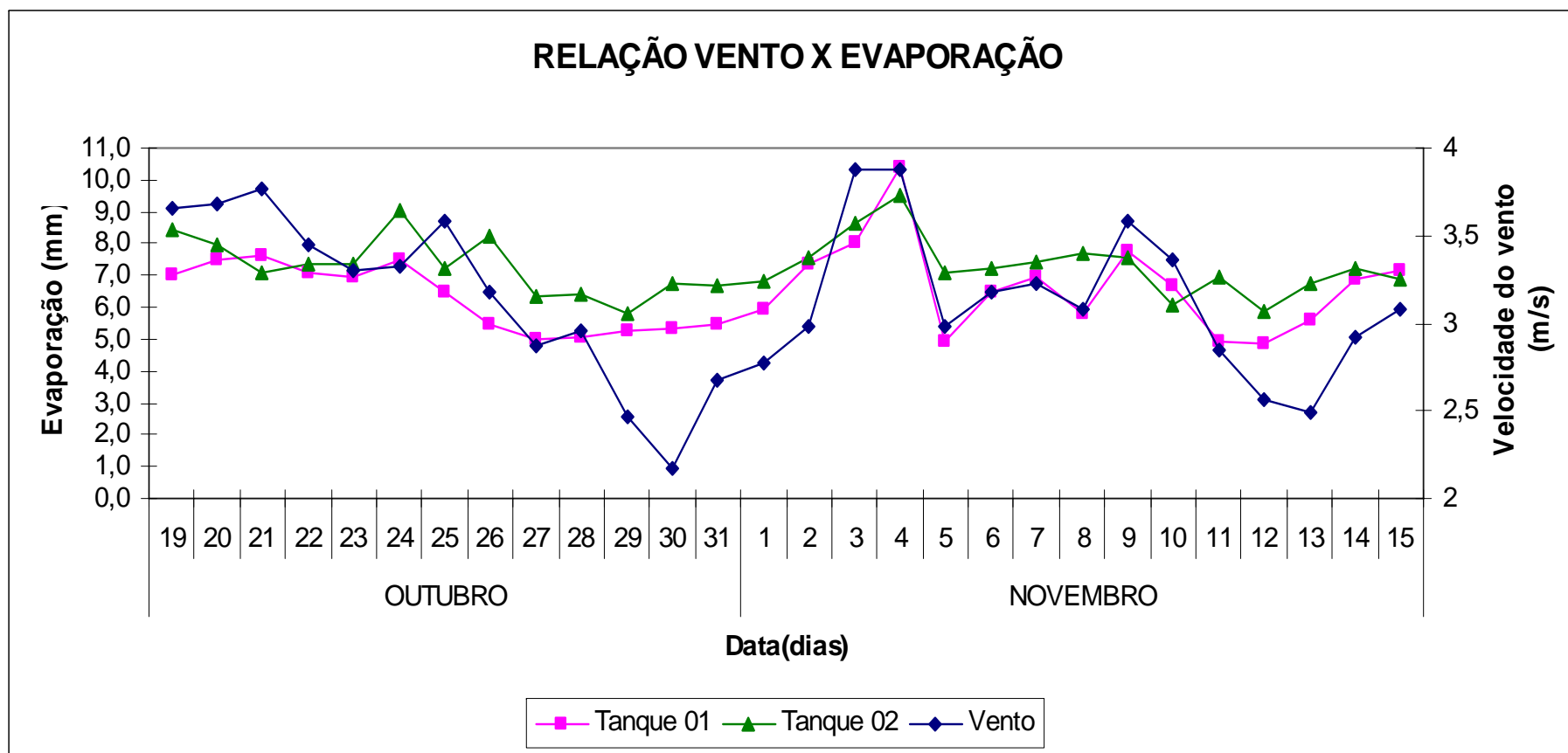


FIGURA 11 – Evaporação nos Tanques 01 (35 mg/m<sup>2</sup>.dia de hexadecanol) e 02 (livre) e a velocidade do vento pra o mesmo período de aplicação.

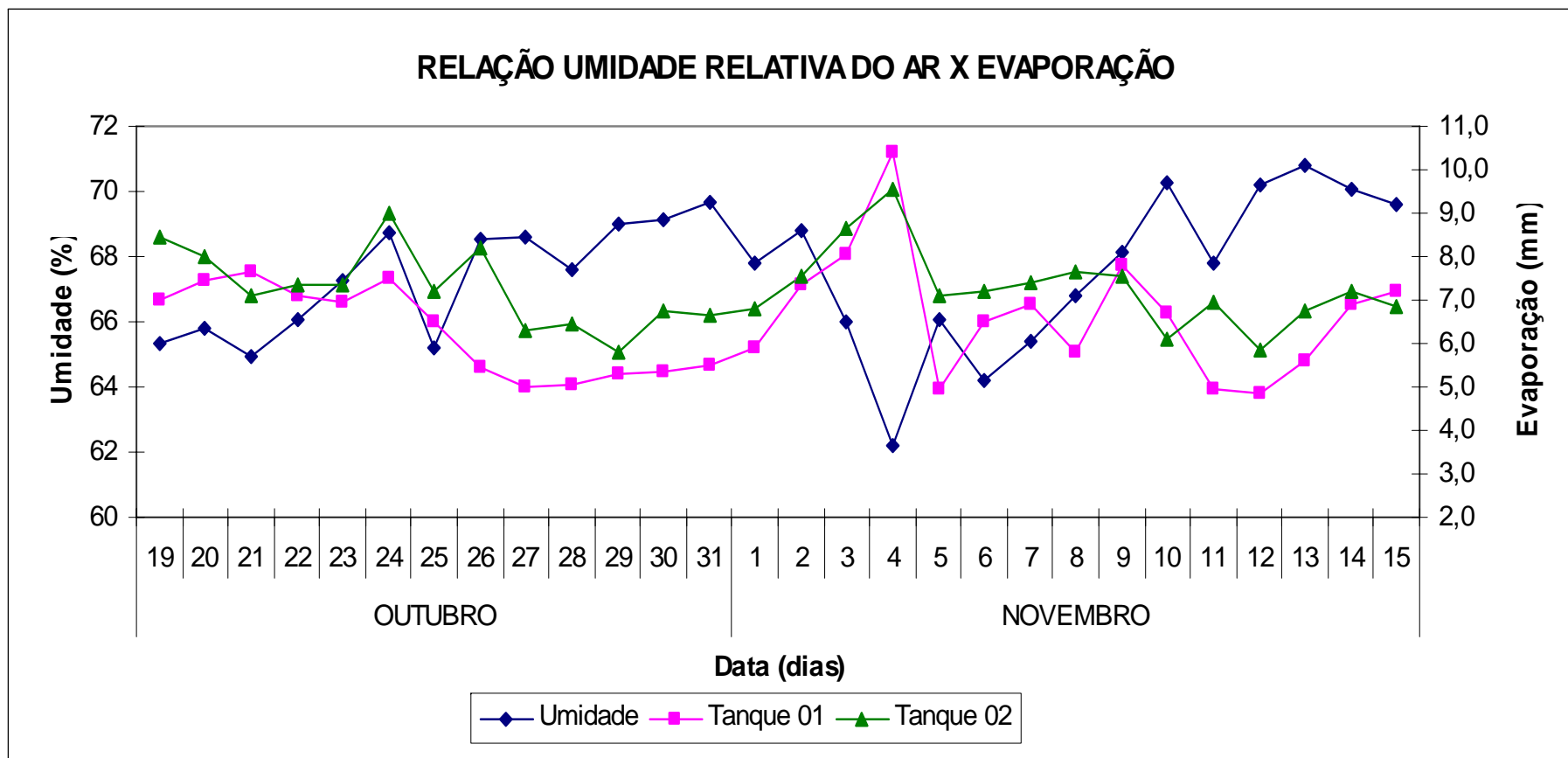


FIGURA 12 – Evaporação nos Tanques 01 (35 mg/m<sup>2</sup>.dia de hexadecanol) e 02 (livre) e a umidade relativa do ar pra o mesmo período de aplicação.

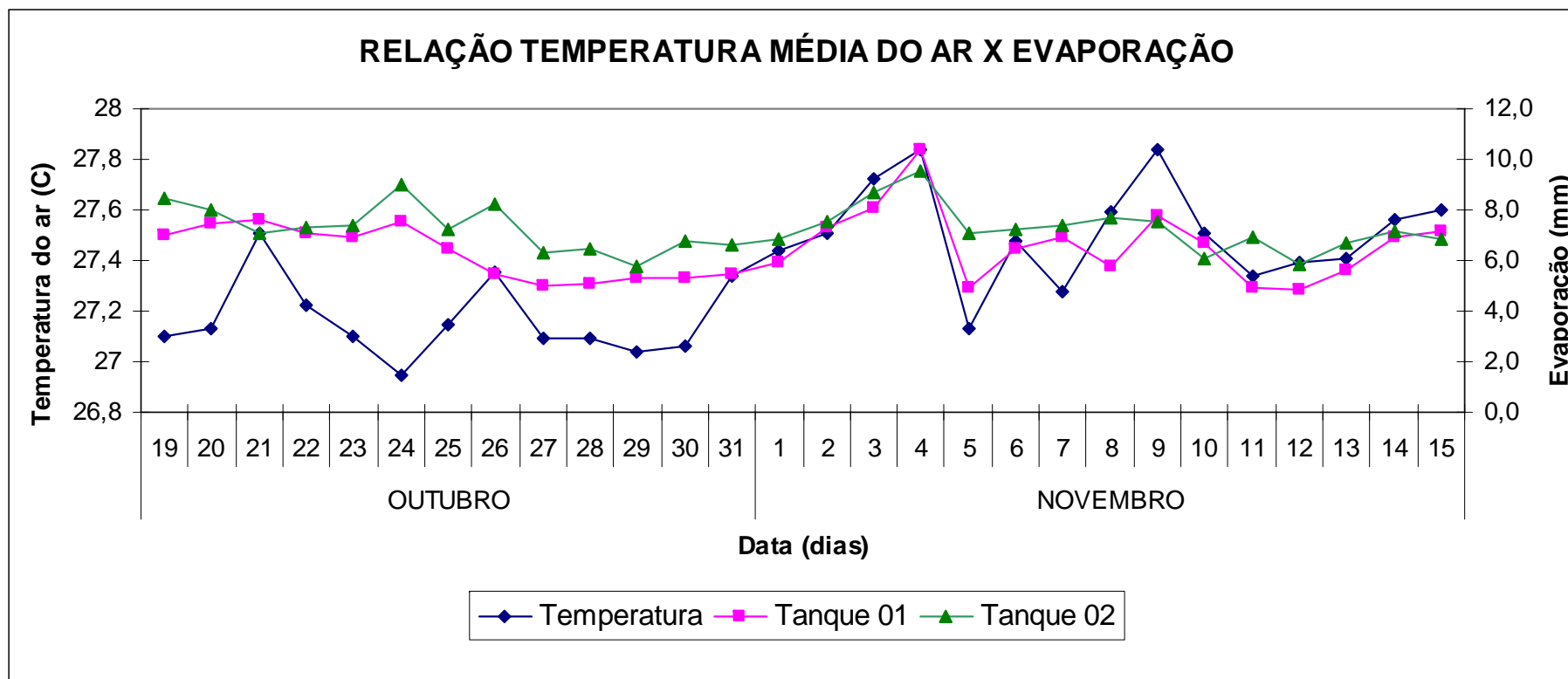


FIGURA 13 – Evaporação nos Tanques 01 (35 mg/m<sup>2</sup>.dia de hexadecanol) e 02 (livre) e a temperatura média do ar (°C).

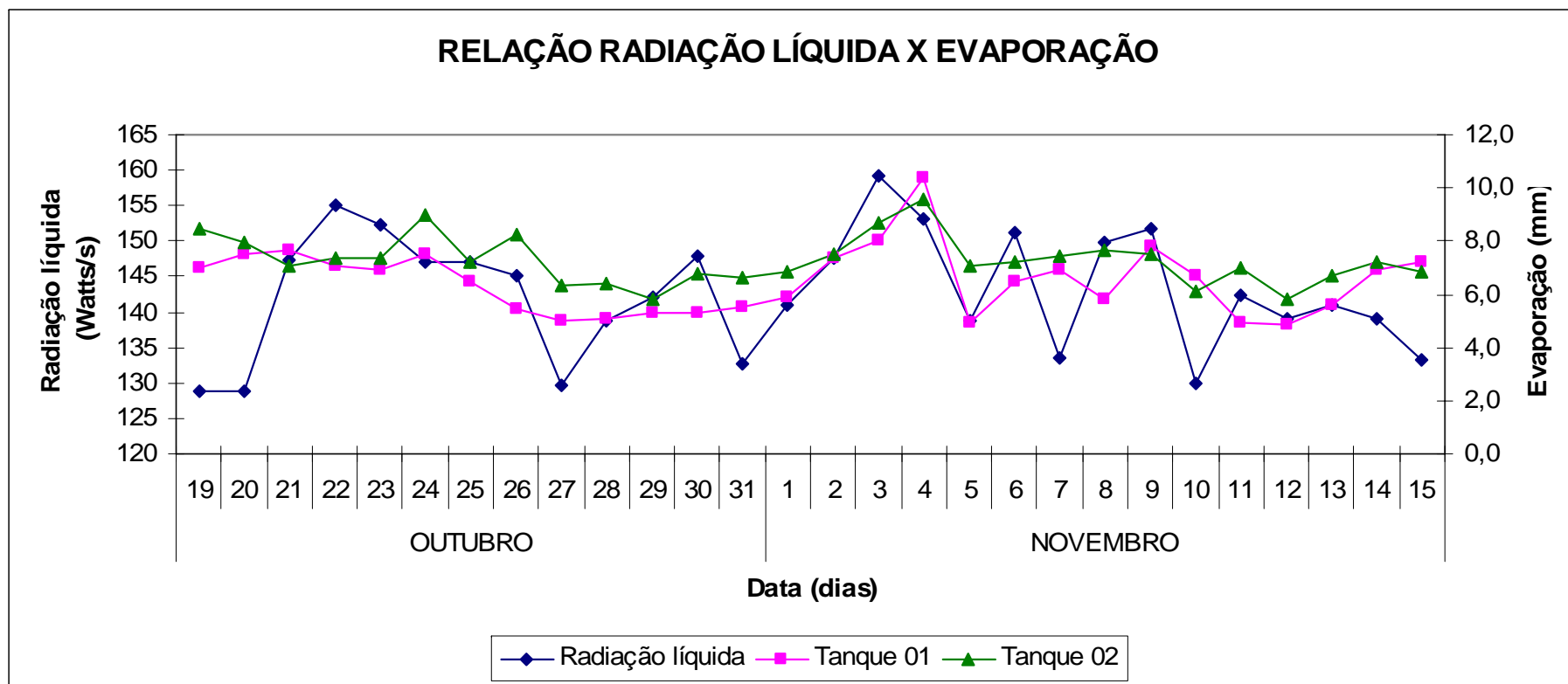


FIGURA 14 – Evaporação nos Tanques 01 (35 mg/m<sup>2</sup>.dia de hexadecanol) e 02 (livre) e a radiação líquida.

As curvas de evaporação quando colocadas sobrepostas à curva de velocidade do vento (figura 11) mostram claramente que os pontos de inversão ocorreram exatamente nos dias em que foram observados os picos de incidência eólica. Ferreira Filho (1974) já comentava que a concentração de energia que as monocamadas produziam por consequência da supressão do processo evaporativo, poderia causar taxas mais elevadas de evaporação em episódios de alta intensidade eólica devido ao rompimento da membrana e consequente liberação abrupta de energia.

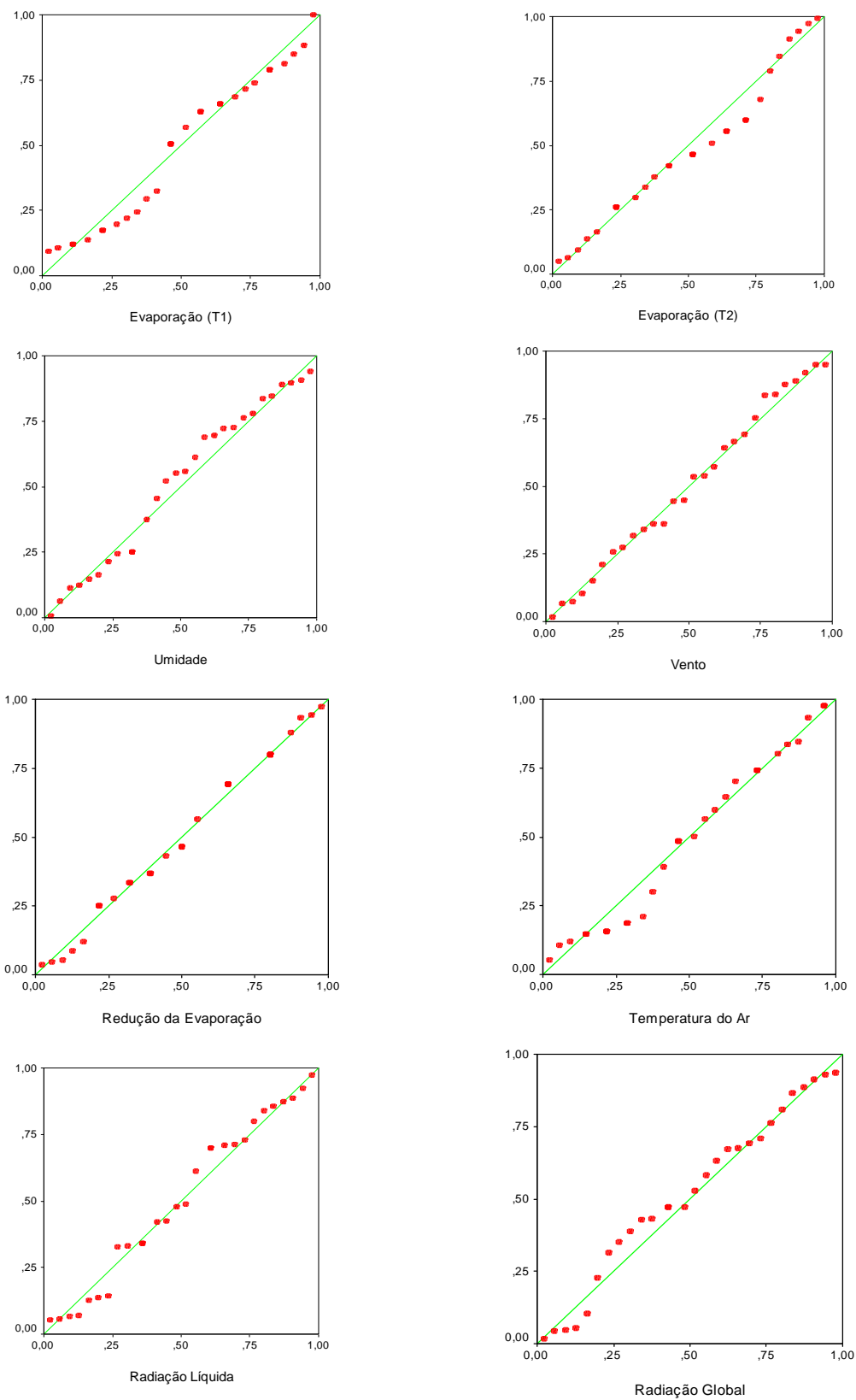
A partir das curvas apresentadas, observa-se que os fatores climatológicos listados apresentam relações diretas (vento e radiação líquida) e inversas (umidade) com a redução da evaporação nos tanques.

Entretanto os gráficos apresentados ainda não possibilitavam conclusões mais diretas sobre a correlação existente entre estes parâmetros. Por este motivo optou-se pela utilização de uma ferramenta estatística versátil e apropriada que possibilitasse esta análise.

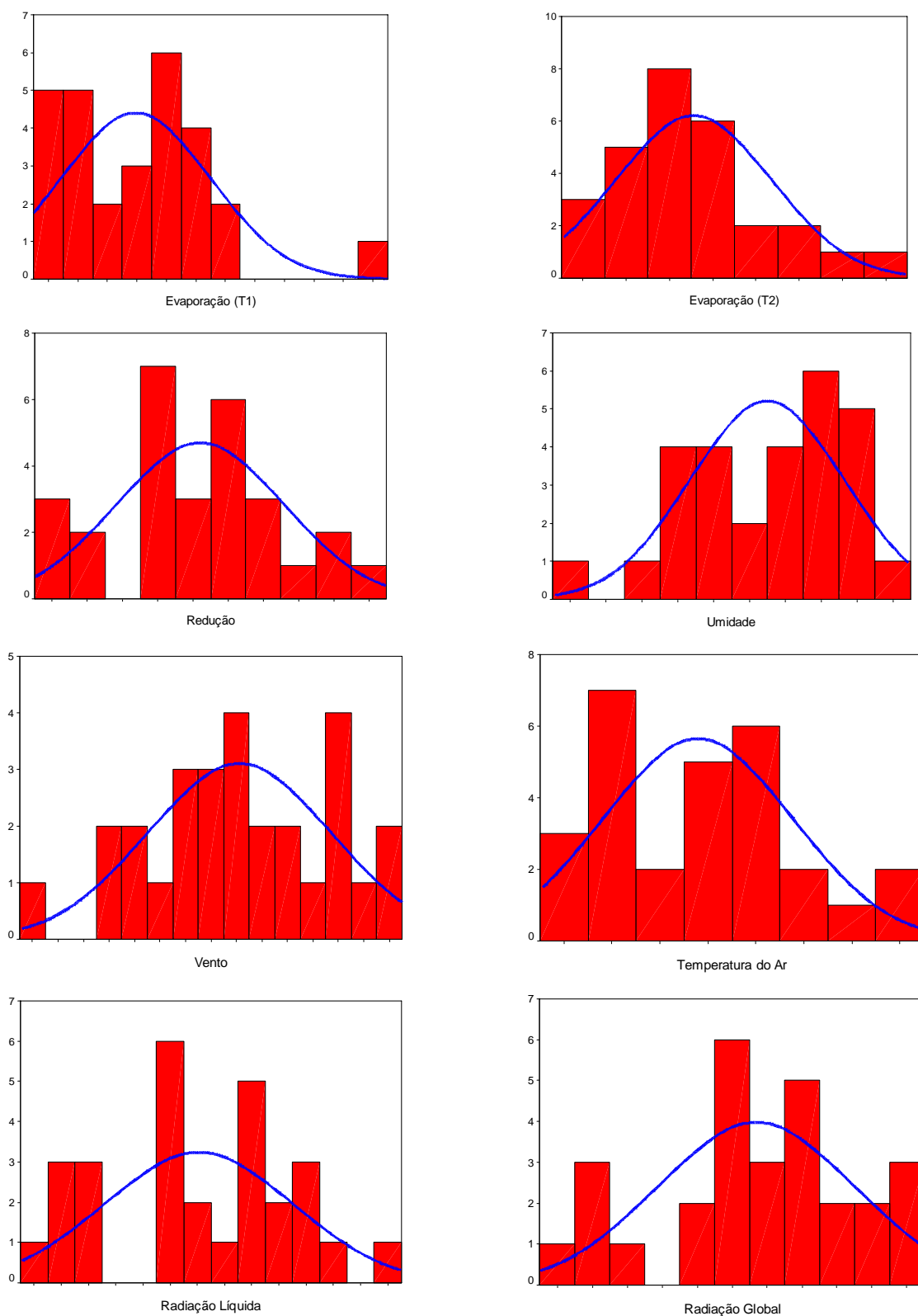
A tabela 08 apresenta os parâmetros climatológicos utilizados no teste e, logo em seguida, apresenta-se os histogramas (figura 15) e os gráficos de probabilidade normal (figura 16) que tornaram possível a análise de adequação das populações.

**TABELA 08 – Dados de climatologia, evaporação e redução da evaporação (fase 02 – período I).**

	Data	Evap. T1	Evap. T2	Redução	Umidade	Vento	Temp. do Ar	Rad Liq	Rad. Global
OUTUBRO (2005)	19	7,0	8,5	17	65,34	3,7	27,1	128,7	254,3
	20	7,5	8,0	6	65,79	3,7	27,13	128,9	254,8
	21	7,6	7,1	-8	64,91	3,8	27,51	147,4	276
	22	7,1	7,3	3	66,06	3,4	27,22	155	294,1
	23	7,0	7,4	6	67,25	3,3	27,1	152,4	290,8
	24	7,5	9,0	17	68,76	3,3	26,95	147,1	277,4
	25	6,5	7,2	10	65,23	3,6	27,15	147,1	288,5
	26	5,4	8,2	34	68,55	3,2	27,35	145,1	283,2
	27	5,0	6,3	21	68,60	2,9	27,09	129,8	260,8
	28	5,1	6,4	21	67,61	3,0	27,09	138,8	271,6
	29	5,3	5,8	9	69,03	2,5	27,04	142,2	279,5
	30	5,3	6,7	21	69,15	2,2	27,06	147,9	286,2
	31	5,5	6,7	17	69,69	2,7	27,34	132,8	255,7
NOVEMBRO (2005)	1	5,9	6,8	13	67,78	2,8	27,44	140,9	277,5
	2	7,3	7,5	3	68,77	3,0	27,51	147,5	285,5
	3	8,0	8,7	7	66,01	3,9	27,72	159,3	297,5
	4	10,4	9,5	-9	62,23	3,9	27,84	153	299,3
	5	4,9	7,1	30	66,06	3,0	27,13	138,9	275,9
	6	6,5	7,2	10	64,20	3,2	27,48	151,2	299,8
	7	6,9	7,4	7	65,38	3,2	27,28	133,5	281,3
	8	5,8	7,7	25	66,81	3,1	27,59	149,9	295,3
	9	7,8	7,5	-3	68,11	3,6	27,84	151,8	284,9
	10	6,7	6,1	-10	70,30	3,4	27,51	129,9	249
	11	5,0	7,0	29	67,81	2,8	27,34	142,4	284,7
	12	4,8	5,9	17	70,20	2,6	27,39	139,1	273,1
	13	5,6	6,7	17	70,80	2,5	27,41	141	277,4
	14	6,9	7,2	4	70,10	2,9	27,56	139,1	274,4
	15	7,2	6,9	-5	69,59	3,1	27,6	133,2	268



**FIGURA 15 - Probabilidade normal das variáveis climatológicas e redução da evaporação (Fase02/Período I).**



**FIGURA 16 - Histogramas das variáveis climatológicas, evaporação em cada tanque e redução da evaporação (Fase 02/ Período I).**

Os gráficos de probabilidade normal apresentaram alguns desvios da diagonal que indicam certa alteração da normalidade. Percebe-se que as variáveis, evaporação (T1), evaporação (T2) e temperatura do ar, apresentam assimetria positiva; a velocidade do vento, a umidade e a radiação global apresentaram assimetria negativa e a radiação líquida e a redução da evaporação, por sua vez, apresentaram distribuições uniformes.

Os histogramas apresentados na figura 16 confirmam as assimetrias visualizadas através dos gráficos de probabilidade normal e ainda explicitaram certa dispersão dos dados para as variáveis: evaporação (T1), evaporação (T2), velocidade do vento, umidade relativa do ar, radiação líquida e radiação global.

A tabela apresentada abaixo mostra os valores obtidos nos testes de normalidade e nos estudos de adequação normal.

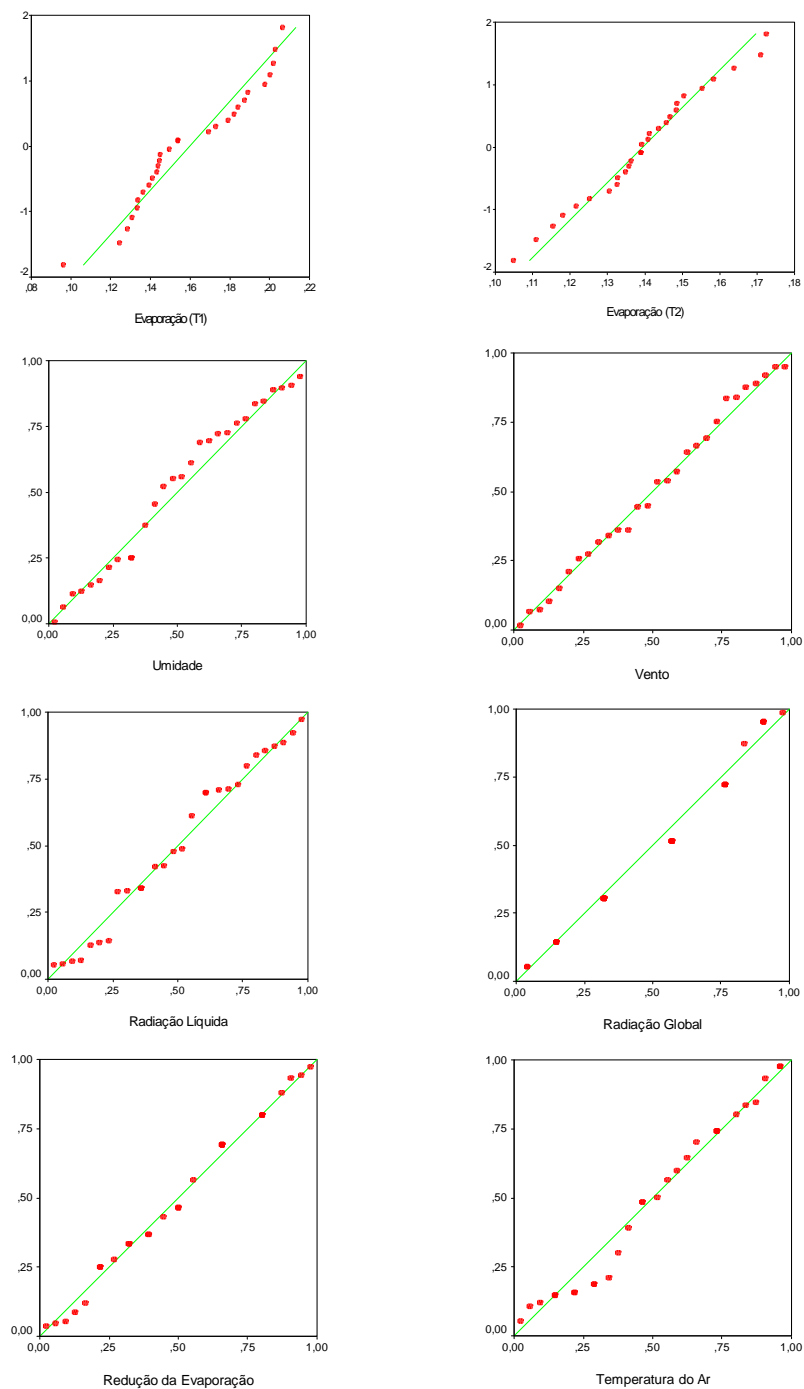
As figuras 17 e 18 mostram como ficaram os gráficos de probabilidade normal e os histogramas das variáveis após a correção.

TABELA 09 - Características de distribuição, testes de normalidade e possíveis ações corretivas.

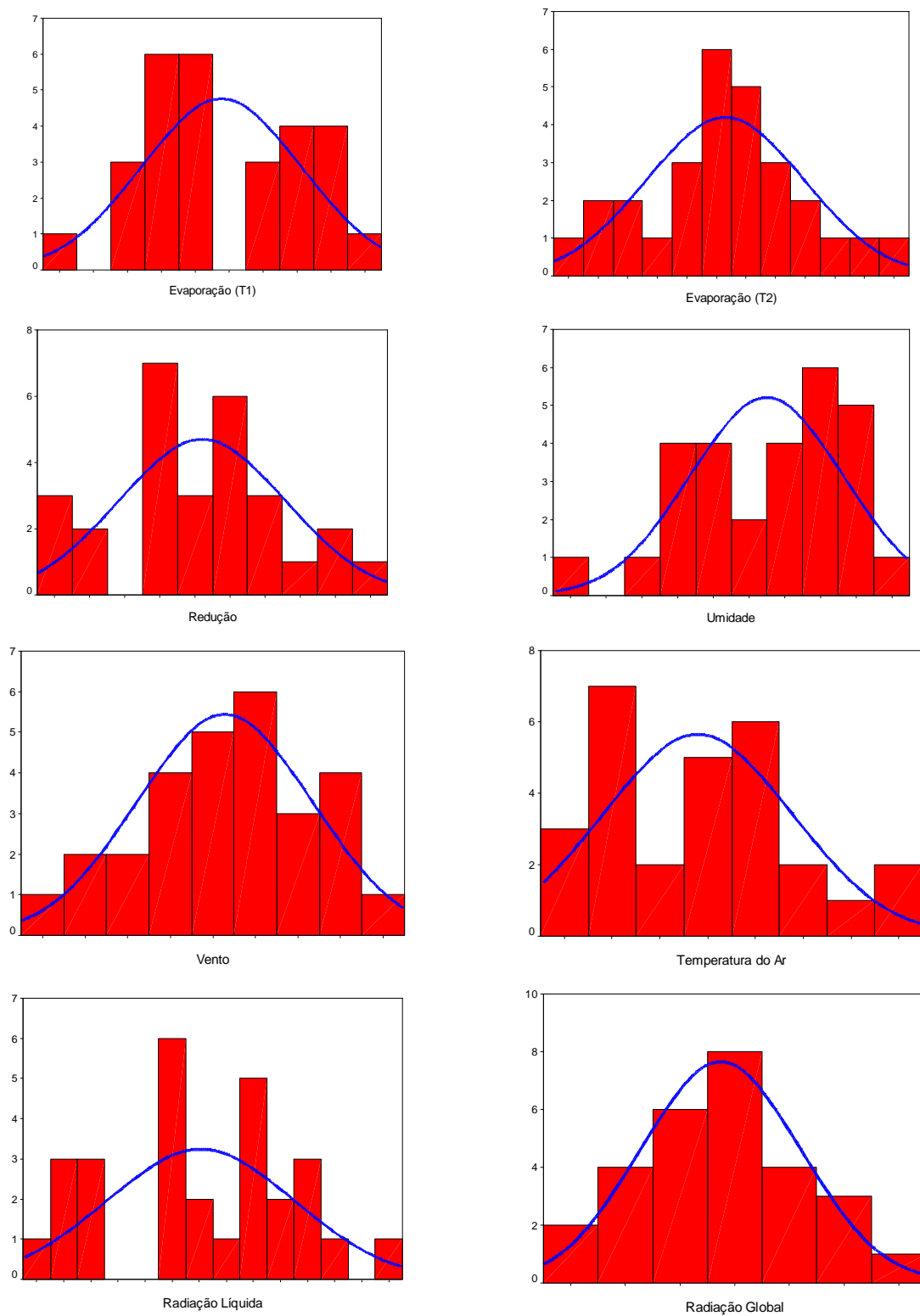
Variáveis	Descritores de Forma <sup>a</sup>				Teste de Normalidade (Kolmogorov-Smirnov)		Descrição da distribuição	Ações corretivas	
	Assimetria		Curtose					Transformação	Significância
	Estatística	Teste	Estatística	Teste	Estatística	Significância			
Evaporação (T1)	0,909	1,9647*	1,682	1,816	0,114	0,200	Assimetria positiva	Função inversa	>0,200
Evaporação (T2)	0,669	1,4463	0,447	0,482	0,153	0,093	Leve assimetria positiva	Função inversa	>0,200
Redução	-0,020	-0,0427	-0,640	-0,691	0,121	0,200	Distribuição Normal	Nenhuma	-
Umidade	-0,484	-1,0465	-0,291	-0,314	0,118	0,200	Distribuição normal	Nenhuma	-
Vento	-0,143	-0,3101	-0,574	-0,620	0,086	0,200	Leve assimetria negativa	Raiz quadrada	>0,200
Temp. do ar	0,341	0,7376	-0,736	-0,795	0,147	0,126	Distribuição normal	Nenhuma	-
Radiação líquida	-0,085	-0,1829	-0,918	-0,991	0,126	0,200	Distribuição normal	Nenhuma	-
Radiação global	-0,478	-1,0331	-0,381	-0,412	0,107	0,200	Dispersão	Função Inversa	>0,200

<sup>a</sup> Os valores de z são obtidos dividindo-se as estatísticas pelos erros padrão apropriados de 0,463 (assimetria) e 0,926 (curtose).

\* Significante no nível de 0,01.



**FIGURA 17 - Gráficos de probabilidade normal das variáveis (Fase 02/Período I) após aplicação dos ajustes.**



**FIGURA 18 - Histogramas das variáveis (Fase 02/Período I) após aplicação dos ajustes.**

De acordo com o que está apresentado na tabela 07 observa-se que a única variável que teve valor incompatível com o crítico para o teste de assimetria (1,9647) foi à evaporação (T1). Com relação ao teste Kolmogorov-Smirnov a temperatura do ar e a evaporação (T2) apresentaram valores baixos para seus níveis de significância (0,093 e 0,126 respectivamente). A velocidade do vento e a radiação global não apresentaram problemas nos testes estatísticos, porém, a dispersão visualizada nos seus histogramas forçou a verificação de um ajuste.

A melhor correção encontrada para a evaporação (T1), evaporação (T2) e radiação global foi à função inversa. A tabela 09 mostra a adequação das mesmas nos testes estatísticos e as figuras 18 e 19 o efeito surtido nos gráficos de probabilidade normal e nos seus histogramas. Para a velocidade do vento foi aplicada a raiz quadrada como função corretiva com eficiência semelhante. Os valores brutos dos parâmetros e seus respectivos ajustes com raiz quadrada e função inversa podem ser consultados no apêndice A (tabelas, A.2 e A.3). Os testes de normalidade com coeficientes de simetria utilizados para verificar a eficiência do ajuste podem ser consultados no mesmo apêndice (tabela A.4).

Para melhor visualização das características de cada população analisada, as características dos histogramas, a correlação direta entre todos os dados e mesmo a existência de multicolinearidade, a figura 19 mostra a matriz de dispersão do estudo.

Essa ferramenta permite visualizar o comportamento individual e correlacionado dos parâmetros em estudo e, por conseguinte, auxiliar a execução da verificação preliminar dos mesmos.

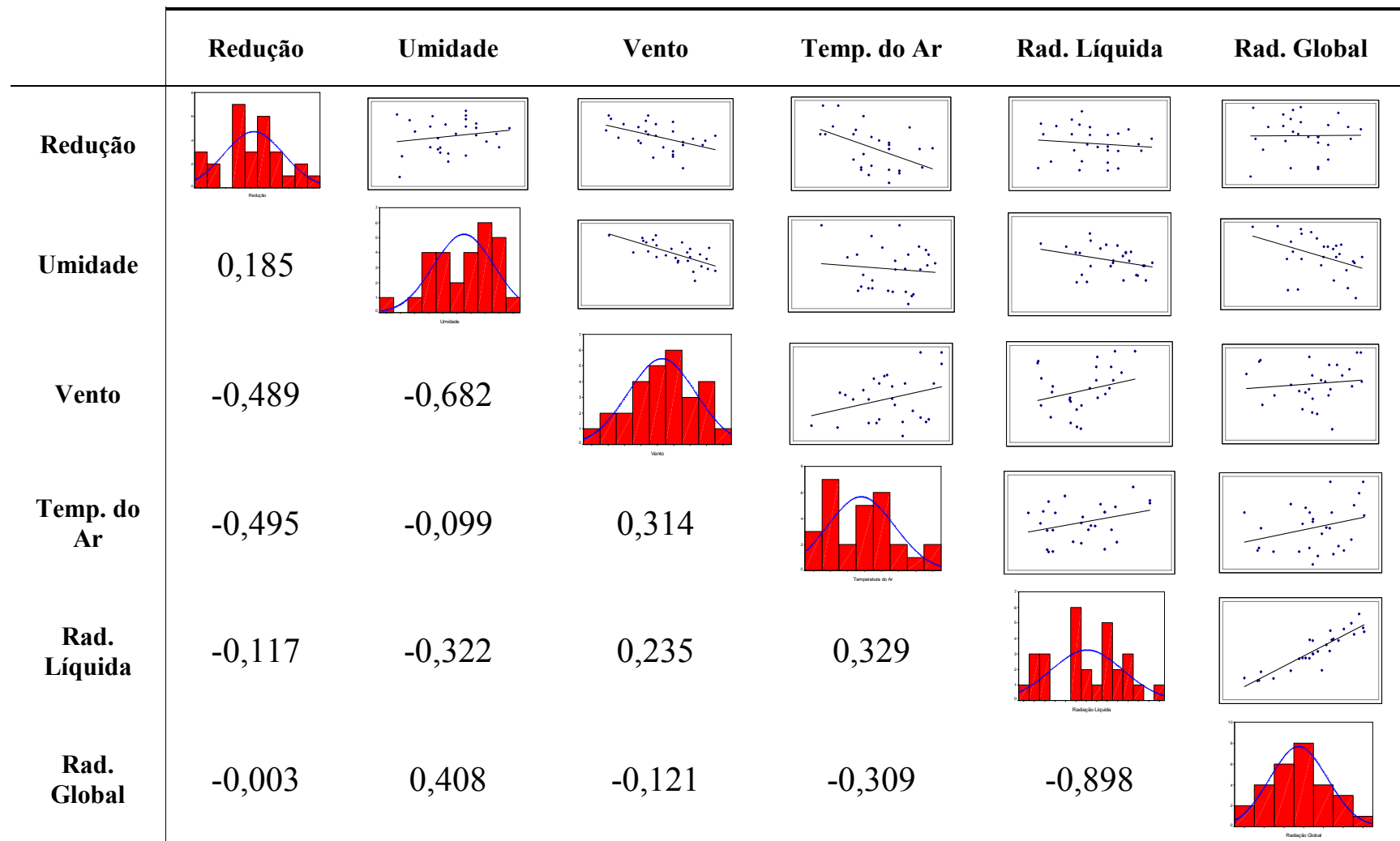


FIGURA 19 - Matriz de dispersão das variáveis analisadas (Fase 02/Período I).

Os dados da matriz (figura 19) demonstram, através das regressões parciais, a possibilidade de existência de multicolinearidade entre a umidade relativa do ar e vento ( $R^2 = -0,682$ ) e a radiação líquida e global ( $R^2 = -0,898$ ), como esperado. Tendo em vista que a correlação entre variáveis independentes é fator não desejado na regressão múltipla, e que a verificação visual através da matriz de dispersão não é condição suficiente para eliminação das mesmas, optou-se pela determinação dos coeficientes de tolerância e fator de inflação de variância (VIF) para confirmação da colinearidade.

Um valor de referência muito comum (HAIR, 2005) é uma tolerância mínima de 0,10, correspondendo a um VIF superior a 10,0 ( $VIF = 1 / \text{Tolerância}$ ). Abaixo (tabela 10) apresenta-se os valores obtidos de tolerância e VIF para o conjunto de variáveis citadas.

**TABELA 10 - Testes estatísticos de colinearidade para as variáveis preditoras (Fase 02/ Período I).**

Modelo	Estatística de Colinearidade	
	Tolerância	VIF
Velocidade do vento	0,299	3,342
Temperatura do Ar	0,715	1,399
Radiação Líquida	0,139	7,205
Umidade Rel. Do Ar	0,294	3,397
Radiação Global	0,114	8,798

Os valores obtidos nos testes estatísticos comprovam uma alta colinearidade para a variável radiação líquida e para a radiação global, entretanto não superam os valores críticos adotados de 0,10 para a tolerância e 10,0 para VIF. A velocidade do vento e a Umidade também não apresentaram valores significativos.

Desta forma todas as variáveis preditoras se adaptaram a realização do teste e podem ser utilizadas na análise de regressão múltipla. As tabelas 11, 12 e 13 apresentam o resultado final da regressão aplicada, os coeficientes encontrados para o melhor modelo e os coeficientes das variáveis excluídas, após ajustados os valores e verificada a existência de multicolinearidade.

TABELA 11 - Resultado da regressão múltipla.

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	Erro padrão da estimativa	Estatística de Correção				
					R <sup>2</sup> modificado	F modificado	df 1	df 2	Sig. F modificada
1	0,495 <sup>a</sup>	0,245	0,216	10,5244	0,245	8,425	1	26	0,007
2	0,607 <sup>b</sup>	0,368	0,317	9,8181	0,123	4,875	1	25	0,037

a. Variáveis preditoras: Temperatura do Ar

b. Variáveis preditoras: Temperatura do Ar e Vento

c. Variável critério: Redução

TABELA 12 - Coeficientes e características gerais da regressão para os modelos adotados.

Modelo		Coeficientes não Padronizados		Coeficientes Padronizados	t	Sig.	Correlações		
Tipo	Variável	$\beta$	Erro	$\beta$			1	2	3
1	(constante)	661,927	224,256		2,952	,007			
	Temperatura	-23,800	8,199	-,495	-2,903	,007	-,495	-,495	-,495
2	(constante)	569,489	213,355		2,669	,013			
	Temperatura	-18,206	8,058	-,378	-2,259	,033	-,495	-,412	-,359
	Vento	-34,256	15,514	-,370	-2,208	,037	-,489	-,404	-,351

TABELA 13 - Coeficiente e testes das variáveis excluídas em cada modelo.

Modelo	Variáveis	$\beta$	t	Sig.	Correlação Parcial	Colinearidade
						Tolerância
1	Umidade	0,137	0,796	0,434	0,157	0,990
	Vento	-0,370	-2,208	0,037	-0,404	0,901
	Rad. Líquida	0,051	0,276	0,785	0,055	0,892
	Rad. Global	-0,173	-0,963	0,345	-0,189	0,904
2	Umidade	-0,202	-0,912	0,371	-0,183	0,519
	Rad. Líquida	0,107	0,624	0,539	0,126	0,873
	Rad. Global	-0,183	-1,098	0,283	-0,219	0,904

a. Preditoras do modelo: (Constante), Temperatura do ar

b. Preditoras do modelo: (Constante), Temperatura do ar, Vento

c. Variável dependente: Redução

Os resultados apresentados demonstraram que o estudo sugere dois modelos preditores que correlacionam a redução da evaporação com as variáveis climáticas avaliadas no período. O modelo 01 sugere que a equação de regressão seja montada com a Redução (variável critério) utilizando somente a variável Temperatura como preditora. O modelo 02 sugere a utilização de duas variáveis preditoras, a Temperatura do Ar e o Vento.

Segundo Hair (2005) o valor mínimo que pode ser considerado estatisticamente significativo, para um nível de significância  $\alpha = 0,05$ , com um poder de 0,80, em uma amostra de 28 indivíduos é 41,3. Utilizando este valor como referência conclui-se que nenhum dos dois modelos se mostrou estatisticamente significantes dentro destas condições. Entretanto, os dados apontam para uma tendência de as duas variáveis citadas acima estarem influenciando de forma decisiva a redução da evaporação, o que está de acordo com literatura. É provável que resultados mais contundentes não tenham sido alcançados por ter sido esta uma série pequena de dados, em se tratando de dados climatológicos, e pelo erro a que está sujeito qualquer metodologia de coleta.

La Mer (1965), Ferreira Filho (1974), Barnes (1992) já comentavam que o vento constitui um dos fatores que mais interferem na eficiência dos filmes monomoleculares. Entretanto, não existem muitas referências que relacionem a temperatura média do ar com a eficiência deste produto de alguma forma com exceção do trabalho publicado por (ALEXANDER (1960) *apud* BARNES (2005)), onde o autor discute taxas de evaporação (considerado ainda por alguns autores como sublimação) de vários álcoois submetidos a altas temperaturas. Para o hexadecanol atribui-se uma taxa de  $4 \times 10^{-6}$  mg/s para temperaturas em torno de 20° C e  $150 \times 10^{-6}$  mg/s para temperatura em torno de 40°C. Os valores demonstram que para este álcool, em especial, as perdas por evaporação se mostram consideráveis em temperaturas elevadas. Tal fato pode confirmar a correlação estatística encontrada, tendo em vista que a mesma aponta para menores níveis de redução em altas temperaturas.

Os parâmetros umidade relativa, radiação global e radiação líquida, apesar de estarem presentes em vários métodos teóricos para determinação da evaporação, bem como serem apresentados por Aquino (1986) como fatores de relativa importância neste processo, não constituíram coeficientes significativos quando correlacionados com a redução da evaporação. Contudo observa-se uma forte correlação parcial entre a umidade relativa do ar e o vento, bem como a radiação global e líquida. Tais resultados são perfeitamente compreensíveis tendo em vista que estes parâmetros climatológicos são mutuamente interferentes, entretanto, os valores de correlação parcial, suas significância e os valores de tolerância encontrados para os mesmos nos dois modelos, excluem

completamente a possibilidade da sua utilização na equação em um modelo que possa utiliza-los como preditores no processo de redução da evaporação.

#### 4.4 – Fase 02 / Período II

##### 4.4.1 – Redução da evaporação

Abaixo (tabela 14) apresenta-se os níveis diários de cada tanque para o período de estudo, a pluviometria, e as taxas de redução da evaporação.

**TABELA 14 – Evaporação nos tanques 01 e 02 com respectivo percentual de redução e pluviometria do período (taxa de aplicação diária de 35 mg/m<sup>2</sup> no tanque 02).**

Data	Tanque 01 (mm)	Tanque 02 (mm)	Pluviom. (mm)	Redução (%)	
DEZEMBRO(2005)	15	77,7	69,0	0,0	-0,4
	16	70,6	61,9	0,0	-15,0
	17	62,6	54,9	0,0	20,4
	18	57,6	48,7	0,0	2,6
	19	49,4	40,3	0,0	13,5
	20	42,9	32,7	0,0	8,8
	21	35,9	25,0	0,0	12,2
	22	23,9	12,5	0,0	12,2
	23	23,0	10,4	0,0	5,9
	24	77,6	70,7	6,2	0,2
	25	77,4	70,5	0,0	18,1
	26	73,0	65,1	5,9	25,3
	27	73,1	63,2	0,0	9,4
	28	68,1	57,8	0,0	14,4
	29	62,9	51,6	0,0	-6,5
	30	56,1	45,3	0,0	6,4
	31	49,5	38,3	3,2	-3,1
JANEIRO (2006)	1	48,1	36,9	4,0	-0,2
	2	46,6	35,5	0,0	20,6
	3	42,0	29,6	0,0	-19,3
	4	35,6	24,3	0,0	18,7
	5	30,1	17,5	0,0	4,6
	6	22,8	9,8	1,2	25,1
	7	66,5	56,8	0,0	21,4
	8	61,2	50,0	1,0	7,8
	9	55,8	44,1	2,3	25,3
	10	54,3	41,2	6,2	-2,7
	11	53,1	40,3	3,0	0,1
	12	49,3	36,5	0,0	1,9
	13	41,7	28,7	0,0	9,3
	14	33,8	20,0	0,0	-6,2
	15	27,2	13,8	3,4	-11,5
	16	23,3	10,6	0,0	37,0
	17	18,6	3,2	24,8	-20,8
	18	95,2	90,2	0,3	-11,6
	19	87,1	83,0	4,0	-18,6
	20	85,3	82,0	0,0	-15,0
	21	79,3	76,8	0,0	-10,6
	22	70,5	68,9	0,0	3,6
	23	64,1	62,2	1,0	0,2

Os valores apresentam taxas de redução bem diferenciadas ao longo do período de aplicação, com reduções que alcançaram níveis de até 37% (dia 16 de janeiro). Observa-se que a monocamada só começou a atuar na redução da evaporação após o segundo dia de aplicação, mantendo, a partir de então, uma média de redução de 4,6% para todo o período.

Em confirmação ao que fora mostrado na etapa anterior, esta etapa também apresentou dias de inversão na evaporação dos tanques (dias 29 e 31 de dezembro, e 01 e 04 de janeiro), apontando que tal fenômeno deve ser esperado em aplicações realizadas em reservatórios superficiais.

Esta etapa do ensaio foi marcada pela incidência periódica de pancadas de chuvas, como pode ser observado na tabela 14, de até 24,8 milímetros (dia 17 de janeiro) que certamente prejudicaram a eficiência do filme. Outros aspectos que devem ser considerados para o período são os seguintes:

- As chuvas começaram a ter uma periodicidade menor no mês de janeiro. Eram caracterizadas por ocorrer sempre no começo da manhã, o que permitia a determinação da pluviometria tendo em vista que o horário de coleta da estação é às 9:00h.
- No dia 12 de janeiro foram colocados 10 alevinos de Tilápia no tanque 02 a fim de equilibrar as populações nos dois tanques.
- No dia 17 de janeiro, passados 30 dias de coleta, foi invertida a aplicação de hexadecanol do tanque 02 para o 01, para verificação da redução do efeito de aplicação prolongada no tanque 02 e de possíveis influências nas características físico-químicas.
- Nos dias 23 de dezembro e 06 de janeiro houve recarga dos tanques.

#### *4.4.2 – Economia de água no período de aplicação*

A tabela 15 apresenta os valores obtidos de economia de água em litros acumulativa para todo o período de aplicação.

**TABELA 15 - Economia em mm de água para o período de aplicação.**

	Data	Tanque 01 (mm)	Tanque 02 (mm)	Pluviom. (mm)	Redução (%)
DEZEMBRO (2005)	15	77,7	69,0	0,0	-0,4
	16	70,6	61,9	0,0	-15,0
	17	62,6	54,9	0,0	20,4
	18	57,6	48,7	0,0	2,6
	19	49,4	40,3	0,0	13,5
	20	42,9	32,7	0,0	8,8
	21	35,9	25,0	0,0	12,2
	22	23,9	12,5	0,0	12,2
	23	23,0	10,4	0,0	5,9
	24	77,6	70,7	6,2	0,2
	25	77,4	70,5	0,0	18,1
	26	73,0	65,1	5,9	25,3
	27	73,1	63,2	0,0	9,4
	28	68,1	57,8	0,0	14,4
	29	62,9	51,6	0,0	-6,5
	30	56,1	45,3	0,0	6,4
	31	49,5	38,3	3,2	-3,1
JANEIRO (2006)	1	48,1	36,9	4,0	-0,2
	2	46,6	35,5	0,0	20,6
	3	42,0	29,6	0,0	-19,3
	4	35,6	24,3	0,0	18,7
	5	30,1	17,5	0,0	4,6
	6	22,8	9,8	1,2	25,1
	7	66,5	56,8	0,0	21,4
	8	61,2	50,0	1,0	7,8
	9	55,8	44,1	2,3	25,3
	10	54,3	41,2	6,2	-2,7
	11	53,1	40,3	3,0	0,1
	12	49,3	36,5	0,0	1,9
	13	41,7	28,7	0,0	9,3
	14	33,8	20,0	0,0	-6,2
	15	27,2	13,8	3,4	-11,5
	16	23,3	10,6	0,0	37,0
	17	18,6	3,2	24,8	-20,8
	18	95,2	90,2	0,3	-11,6
	19	87,1	83,0	4,0	-18,6
	20	85,3	82,0	0,0	-15,0
	21	79,3	76,8	0,0	-10,6
	22	70,5	68,9	0,0	3,6
	23	64,1	62,2	1,0	0,2

Os resultados mostram economia de água (em milímetros) durante o período de aplicação da monocamada. As reduções encontradas nos valores

acumulados derivam das inversões de evaporação periódicas, características do processo de redução por filmes monomoleculares, já discutidas no tópico anterior. Contudo os valores demonstram uma economia de 14,2 mm em um período de aplicação médio de 30 dias, totalizando uma taxa de economia média de 0,6 mm/dia.

Tais valores contabilizam, para a superfície em questão, uma quantidade total de 284 litros de água não evaporados devido ao processo supressão da evaporação. Tendo em vista que a área dos tanques é de apenas 20m<sup>2</sup> tais quantidades seriam consideravelmente maiores em um reservatório real.

A tabela 16 mostra como ficaram caracterizados os dados de evaporação e economia de água com relação a sua estatística descritiva.

**TABELA 16 - Estatística descritiva dos dados de evaporação e economia.**

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desv. Pad.	Variância	Curtose	
							Estat.	Desv. Pad.
<b>Evap. T1 (Acumulativa)</b>	34	7,10	216,00	107,45	58,75	3451,69	-1,02	0,79
<b>Evap. T2 (Acumulativa)</b>	34	7,10	230,30	115,97	63,88	4080,25	-1,04	0,79
<b>Economia</b>	34	-1,10	16,90	8,51	5,24	27,51	-1,09	0,79
<b>N</b>	34							

Os valores elevados de desvio padrão e variância para as evaporações são explicados por consequência do caráter acumulativo, ocorrendo em menor proporção para a economia, mas, ainda elevados, devido ao fenômeno de inversão que ocasiona valores negativos.

#### 4.4.3 – Parâmetros abióticos

Para a segunda etapa de observação foram coletados diariamente a turbidez, o pH, a temperatura, a salinidade e a condutividade, todos determinados em duplicata. Os quadros apresentados no Apêndice B mostram os valores médios dos mesmos para todo o período de observação e, abaixo, a tabela 17, apresenta a estatística descritiva dos mesmos.

**TABELA 17 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos.**

Parâmetro	N	Mínimo	Máximo	Média	Desv. Pad.	Variância	Assimetria		Curtose	
							Valor	Erro Pad.	Valor	Erro Pad.
Condutividade T1	39	850,00	952,00	917,87	28,55	814,85	-0,53	0,38	-0,65	0,74
Condutividade T2	39	943,00	1050,00	1012,41	28,87	833,67	-0,45	0,38	-0,81	0,74
Salinidade T1	40	0,40	0,40	0,40	0,0000	0,000	-	-	-	-
Salinidade T2	40	0,40	0,50	0,43	4,830E-02	2,333E-03	0,65	0,37	-1,66	0,73
pH T1	40	9,50	10,50	10,03	0,14	2,079E-02	-0,28	0,37	6,61	0,73
pH T2	40	8,70	9,60	9,29	0,19	3,682E-02	-0,93	0,37	1,31	0,73
Turbidez T1	40	4,30	7,30	5,91	0,76	0,58	-0,23	0,37	-0,86	0,73
Turbidez T2	40	3,20	5,30	4,02	0,62	0,38	0,73	0,37	-0,88	0,73
Temperatura T1	40	29,70	31,20	30,41	0,36	0,13	0,45	0,37	-0,20	0,73
Temperatura T2	40	29,50	30,90	30,33	0,33	0,11	-0,57	0,37	-0,03	0,73

A estatística descritiva dos dados já apresenta alguns esclarecimentos sobre o comportamento dos parâmetros em cada tanque durante este período de observação. Observa-se que a salinidade e a temperatura demonstram pequenas variações durante todo o período e pequena diferença entre os valores médios encontrados. Os demais possuem desvio e valores médios sensivelmente diferentes indicando a necessidade de uma ferramenta estatística mais apropriada para a sua comparação.

É importante salientar, sobretudo, que no período em questão houve pequenas pancadas de chuva e certas interveniências com relação à população de peixes implantada no primeiro tanque.

Tais fatores contribuíram significativamente para formulação de inferências relativas ao comportamento de cada reservatório, bem como das possíveis influências da aplicação da monocamada. Para melhor visualização destes efeitos as figuras abaixo (figuras 20 a 25) apresentam o comportamento diário de cada um dos parâmetros para os dois tanques, a ocorrência de chuvas e os dias em que foram realizadas as recargas.

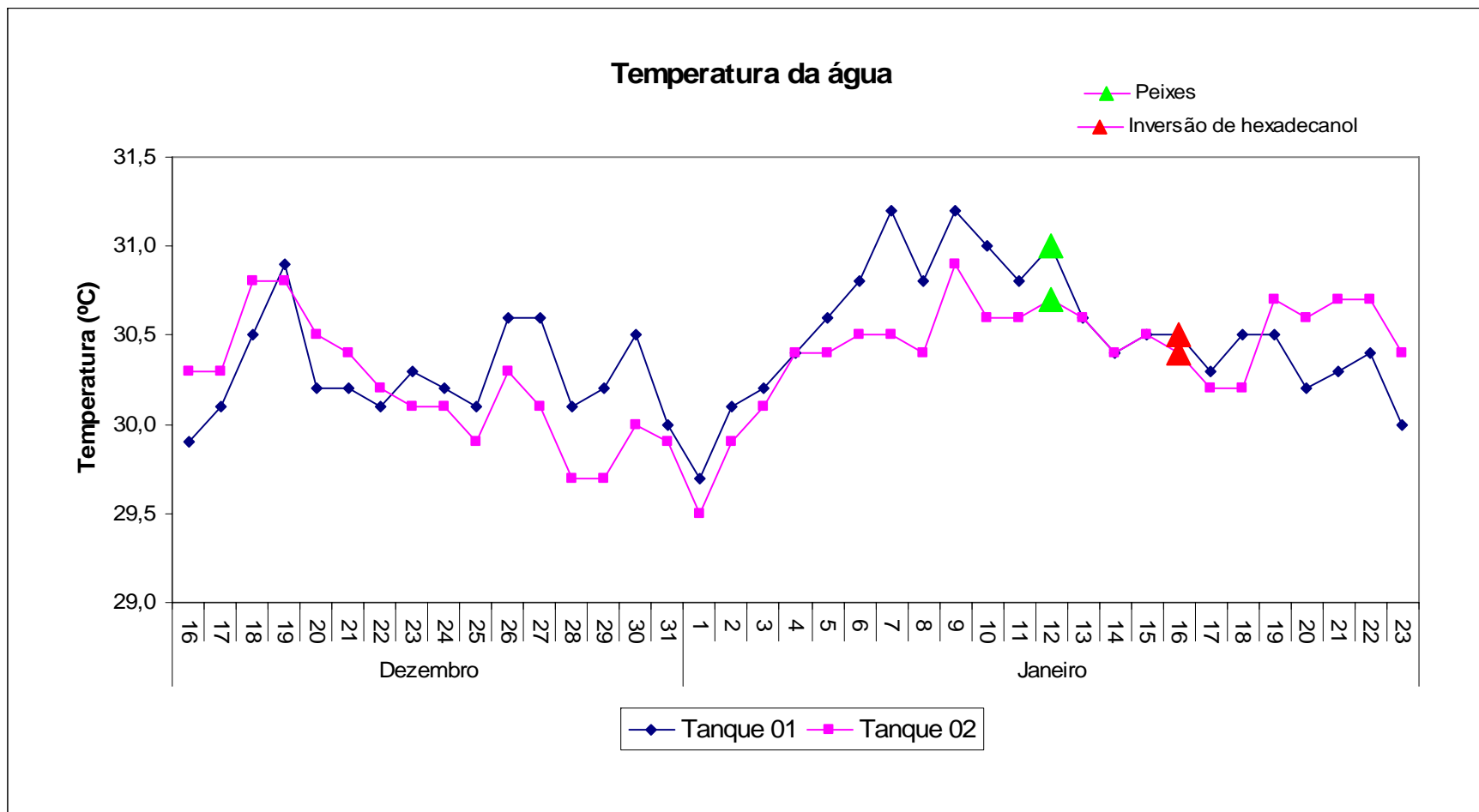


FIGURA 20 - Temperatura dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação.

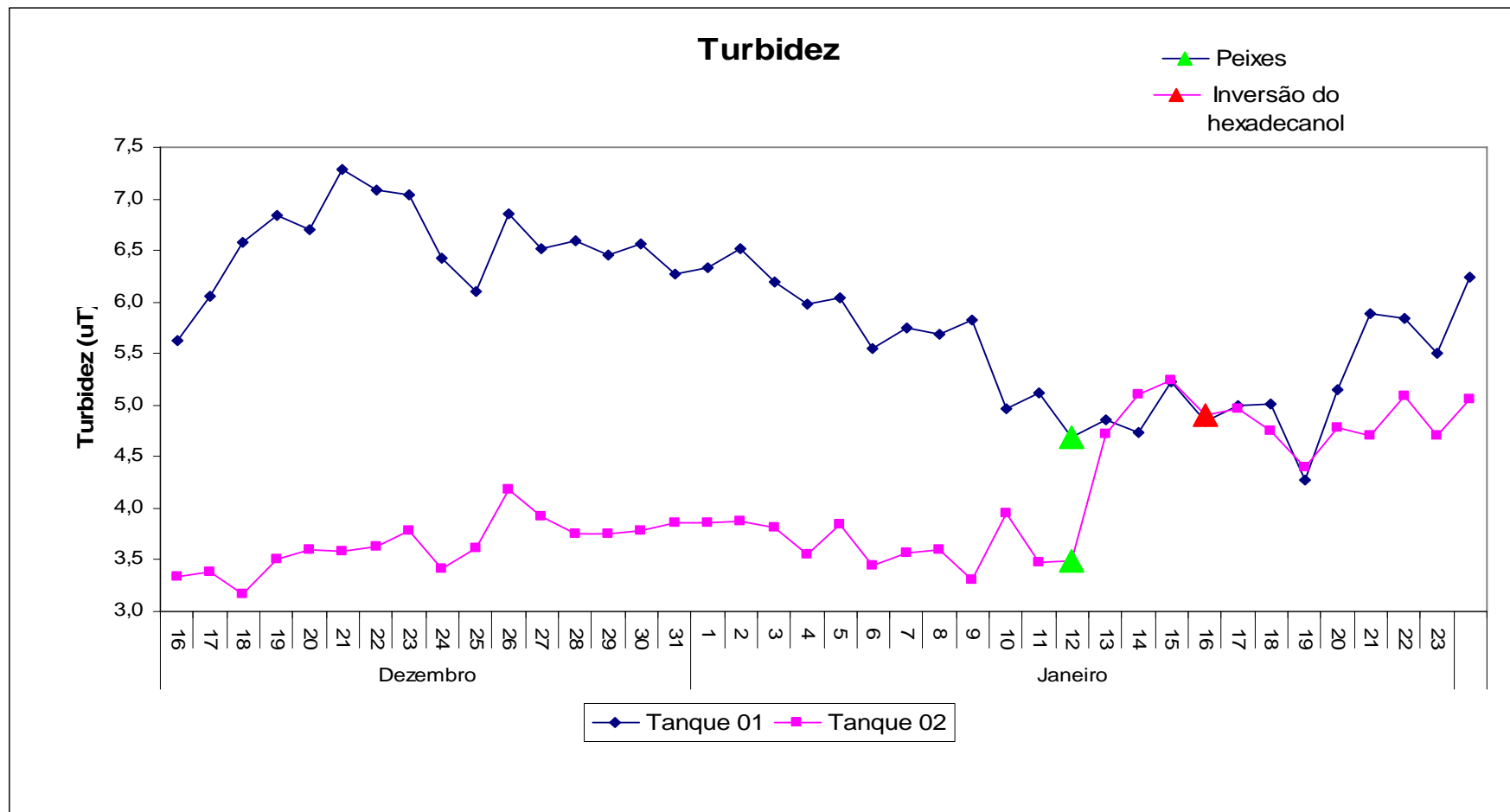


FIGURA 21: Turbidez dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação.

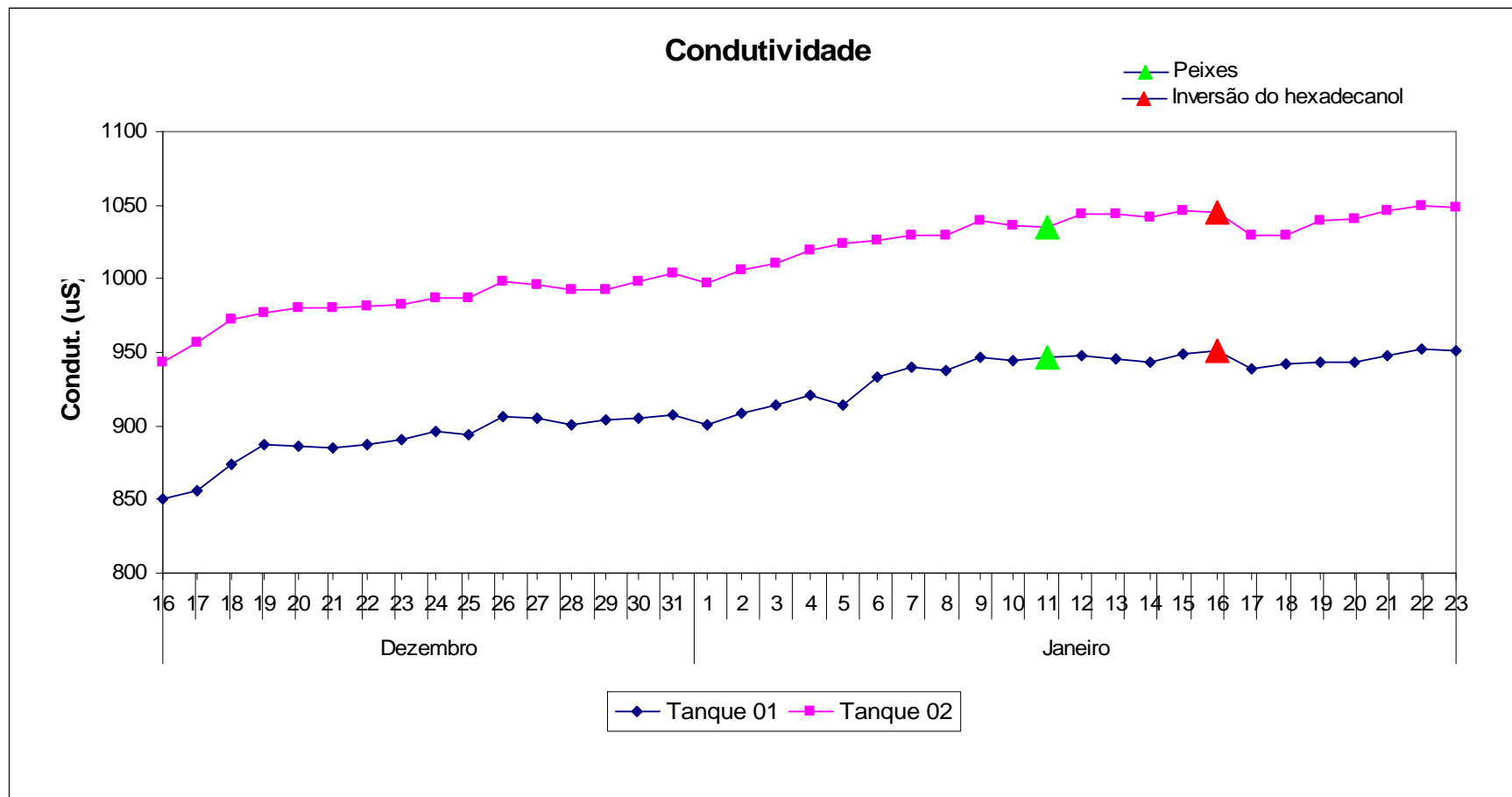


FIGURA 22 - Condutividade dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação.

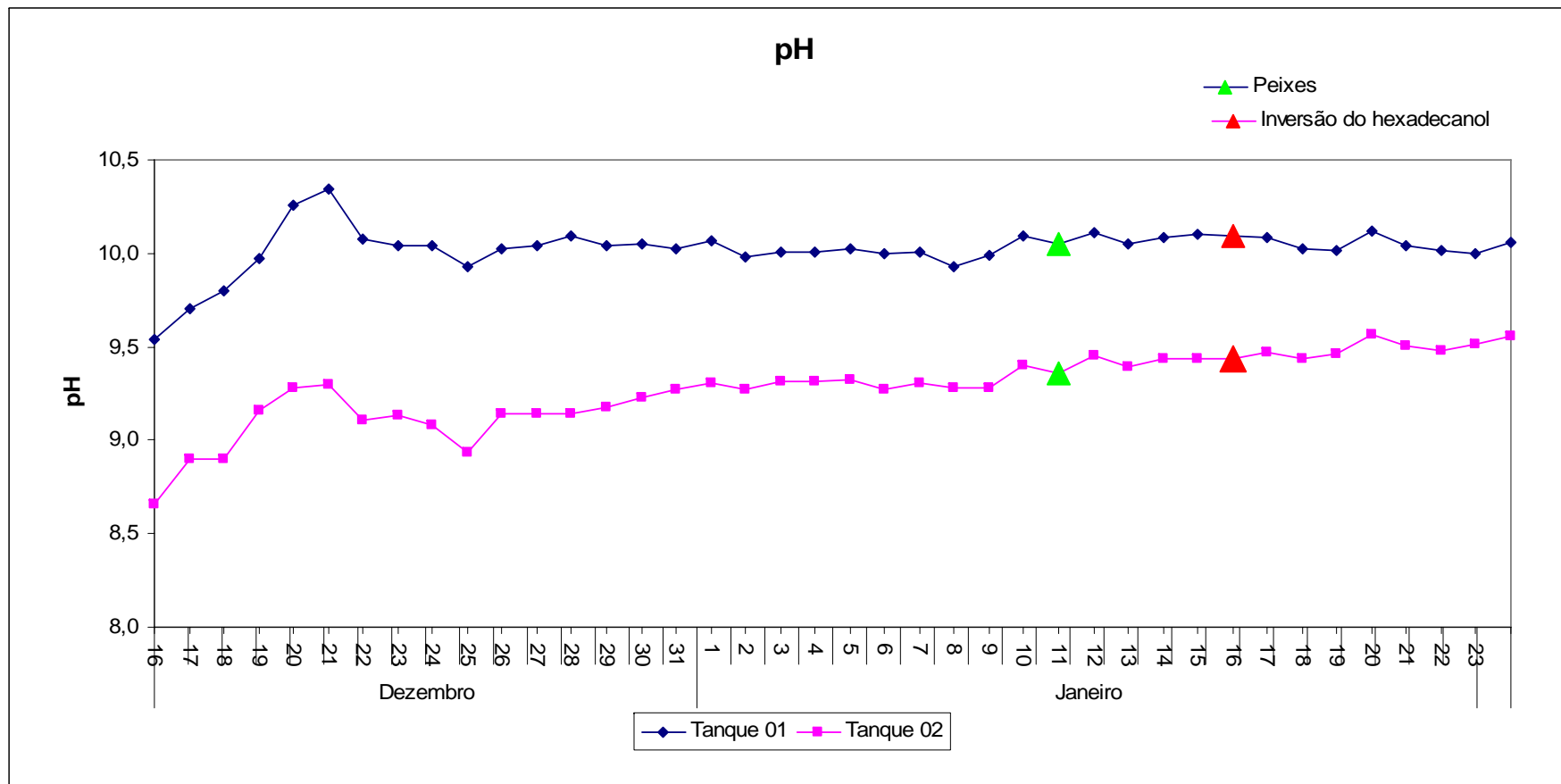
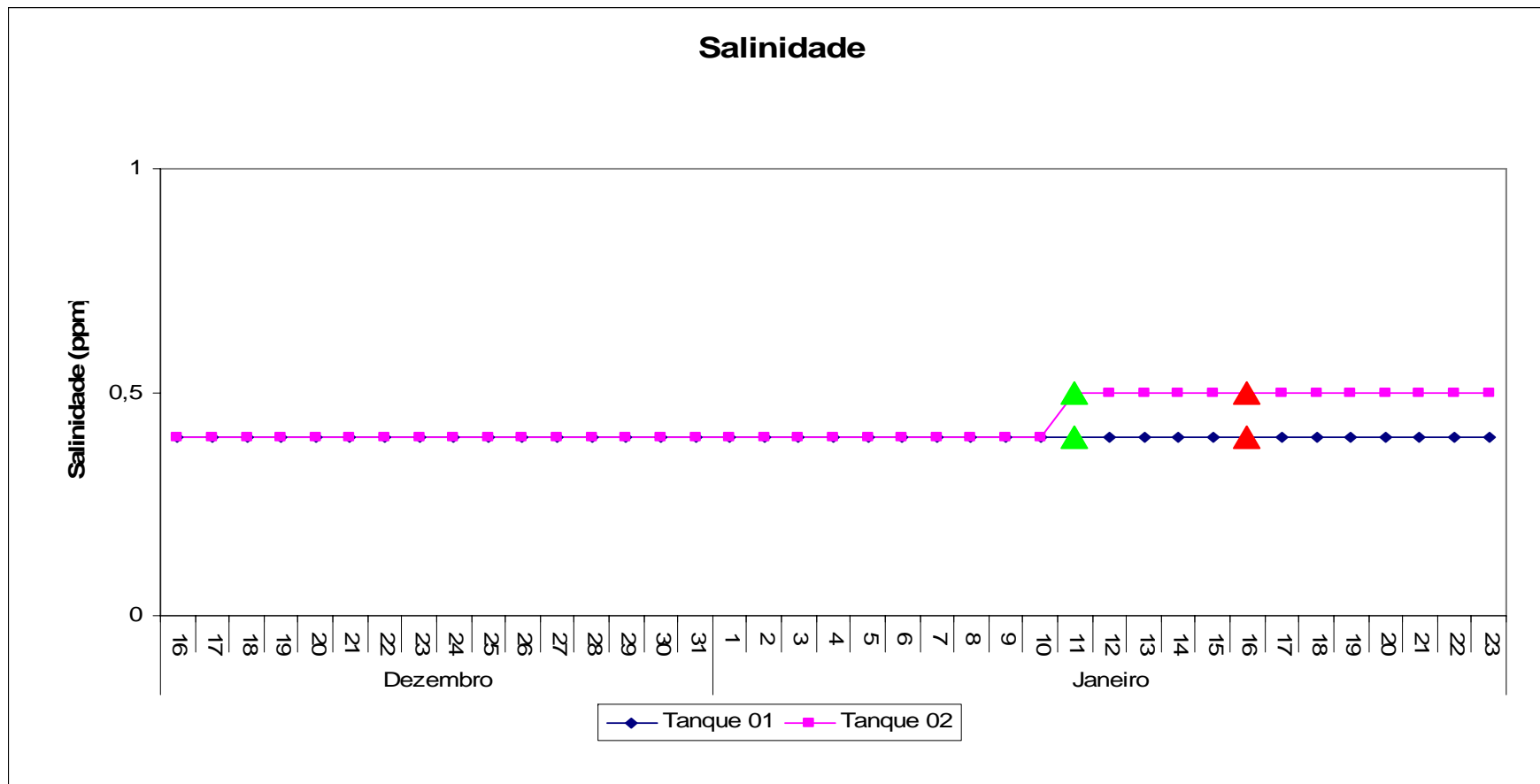


FIGURA 23 - pH dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação.



**FIGURA 24 - Salinidade dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação.**

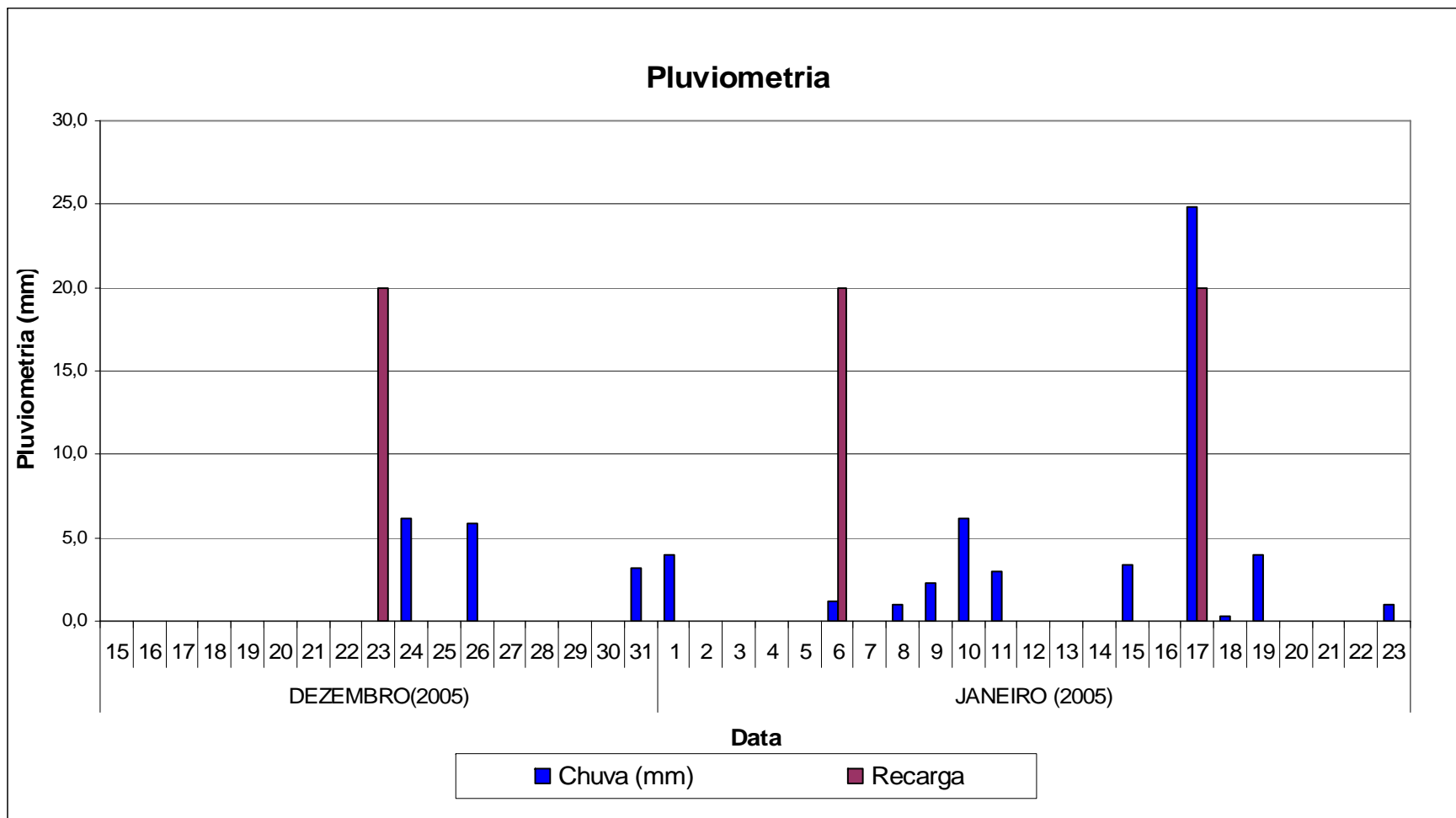


FIGURA 25 - Pluviometria (em milímetros) e dias de recarga no segundo período de observação.

As curvas mostram um comportamento singular dos parâmetros avaliados. O primeiro aspecto a ser considerado é a diferença entre a qualidade da água dos tanques. Tal diferença deve-se ao fato de que não foi tecnicamente possível estabelecer uma equivalência entre a qualidade da água nos dois tanques devidos a problemas enfrentados com a bomba que abastecia a estação meteorológica. Entretanto, mesmo com esta diferença inicial, foi mantido o início da coleta dos dados a fim de se estabelecer uma visão do comportamento dos reservatórios, por existir ferramentas estatísticas que permitissem uma análise confiável mesmo com as diferenças iniciais e devido ao fato do período chuvoso estar eminente.

Observam-se ainda dois acontecimentos de relativa importância ocorridos durante este período. No dia 12 de janeiro foram colocados 10 alevinos de Tilápia do Nilo no tanque 02 para estabilizar a população de peixes (visivelmente desigual nos dois tanques, devido a um indesejado processo reprodutivo estabelecido no tanque 01). Ao dia 16 de janeiro, foi invertida a colocação de hexadecanol do tanque 01 para o tanque 02 com intuito de determinar diferenças entre o que fora causado por intermédio da introdução dos peixes, e pela aplicação de hexadecanol. Estes eventos estão marcados nos gráficos em verde (colocação dos alevinos de Tilápia) e em vermelho (inversão do hexadecanol), para melhor visualização destas interferências.

Com relação à temperatura (figura 20) é possível observar nas curvas apresentadas uma pequena diferença entre as temperaturas dos dois tanques. As diferenças, contudo, se mantêm sempre em torno de meio grau centígrado e o comportamento das curvas é muito equiparável. Observam-se, nestes gráficos, algumas quedas acentuadas na temperatura em ambos os reservatórios em dezembro e janeiro, todas ocorrendo em dias nos quais se verificou certa pluviometria.

A introdução dos alevinos no dia 12 provocou certa estabilização da temperatura nos dois reservatórios, devido à alteração que os mesmos provocaram na turbidez.

A inversão do hexadecanol de um tanque para outro (16/jan) coincidiu com uma inversão na tendência observada de temperaturas levemente mais altas no tanque 01, a partir de então observadas no tanque 02. Salienta-se que Agostinho (2004), comentou que a aplicação de hexadecanol produziu pequena elevação da temperatura na água de tanques

de 20m<sup>2</sup>. O autor ainda justifica que tal fato pode ser atribuído a supressão do processo evaporativo, que funciona como acumulador de energia e conseqüente causador do aumento na temperatura.

Com relação ao parâmetro turbidez, observa-se graficamente (figura 21) que o tanque 02 (sem hexadecanol) mantém certa estabilidade, oscilando entre 3uT e 4uT até o dia 12 de janeiro, quando foram introduzidos os alevinos. Um dia depois da introdução, a turbidez do tanque dá um salto de mais de uma unidade e permanece estabilizada em 5uT até o final do período, mesmo depois da inversão de aplicação do hexadecanol.

Os valores maiores de turbidez no tanque 01 dificilmente poderiam ser causados por deposição de material inorgânico carregados pelo vento, devido ao fato dos dois reservatórios estarem igualmente dispostos com relação à incidência eólica e na mesma altura. Por este fato, foram feitas análises microbiológicas para quantificação e qualificação de fitoplânctons na água dos tanques, que justificariam as diferenças encontradas na turbidez e em outros parâmetros. Os resultados encontrados nestas análises serão demonstrados no próximo tópico.

A turbidez, que é função da presença de material particulado em suspensão, provavelmente foi fortemente influenciada pela presença diferenciada de alevinos entre um tanque e outro. Isto porque, além destes provocarem ressuspensão do material de fundo (por revolvê-lo em busca de alimento), eles adicionam material particulado à coluna d'água pelas fezes. Paralelamente, a decomposição deste material (mesmo que parcial) fertiliza a água, permitindo rápido desenvolvimento fitoplanctônico, o qual é o elemento mais importante influenciando a turbidez dos tanques – o que pode ser inferido até pela observação a olho nu das amostras, sempre esverdeadas, mas também ficou claro pelas análises quantitativas do fitoplâncton, as quais apresentaram um coeficiente de correlação  $R = 0,9019$ , aceitável com significância de  $\alpha = 0,05$  para uma amostra de 11 indivíduos (Apêndice E, Tabela E1).

Esta relação pode ser observada nos gráficos de correlação entre os parâmetros abióticos, dos parâmetros abióticos com a contagem fitoplanctônica e nas representações “curva x coluna” apresentados no Apêndice F.

Esta cadeia de eventos também é descrita por Nunes (2006). Contudo, os valores de turbidez sempre foram maiores no tanque 1 e, apesar de os valores aferidos nos

tanques equipararem-se após a adição dos alevinos no tanque 2, a diferença torna a existir após 1 semana. Isto reflete a diferença na qualidade da água dos dois tanques provavelmente ocasionada pela contribuição da biota diferenciada. De maneira mais completa, pode-se afirmar que a alteração sofrida pela turbidez devido à colocação dos alevinos de Tilápia do Nilo atribui-se a dois fatores básicos: (1) a produção de excrementos pelos animais que influencia direta (contribuindo para o aumento da matéria orgânica em suspensão) e indiretamente (influenciando o crescimento fitoplanctônico) este parâmetro. (2) A natureza onívora dos mesmos que os atribui o hábito de remover materiais acumulados no fundo do reservatório quando à procura de alimentos. Esta última característica é de especial importância tendo em vista que a deposição de material no fundo se torna bem mais significativa em tanques do modelo que está sendo utilizado na pesquisa.

Ainda com relação à dinâmica deste parâmetro no tanque 01, observa-se uma tendência ao decréscimo com o decorrer do período de coletas. Esta tendência pode ter sido devida ao início do período chuvoso e uma conseqüente redução na radiação global. Tal redução pode ter limitado o crescimento fitoplanctônico no tanque 01, sem ter o mesmo efeito no tanque 02 pela menor atenuação sofrida pela radiação na coluna d'água do mesmo, a qual apresentava menores valores de turbidez (verificar o Apêndice A para os dados climatológicos deste período). Ou seja, provavelmente, no tanque 02, o fator limitante ao crescimento fitoplanctônico era a concentração de nutrientes, enquanto que no 01, passou a ser a quantidade de luz disponível, pela redução da radiação solar no início do período chuvoso, a qual já era bastante atenuada ao atravessar a coluna d'água (o fitoplâncton produz turbidez e, por conseguinte, auto-sombreamento).

Com relação à condutividade, o tanque 02 mantém níveis maiores durante todo o período. Contudo, quando analisada a correlação existente entre as curvas, obteve-se um coeficiente de correlação  $R = 0,9891$  (Apêndice F), adequando para um nível de significância  $\alpha = 0,05$  (tabela E1 do apêndice E). O resultado permite concluir que os fatores que influenciam este parâmetro (os ambientais, provavelmente aqueles que promovem a evaporação da água e sua adição – a chuva) são comuns aos dois tanques, excluindo, portanto a possibilidade do surfactante ser o causador direto desta diferença.

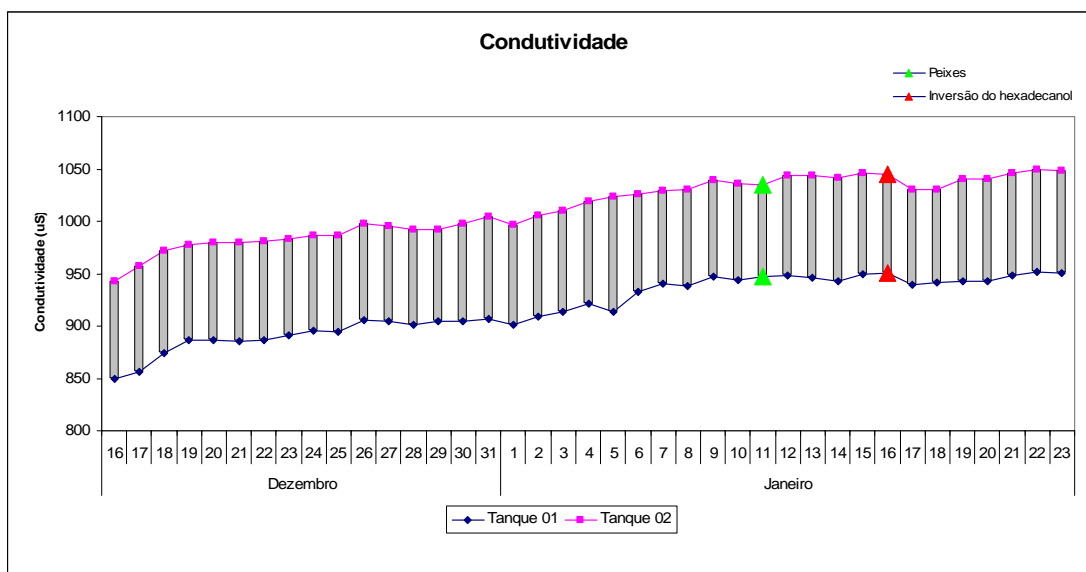
Os níveis mais elevados de condutividade no tanque 02 provavelmente estão refletindo a diferença existente na biota. O aumento gradativo da condutividade nos dois tanques, contudo, pode ser justificado pela concentração de sais que o processo evaporativo provoca quando suprime a quantidade de água, mas mantém a quantidade de material inorgânico.

Observa-se ainda que o comportamento da condutividade não apresentou modificações bruscas após a introdução dos peixes e a inversão da aplicação de hexadecanol.

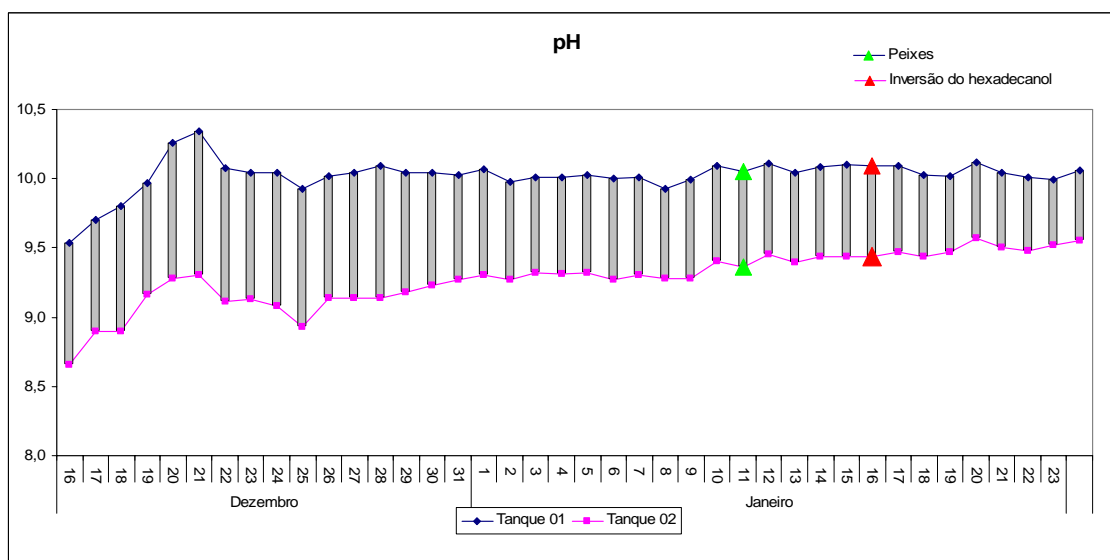
Já com relação ao pH (figura 23), apesar do coeficiente de correlação ter apresentado menor valor ( $R = 0,6462$ ), ainda é significativa para  $\alpha = 0,05$  a existência de uma correlação entre as curvas dos dois tanques (Apêndice F). O resultado demonstra que o parâmetro é influenciado por fatores que são comuns aos reservatórios como o são os fatores climatológicos que influenciam produção e decomposição, embora tenham sido observadas diferenças maiores no início do período e uma tendência a equalização do parâmetro nos dois tanques no final do período de estudos, pela diminuição gradativa da diferença de valores nos mesmos.

A tendência a aproximação observada nos valores de pH pode ser atribuída ao equilíbrio gradativo das populações fitoplanctônicas, pois, o pH é um parâmetro muito estreitamente relacionado com o desenvolvimento fitoplanctônico, tendo ambos apresentado tendências similares: maiores densidades fitoplanctônicas e maiores valores de pH. Contudo, correlações ótimas não são conseguidas pela existência de sistemas tampões no ambiente aquático que atenuam as mudanças de pH, como a alcalinidade.

As figuras 26 e 27 mostram as curvas de pH e condutividade com barras de máximo e mínimo que facilitam a visualização da diferença entre os valores para cada tanque.



**FIGURA 26 - Condutividade dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação com barras de máximo e mínimo.**



**FIGURA 27 - pH dos tanques 01 (com hexadecanol) e 02 (sem hexadecanol) para o segundo período de observação com barras de máximo e mínimo.**

A salinidade (figura 24), devido ao fato da sua determinação ser feita em partes-por-mil (‰), não apresentou variações no período avaliado até o dia 10 de janeiro (0,4 ‰). Contudo, no dia 11 houve uma modificação do valor para o tanque 02 para 0,5‰, enquanto que no tanque 01 este parâmetro se manteve em 0,4‰ até o final da coleta. Tal acontecimento pode ser justificado, da mesma forma que fora feito com a condutividade, por consequência da concentração de sais que o processo evaporativo ocasiona. Tendo em

vista que este processo esta sendo suprimido no tanque 01 é esperado um aumento mais lento da salinidade no mesmo.

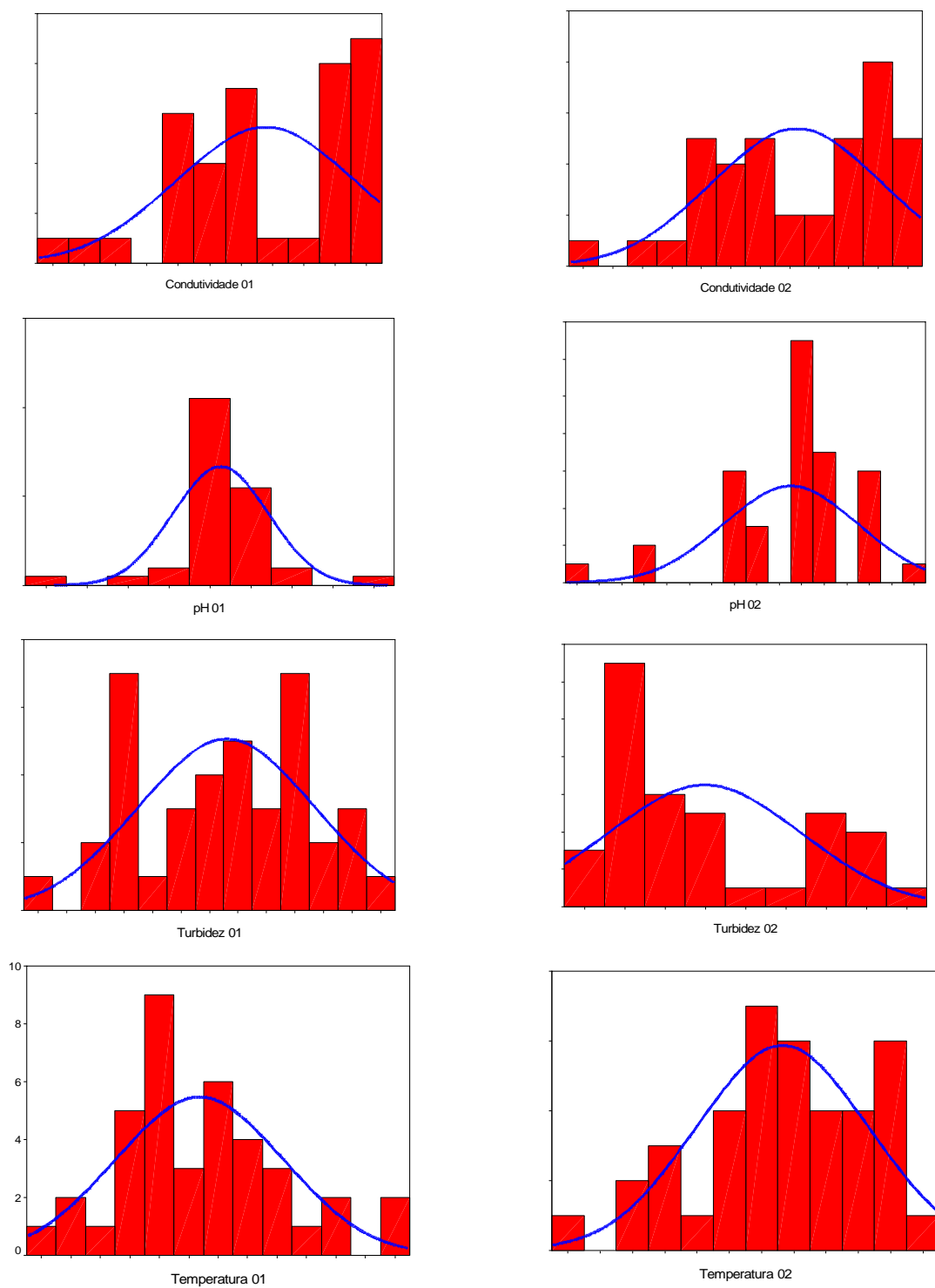
A influência dos períodos de recarga em alguns parâmetros, principalmente no pH e na turbidez, também é fato notório. Os baixos índices de turbidez e o pH elevado que a água de recarga possui produzem modificações significativas nos mesmos.

#### *4.4.4 – Avaliação estatística*

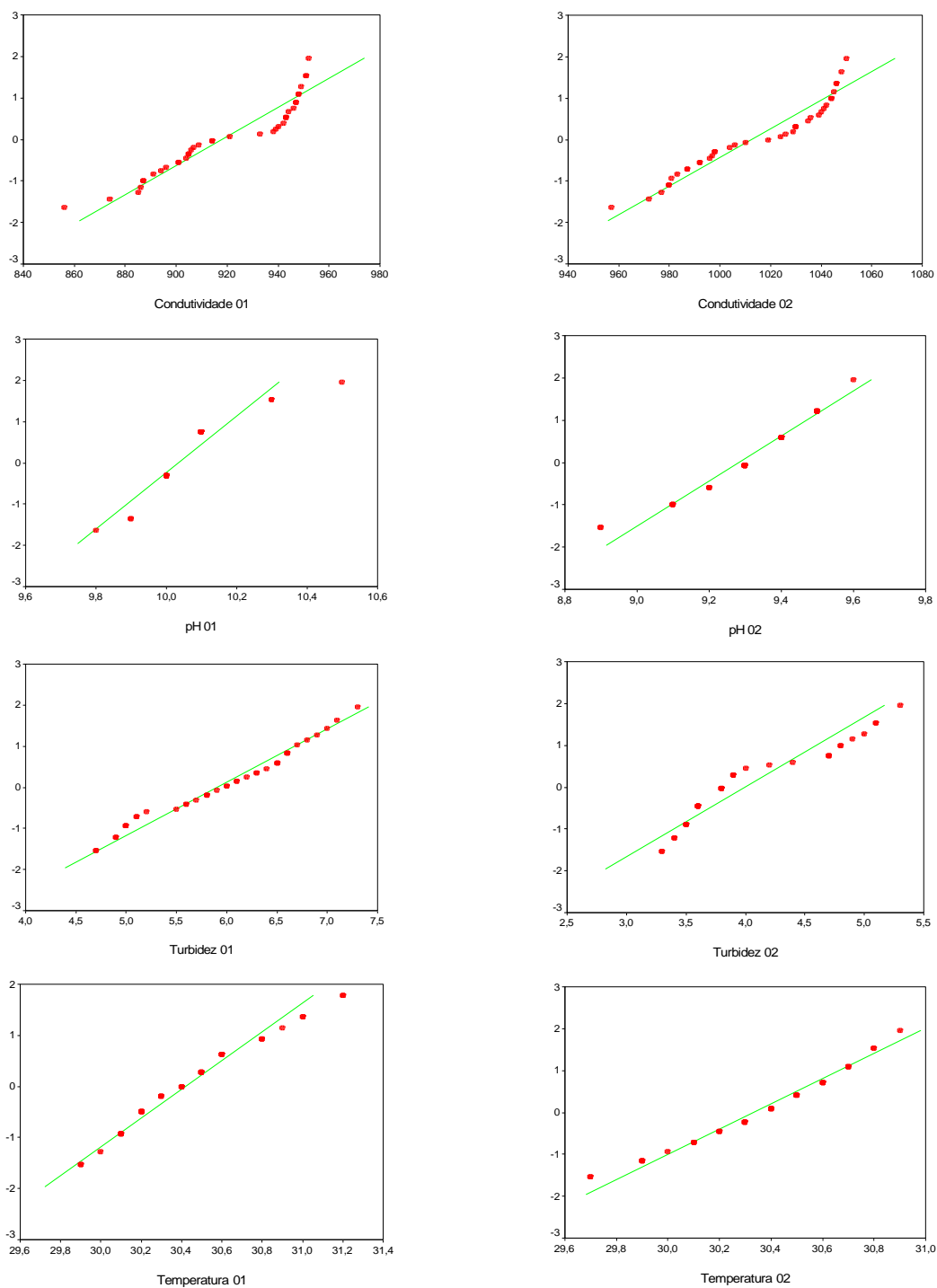
##### *4.4.4.1 – Testes de normalidade e caracterização das amostras*

O estudo constituiu-se basicamente da aplicação de testes de hipótese para comparação dos “desvios padrões” de cada amostra (devido à diferença inicial verificada nos dados).

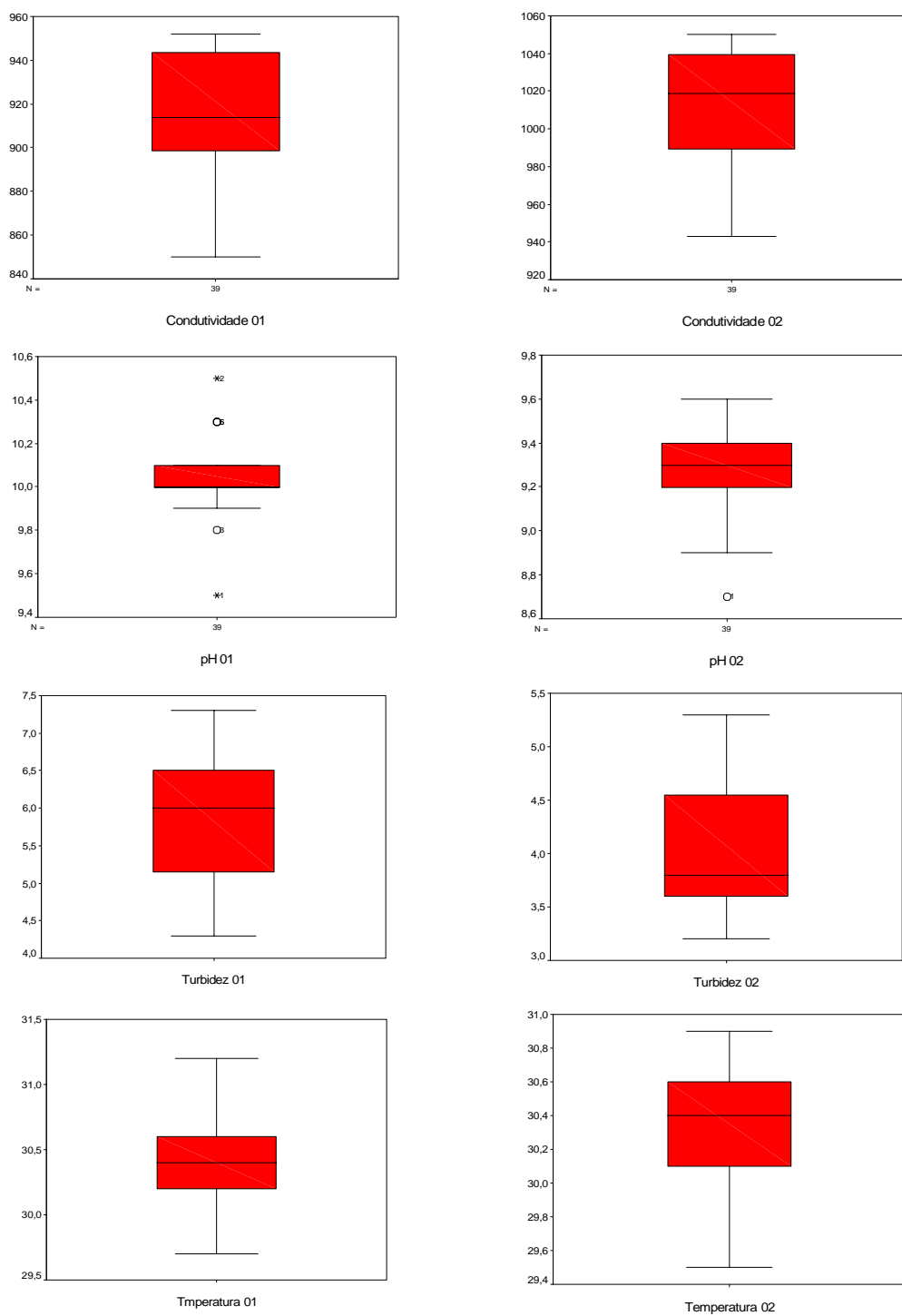
Para tanto, conforme exigências do próprio teste, todas as populações devem apresentar distribuição normal. A tabela 18 apresenta o estudo de normalidade das amostras utilizando coeficientes de simetria e curtose e o teste Kolmogorov-Smirnov. As figuras 28, 29 e 30 mostram os histogramas, os gráficos de probabilidade normal e os diagramas de caixa (*Box Plot*) para todas as populações, com exceção da Salinidade no tanque 01 e Salinidade no tanque 02, que devido a sua distribuição praticamente uniforme já apresentava indícios claros de não normalidade.



**FIGURA 28 - Histogramas das variáveis do físico-químico (Fase 02/ Período II).**



**FIGURA 29 - Gráficos de probabilidade normal das variáveis do físico-químico (Fase 02/ Período II).**



**FIGURA 30 - Diagramas de caixa (*BoxPlot*) das variáveis do físico-químico (Fase 02/Período II).**

TABELA 18 - Características de distribuição, testes de normalidade e possíveis ações corretivas (Fase 02/Período II).

Variáveis	Descritores de Forma <sup>a</sup>				Teste de Normalidade (Kolmogorov-Smirnov)		Descrição da distribuição	Ações corretivas	
	Assimetria		Curtose					Transformação	Significância
	Estatística	Teste	Estatística	Teste	Estatística	Significância			
Condutividade 01	-0,530	-1,367	0,651	-0,840	,202	,000	Assimetria positiva	Sem correções significativas	-
Condutividade 02	-0,454	-1,171	-0,814	-1,051	,156	,020	Assimetria positiva	Sem correções significativas	-
Salinidade 01	-1,039	-2,684	-2,108	-2,722	,420	,000	Distribuição uniforme	-	-
Salinidade 02	0654	1,688	-1,658	-2,141	,296	,000	Distribuição uniforme	-	-
pH 01	-1,469	-3,792	6,252	8,071	,214	,000	Dispersão	Raiz quadrada	0,003
pH 02	-1,033	-2,667	1,349	1,742	,114	,200	Dispersão	Raiz quadrada	0,078
Turbidez 01	-0,238	-0,615	-0,852	-1,100	,106	,200	Distribuição normal	Função inversa	>0,200
Turbidez 02	0,723	1,868	-0,922	-1,191	,230	,000	Assimetria negativa	Função inversa	0,012
Temperatura 01	0,447	1,153	-0,144	-0,186	,133	,085	Distribuição normal	Sem correções significativas	-
Temperatura 02	-0,571	-1,474	-0,103	-0,132	0,091	,000	Leve assimetria positiva	Sem correções significativas	-

Os gráficos e a tabela apresentados possibilitam uma boa análise da distribuição das populações em estudo. Observa-se imediatamente que o parâmetro salinidade, para os dois tanques, possui uma distribuição uniforme, e, por conseguinte, não poderá ser comparado através do teste proposto.

Os parâmetros turbidez e temperatura apresentam distribuições bem próximas da normal, sendo evidenciado para o tanque 02, uma pequena assimetria negativa para a sua turbidez e pequena assimetria positiva para a sua temperatura.

A condutividade aparece com assimetria positiva para os dois tanques e o pH tem uma distribuição consideravelmente dispersa no tanque 01 e uma distribuição próxima da normal no tanque 02 (também observada nos histogramas).

Os diagramas de caixa confirmam as características apresentadas nos histogramas e nos gráficos de distribuição normal e apresentam claramente a diferença existente entre os valores de cada tanque, para todos os parâmetros, quando comparadas às medianas em cada caixa. A partir dos mesmos diagramas ainda observa-se a pequena variação do pH e, em contrapartida, as grandes variações experimentadas pelos demais parâmetros, principalmente pela turbidez.

Na tabela 18 é possível verificar que a salinidade e o pH dos dois tanques não se mostraram estatisticamente significativos quando a normalidade das suas distribuições foi testada através dos da simetria (curtose e assimetria) e do teste Kolmogorov-Smirnov. As demais variáveis apresentaram pequenos desvios quando testadas com Kolmogorov-Smirnov, mas foram aprovadas nos testes de simetria para significância  $\alpha=0,05$  (  $-1,96 < p < 1,96$  ).

Cirillo (2003) já comentava que a utilização deste teste pode trazer pequenos desvios devido a pouca flexibilidade do mesmo e a uma deficiência em controlar o erro do tipo I. O mesmo autor comenta ainda que os testes de assimetria são mais indicados no estudo de grandes amostras e caracterizam-se por ser assintóticos. Em contrapartida, Kolmogorov-Smirnov não tem exigências com relação ao tamanho da amostra e considera particularmente as características de cada população.

As ações corretivas minimizaram a assimetria apresentada pela turbidez e corrigiram um pouco a dispersão do pH para os dois tanques. Conforme exposto na tabela

16, os ajustes aplicados aos demais parâmetros não apresentaram resultados que justificassem a sua utilização.

A tabela 19 mostra como ficou a estatística descritiva da Turbidez depois de aplicada a função inversa como ferramenta de ajuste para a mesma.

**TABELA 19 - Estatística descritiva da Turbidez para os dois tanques depois de aplicado o ajuste.**

Parâmetro	N	Mínimo	Máximo	Média	Desv. Pad.	Variância	Assimetria		Curtose	
							Valor	Erro Pad.	Valor	Erro Pad.
Turbidez T1	40	0,14	0,23	0,1723	0,0235	0,678	0,374	-0,315	0,733	0,73
Turbidez T2	40	0,19	0,32	0,2546	0,0358	-0,440	0,374	-1,095	0,733	0,73

Os valores brutos e ajustados com raiz quadrada e função inversa deste parâmetro encontram-se no Apêndice B.

De acordo com este estudo preliminar é possível admitir a utilização dos testes de hipótese para comparação dos desvios padrões da turbidez, temperatura e condutividade. Pela inadequabilidade de suas distribuições, o pH e a salinidade não poderão ser comparados com estes testes.

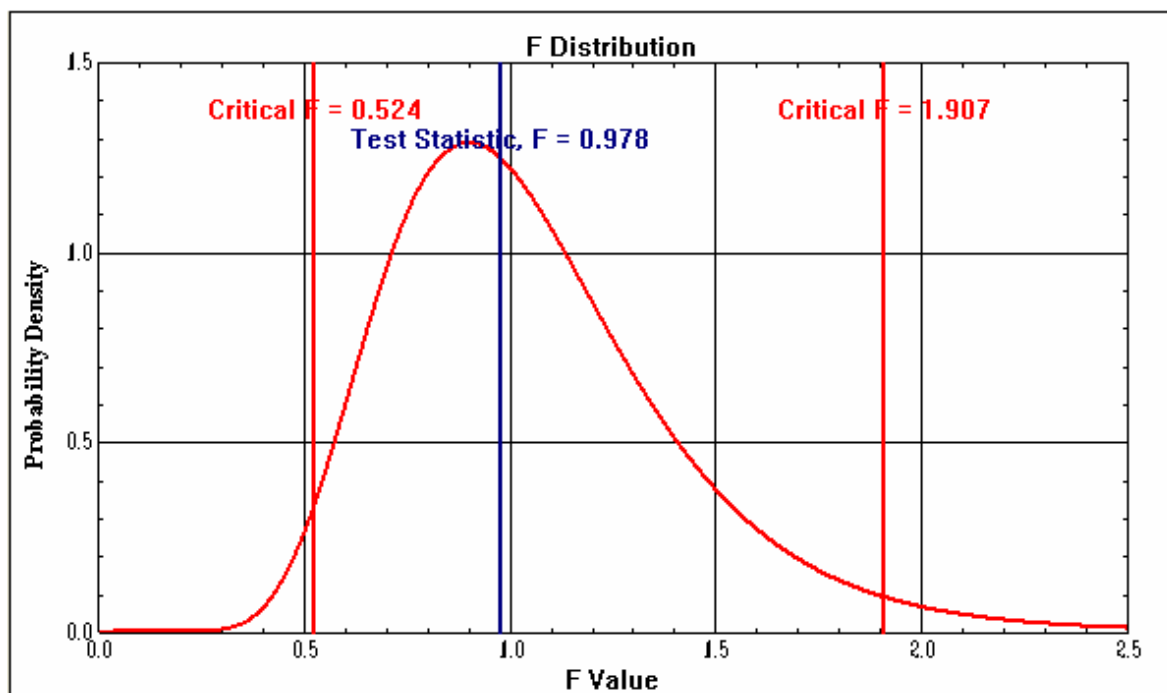
#### 4.4.4.2 – Testes de hipótese

De acordo com o que fora observado nas curvas de comportamento e respeitando as limitações de distribuição exigidas pelo teste de hipótese em questão, as amostras foram testadas conforme apresentado a seguir.

O primeiro teste foi aplicado a Condutividade dos dois tanques obedecendo as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): O desvio padrão da condutividade nos dois tanques não difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 01 e não ter aplicado no tanque 02.
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): O desvio padrão da condutividade nos dois tanques difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 01 e não ter aplicado no tanque 02.

A Figura 31 apresenta o resultado gráfico do teste de hipótese utilizando um intervalo de confiança de 95%.



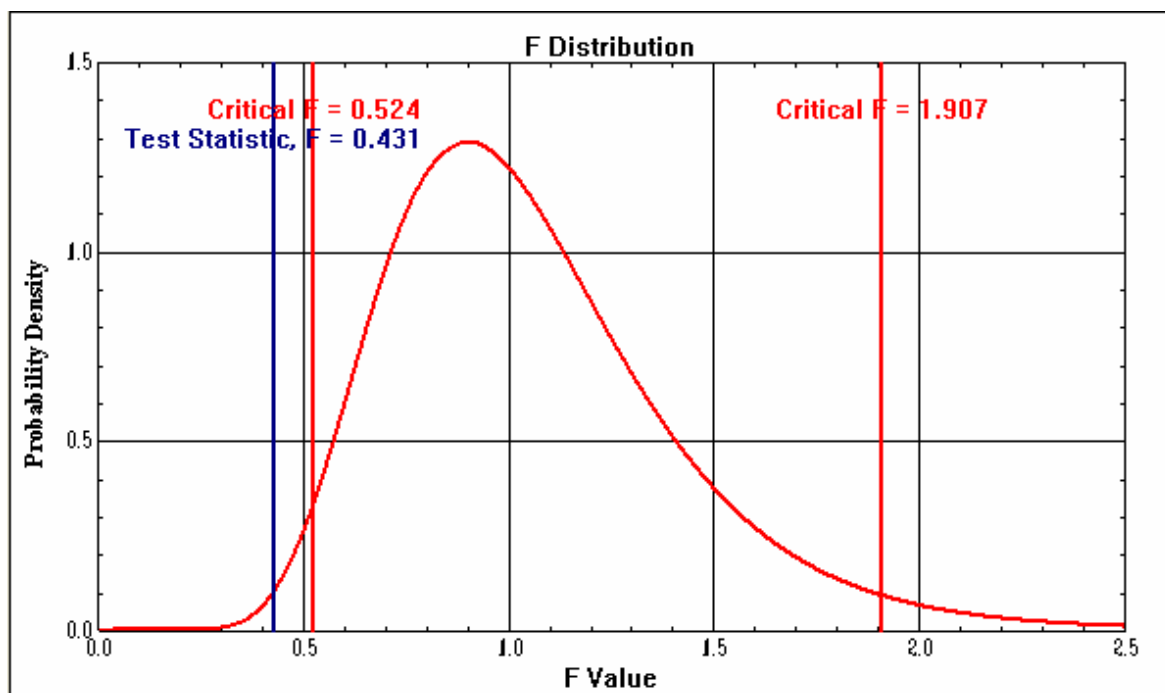
**FIGURA 31 - Teste estatístico comparando o desvio padrão da condutividade nos dois tanques (Fase 02/ período II).**

Como a estatística de teste ( $F_t = 0,978$ ) caiu dentro do intervalo estabelecido pelo teste ( $0,524 < F < 1,907$ ), aceita-se a hipótese nula. Portanto, há suficiente evidência para apoiar a afirmativa de que não existe diferença entre os desvios padrões da condutividade nos dois tanques.

O segundo teste foi aplicado para a Turbidez dos dois tanques obedecendo as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): O desvio padrão da Turbidez nos dois tanques não difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 01 e não ter aplicado no tanque 02.
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): O desvio padrão da Turbidez nos dois tanques difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 01 e não ter aplicado no tanque 02.

A Figura 32 apresenta o resultado gráfico do teste de hipótese utilizando um intervalo de confiança de 95%.



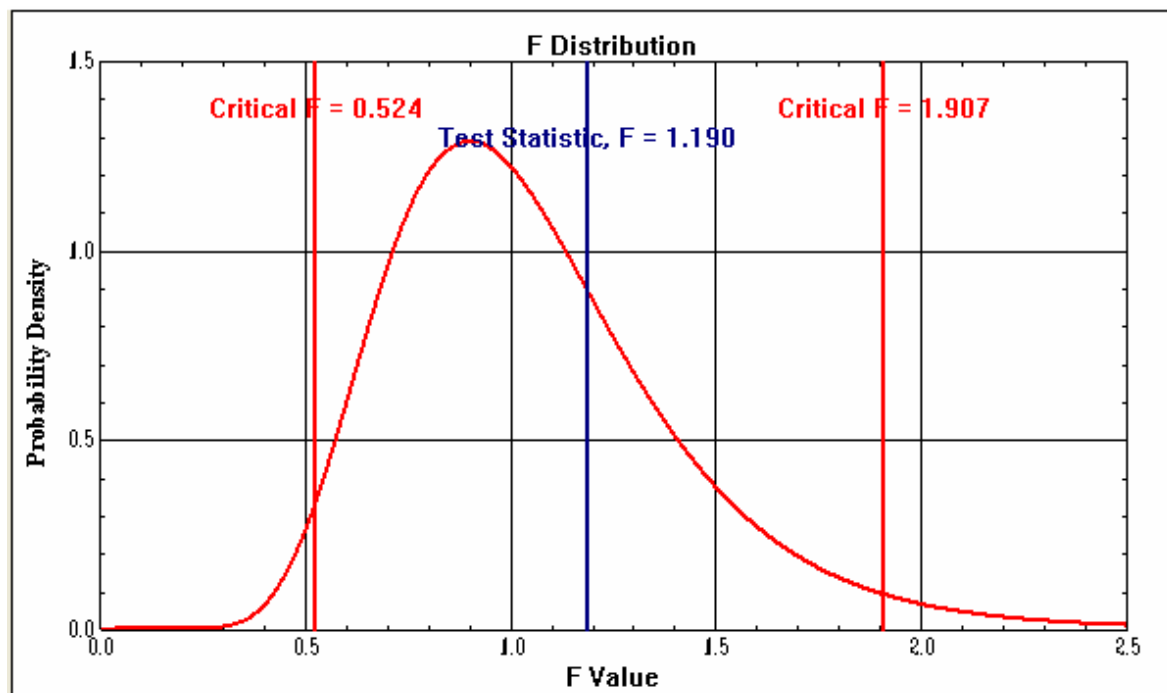
**FIGURA 32 - Teste estatístico comparando o desvio padrão da turbidez nos dois tanques (Fase 02/ Período II).**

Como a estatística de teste ( $F_t = 0,431$ ) caiu na região crítica, fora dentro do intervalo estabelecido pelo teste ( $0,524 < F < 1,907$ ), rejeita-se a hipótese nula. Portanto, há suficiente evidência para apoiar a afirmativa de que existe diferença entre os desvios padrões da turbidez nos dois tanques.

O terceiro teste foi aplicado para a Temperatura dos dois tanques obedecendo as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): O desvio padrão da Temperatura nos dois tanques não difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 01 e não ter aplicado no tanque 02.
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): O desvio padrão da Temperatura nos dois tanques difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 01 e não ter aplicado no tanque 02.

A Figura 33 apresenta o resultado gráfico do teste de hipótese utilizando um intervalo de confiança de 95%.



**FIGURA 33 - Teste estatístico comparando o desvio padrão da temperatura nos dois tanques (Fase 02/ Período II).**

Como a estatística de teste ( $F_t = 1,190$ ) caiu dentro do intervalo estabelecido pelo teste ( $0,524 < F < 1,907$ ), aceita-se a hipótese nula. Portanto, há suficiente evidência para apoiar a afirmativa de que não existe diferença entre os desvios padrões da Temperatura nos dois tanques.

Os resultados permitem inferir que os parâmetros condutividade e temperatura para os dois tanques apresentaram a mesma variabilidade durante o estudo, todavia, o parâmetro Turbidez não apresentou a mesma característica. Tal fato é compatível com o que foi apresentado anteriormente nas curvas de comportamento destas três variáveis e sugere que o hexadecanol não interferiu significativamente na temperatura e na condutividade. Entretanto acredita-se que o desvio encontrado na turbidez deve-se muito mais a uma diferença no fitoplâncton dos dois tanques, ocasionado pela alteração da microbiota, que ao hexadecanol.

De maneira complementar os valores encontrados dos coeficientes de correlação de Pearson para a turbidez, a temperatura, o pH e a condutividade foram,

respectivamente,  $R_{Tu} = 0,4787$ ,  $R_{pH} = 0,6412$ ,  $R_{Te} = 0,6412$  e  $R_C = 0,9891$  (Apêndice F). Tendo em vista que o valor crítico estabelecido por Triola (2005) para uma amostra de 40 indivíduos com significância  $\alpha = 0,05$  é  $R_c = 0,312$  (Apêndice E), os testes demonstram uma forte correlação entre a condutividade, uma correlação moderada entre o pH e a temperatura e uma fraca correlação para a turbidez nos dois tanques.

O tópico a seguir apresenta a análise do fitoplâncton que reforça os comentários anteriores.

#### 4.4.5 – Avaliação do fitoplâncton.

Uma avaliação qualitativa preliminar aliada à quantificação do fitoplâncton nesta etapa indicou predominância de basicamente três espécies:

- *Coelastrum reticulatum* var. *cubanum*. Espécie tropical que compõe o plâncton ou perifíton de reservatórios com águas de meso a eutróficas e alcalinas.
- *Ecdysichlamys periphytica*. Primeiro registro de ocorrência em Cuba.
- *Monoraphidium minutum* Táxon cosmopolita mais frequente nos trópicos, tanto no plâncton quanto no perifíton de reservatórios com águas alcalinas.

A tabela 20 sumariza as contribuições percentuais destas e demais espécies fitoplanctônicas nos dois reservatórios no início da coleta (inóculo).

**TABELA 20 - Espécies fitoplanctônicas presentes no inóculo dos dois tanques (Fase 02/ Período II) e suas respectivas contribuições percentuais.**

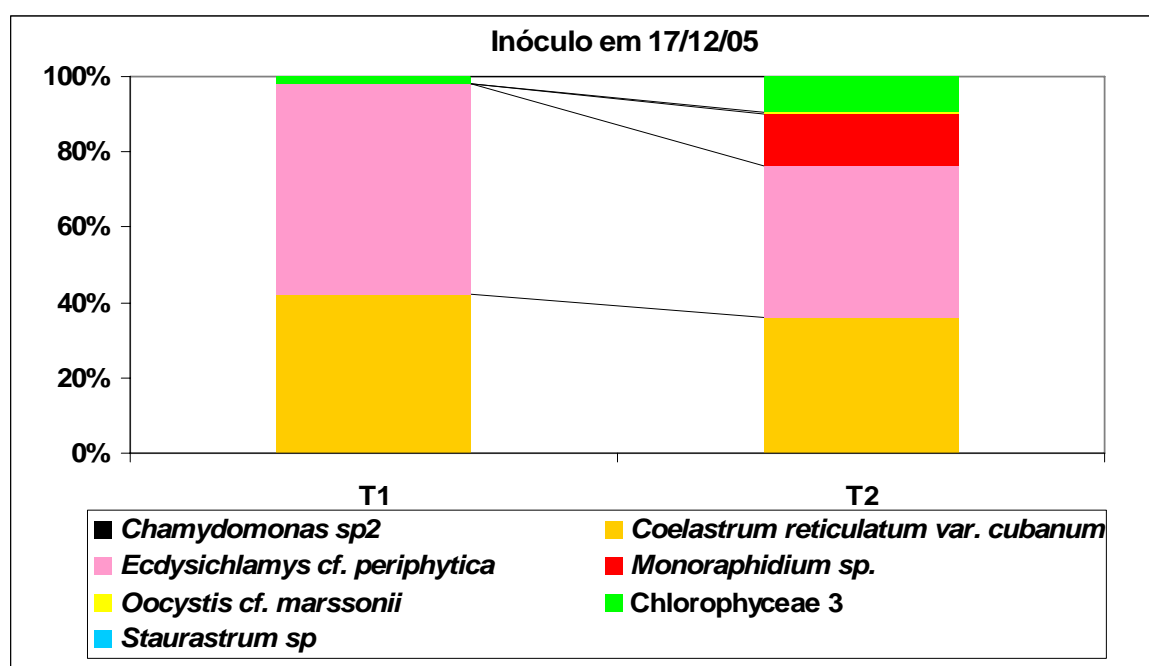
Espécie	Células/mL		%	
	T1	T2	T1	T2
<i>Chamydomonas</i> sp2	0	0	0,0	0,0
<i>Coelastrum reticulatum</i> var. <i>cubanum</i>	74.673	27.641	42,4	35,8
cf. <i>Ecdysichlamys periphytica</i>	97.787	31.372	55,5	40,6
<i>Monoraphidium</i> sp.	0	10.513	0,0	13,6
<i>Oocystis</i> cf. <i>marssonii</i>	0	501	0,0	0,6
Chlorophyceae 3	3.671	7.176	2,1	9,3
<i>Staurastrum</i> sp	0	0	0,0	0,0
<b>TOTAIS</b>	<b>176.131</b>	<b>77.202</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Observa-se quase uma dominância das espécies *Coelastrum reticulatum* (42,4%) e *Ecdysichlamys periphytica* (55,5%) no tanque 01 (97% das células existentes no tanque) e uma cultura mais diversificada no tanque 02 (checar Apêndice D). Neste, também é verificada a presença de *Coelastrum reticulatum* e *Ecdysichlamys periphytica*, apresentando-se também a presença significativa da espécie predominância da espécie *Monoraphidium minutum* (13,6% das células existentes no tanque).

Os dois táxons, bem como a *Monoraphidium minutum*, são predominantes em águas alcalinas como a encontrada nos reservatórios em estudo.

A diferença entre as duas populações pode ser atribuída principalmente à proliferação indevida dos peixes no tanque 01 que provocou uma modificação do ambiente aquático, facilitando a predominância de alguns táxons específicos e limitando a presença de outros.

A figura 34 apresenta os percentuais de contribuição de cada táxon no primeiro dia de coleta (17 de dez.) representando a situação inicial do fitoplâncton em cada tanque.



**FIGURA 34** - Percentual de contribuição de cada táxon para o total fitoplanctônico, em valores de células/mL, para  $t_0=17/12/05$ .

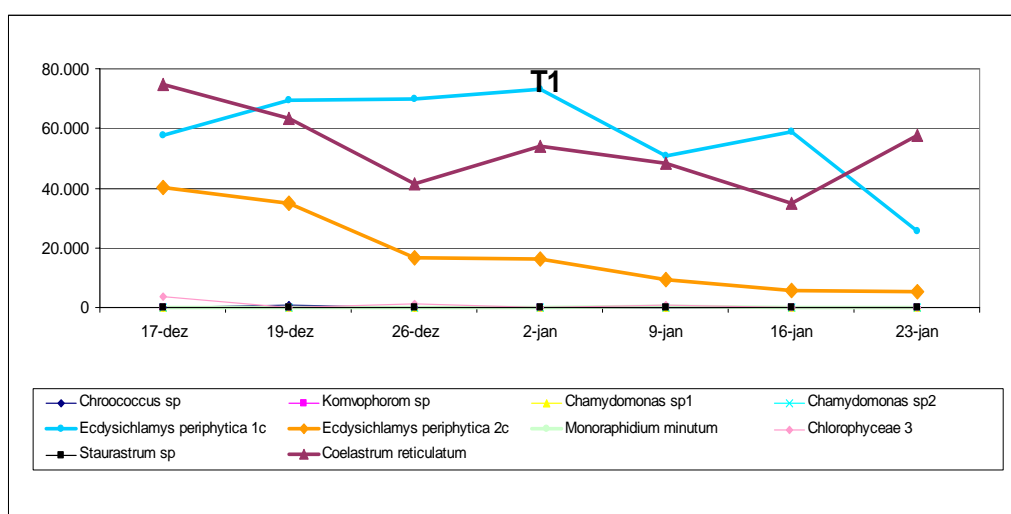
A desigualdade entre as comunidades fitoplanctônicas justifica as diferenças encontradas nos parâmetros abióticos no início da coleta e durante todo o período tendo em vista que o processo de carga dos tanques foi feito com a mesma água. A partir dos valores totais (células/mL) é possível observar que o tanque 01 possui mais que o dobro de células que o tanque 02 para o mesmo volume. Tal fato justifica a disparidade existente entre os níveis de turbidez dos reservatórios e confirma que esta turbidez é basicamente microbiológica.

De maneira complementar pode ser atribuído também ao fitoplâncton à diferença visualizada no pH e, por consequência do processo alimentar destes organismos (que se resume no consumo de íons livres presentes na água), os maiores níveis de condutividade experimentados pelo tanque 02 (CARMOUZE, 1994).

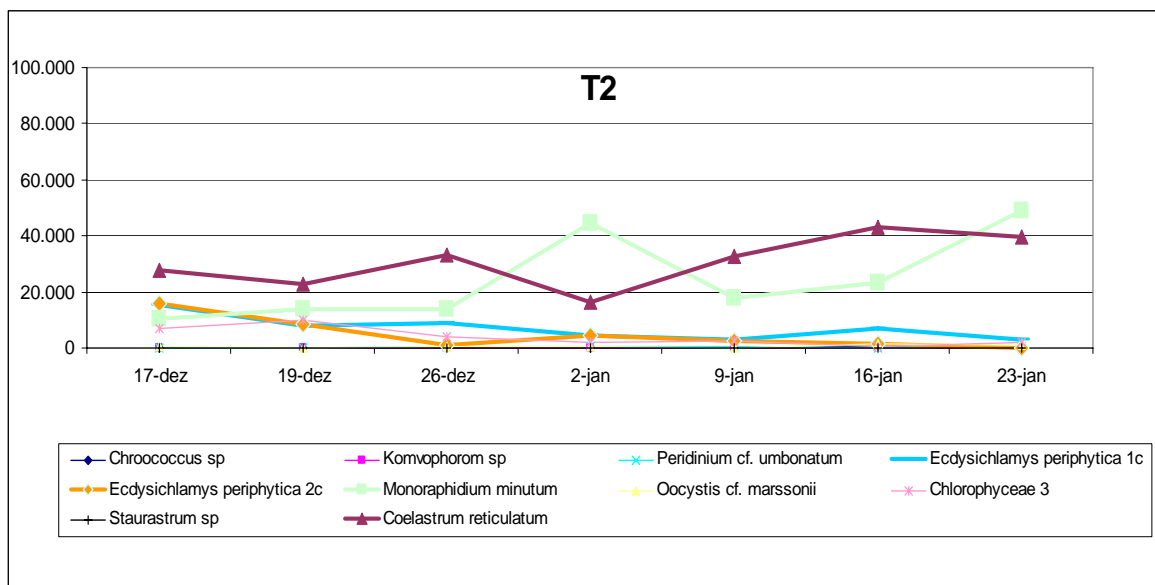
A temperatura mais elevada no tanque 02 pode ser atribuída a sua menor turbidez, pois a presença de material em suspensão interfere na penetração da radiação. Já a compatibilidade da salinidade pode ser explicada pela forma de determinação do parâmetro, conforme comentado anteriormente.

Os níveis elevados de salinidade inicial e pH inicial observado nos dois tanques foram ocasionados pela água bruta utilizada no processo de abastecimento.

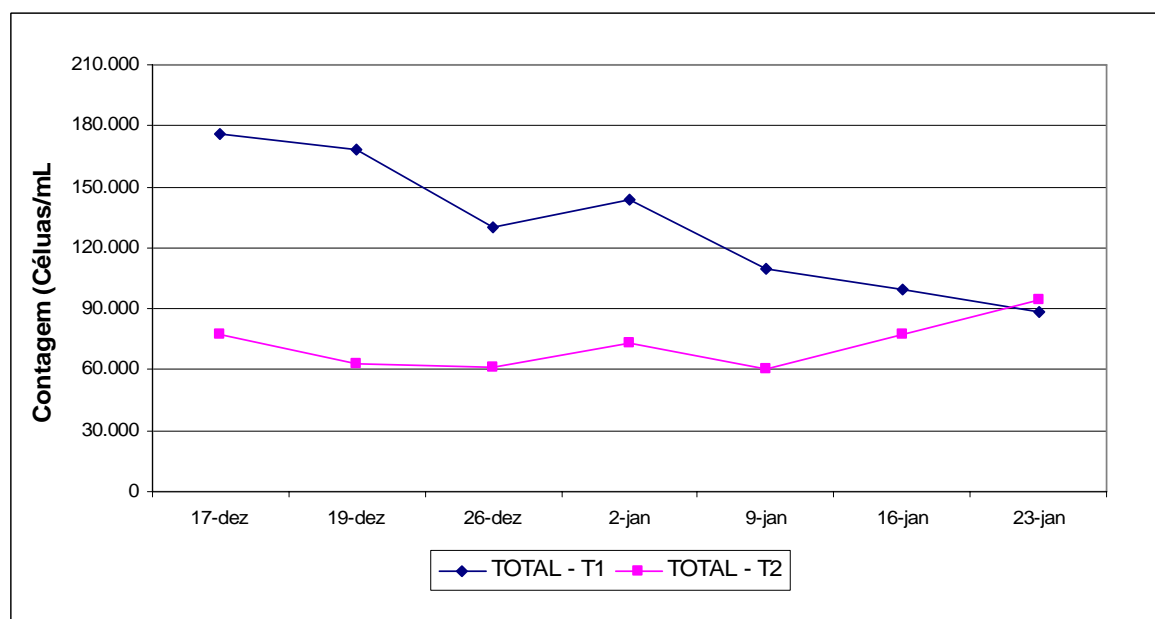
As figuras 35, 36 e 37, apresentadas a seguir, demonstram o comportamento individual de cada espécie durante o período de aplicação da monocamada e a quantificação do fitoplâncton total.



**FIGURA 35 - Comportamento das espécies fitoplanctônicas presentes no tanque 01 (Fase 02/ Período II).**



**FIGURA 36 - Comportamento das espécies fitoplantônicas presentes no tanque 02 (Fase 02/ Período II).**



**FIGURA 37 - Quantificação do fitoplâncton total (células/mL) nos dois tanques (Fase 02/ Período II).**

Os gráficos demonstram uma relação de competitividade entre as espécies *Ecdysichlamys periphytica* e *Coelastrum reticulatum* no tanque 01, e um comportamento muito similar entre as espécies *Monoraphidium minutum* e *Coelastrum reticulatum* no tanque 02.

É possível observar (figura 37) que existe certa disparidade entre o número de células nos tanques no início da coleta até o dia 9 de janeiro. A partir de então, observa-se um crescimento no número de células no tanque 02 até se estabelecer uma igualdade nas populações no dia 23. Tal fato pode ser justificado pela inclusão dos alevinos ocorrida no dia 12 de janeiro, corroborando com o que fora verificado na análise de turbidez.

Apesar da importância que o estudo microbiológico teve para as discussões que foram levantadas na análise abiótica, a disparidade entre as comunidades dos reservatórios não permitiu inferências mais específicas sobre a interferência da monocamada na microbiota. Entretanto, é importante colocar que o hexadecanol não produziu um efeito seletivo nas espécies, tendo em vista que a análise qualitativa se mostrou bastante similar.

## 4.5 – Fase 02 / Período III

### 4.5.1 – Redução da evaporação

A tabela abaixo apresenta os níveis diários de cada tanque para o período de estudo, a pluviometria, e as taxas de redução da evaporação.

**TABELA 21 – Evaporação nos tanques 01 e 02 com respectivo percentual de redução e pluviometria do período (taxa de aplicação diária de 35 mg/m<sup>2</sup> no tanque 02).**

Mês	Data	Tanque 01 (mm)	Tanque 02 (mm)	Pluviom. (mm)	Redução (%)
FEVEREIRO	1	78,6	80,5	0,0	-2,5
	2	71,9	73,8	2,6	-2,7
	3	68,7	70,3	1,0	-2,4
	4	61,9	63,4	0,0	-2,4
	5	54,7	56,1	0,0	-2,5
	6	79,8	76,5	0,0	4,1
	7	74,3	71,0	0,0	4,5
	8	67,8	64,3	0,0	5,1
	9	61,3	58,2	0,0	5,1
	10	55,5	53,0	11,6	4,5
	11	65,1	62,6	0,0	3,9
	12	60,3	58,4	0,8	3,2
	13	55,8	54,0	3,0	3,3
	14	54,8	53,1	0,0	3,0
	15	49,3	48,0	16,0	2,7
	16	60,9	59,7	6,5	1,9
	17	65,2	64,3	0,0	1,4
	18	61,2	61,4	0,0	-0,3
	19	58,6	58,4	0,0	0,4
	20	53,7	53,8	0,0	-0,3
	21	49,7	49,3	9,5	0,7
	22	58,6	58,7	2,0	-0,2
	23	59,9	60,5	0,0	-1,0

Verifica-se nesta terceira etapa que os índices de redução foram baixos devido a presença mais constante de fortes pancadas de chuva. Neste período o hexadecanol só começou a ser aplicado no dia 06 de fevereiro para possibilitar uma verificação inicial da evaporação dos tanques sem o produto.

Está claro nos dados apresentados pela tabela 20, que antes da aplicação do filme o tanque 02 apresenta níveis de evaporação sensivelmente maiores. Logo após a aplicação do filme as taxas invertem e se torna visível uma diferença diária de cerca de 5% na evaporação dos dois tanques.

Nos dias com pancadas de chuva observa-se que os níveis de redução reduzem, mas não desaparecem nem invertem (como observado nas etapas anteriores). Isso indica que a presença de chuvas interfere na eficiência do filme, mas não elimina sua atuação, confirmando sua capacidade de auto-regeneração (BARNES, 1986).

#### 4.5.2 - Parâmetros abióticos.

No apêndice C estão apresentados os valores diários dos parâmetros abióticos nos três pontos de coleta dos dois tanques e a média aritmética dos valores em cada tanque (utilizada para montagem das curvas). A figura 64(A), apresentada nos anexos, mostra o posicionamento dos pontos de coleta utilizados na triangulação, e a tabela 22 (abaixo) apresenta a estatística descritiva.

**TABELA 22 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos.**

Parâmetro	N	Mínimo	Máximo	Média	Desv. Pad.	Variância	Assimetria		Curtose	
							Valor	Erro Pad.	Valor	Erro Pad.
Condutividade T1	23	980	1025	1005,94	12,31	151,61	-0,56	0,48	-0,20	0,94
Condutividade T2	23	987	1034	1011,61	13,05	170,25	-0,57	0,48	-0,51	0,94
Salinidade T1	23	0,4	0,5	0,46	5,069E-02	2,569E-03	-0,28	0,48	-2,11	0,94
Salinidade T2	23	0,4	0,5	0,45	5,108E-02	2,609E-03	-0,09	0,48	-2,19	0,94
pH T1	23	8,9	10,1	9,57	0,38	0,15	-0,21	0,48	-1,11	0,94
pH T2	23	8,9	10	9,54	0,37	0,14	-0,33	0,48	-1,15	0,94
Turbidez T1	23	4,4	15,7	10,56	3,23	10,41	-0,54	0,48	-0,50	0,94
Turbidez T2	23	4,3	15,8	11,11	3,56	12,69	-0,55	0,48	-0,77	0,94
Temperatura T1	23	29,2	30,3	29,75	0,32	0,10	0,06	0,48	-0,77	0,94
Temperatura T2	23	29,2	30,6	29,95	0,37	0,14	-0,12	0,48	-0,44	0,94

A compatibilidade percebida entre os valores mínimos de parâmetros equivalentes já representa um bom indicio de uma concordância maior entre os dois tanques no início do experimento, devido ao processo de lavagem e recarga que ambos receberam. Observa-se ainda a constância da salinidade, representada pelos baixos valores dos seus desvios padrões e da variância. A seguir as curvas de cada parâmetro.

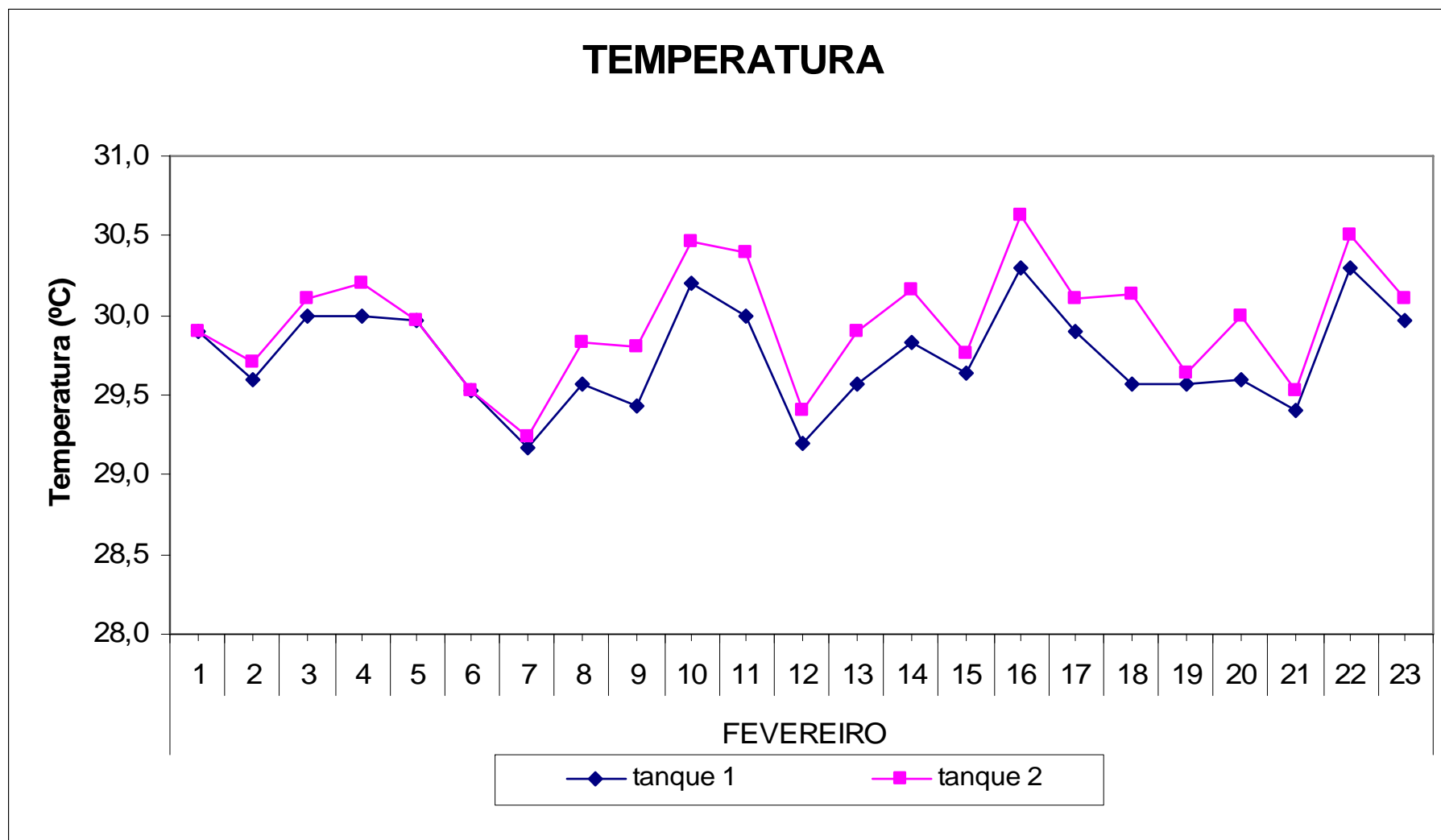


FIGURA 38 - Temperatura dos tanques 01 (sem hexadecanol) e 02 (com hexadecanol) para o terceiro período de observação.

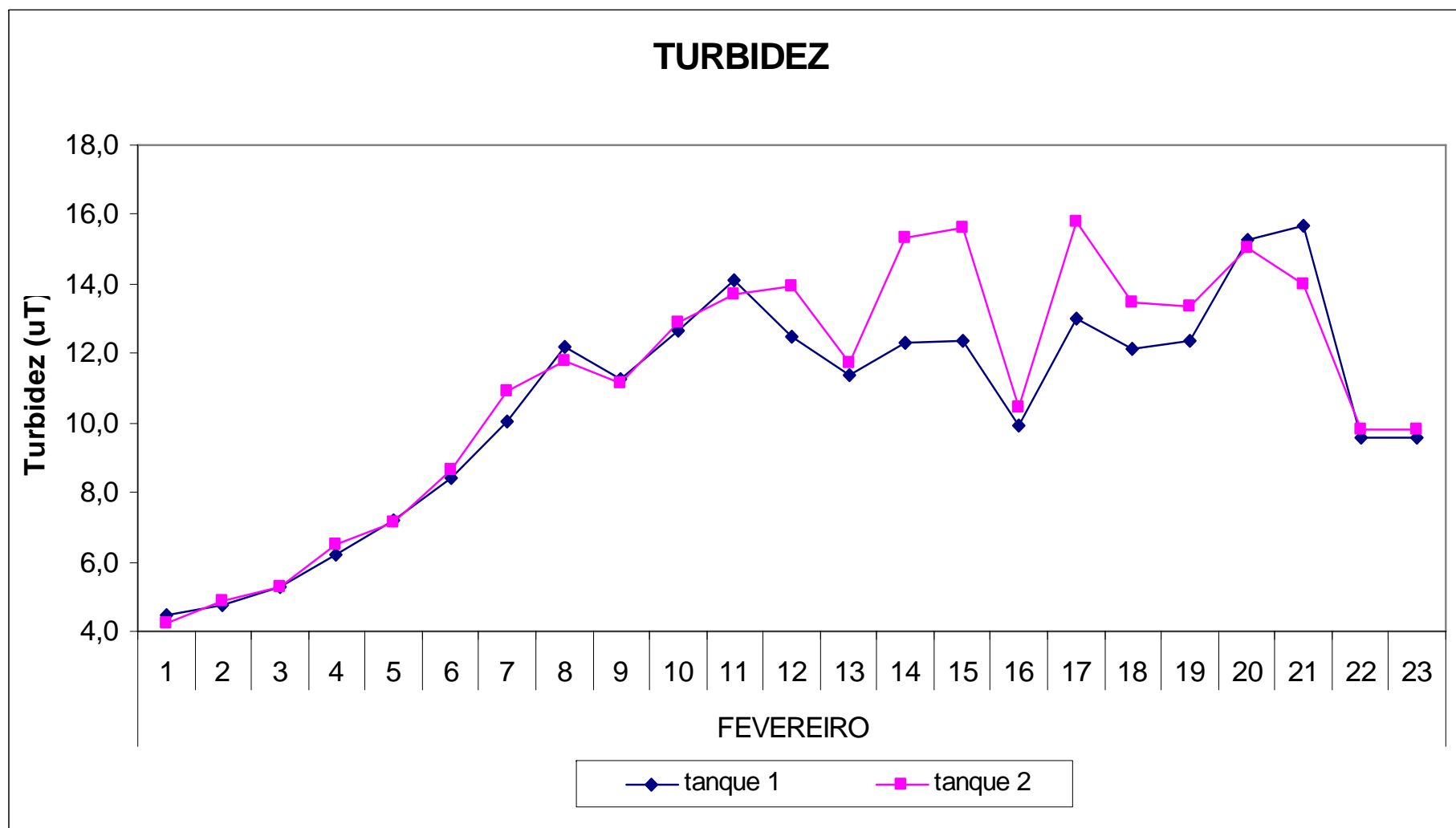


FIGURA 39 - Turbidez dos tanques 01 (sem hexadecanol) e 02 (com hexadecanol) para o terceiro período de observação.

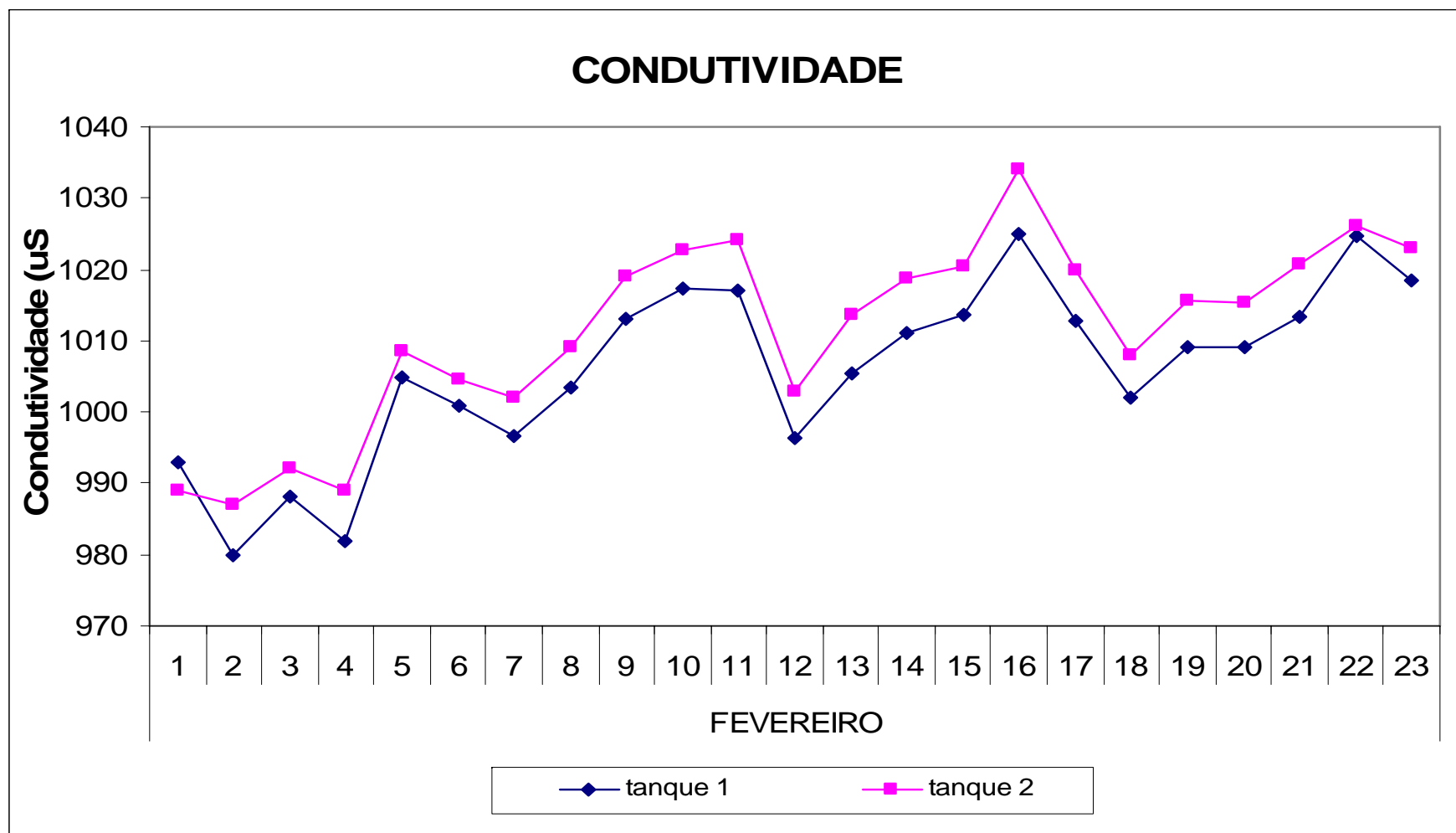
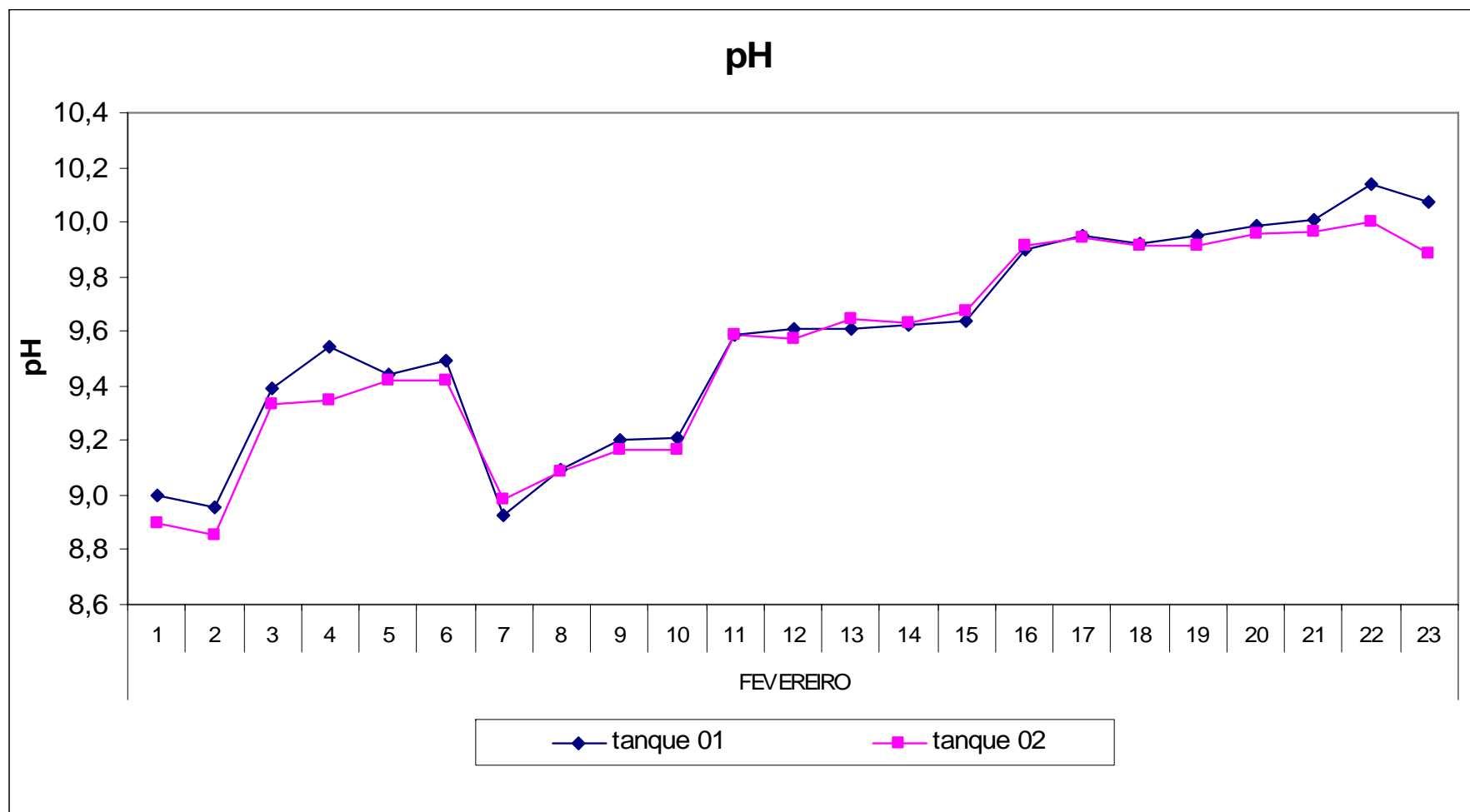


FIGURA 40 - Condutividade dos tanques 01 (sem hexadecanol) e 02 (com hexadecanol) para o terceiro período de observação.



**FIGURA 41 - pH dos tanques 01 (sem hexadecanol) e 02 (com hexadecanol) para o terceiro período de observação.**

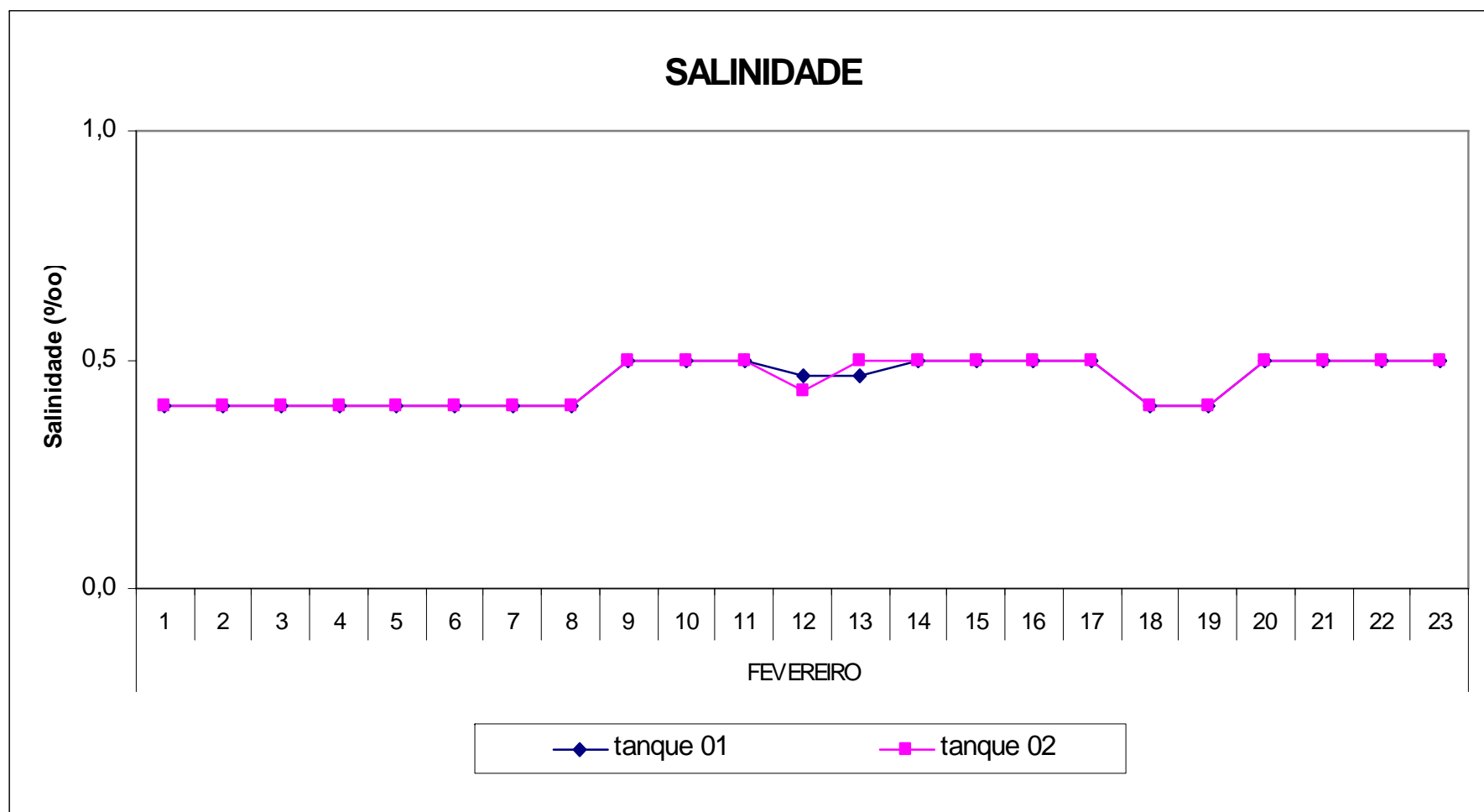


FIGURA 42 - Salinidade dos tanques 01 (sem hexadecanol) e 02 (com hexadecanol) para o terceiro período de observação.

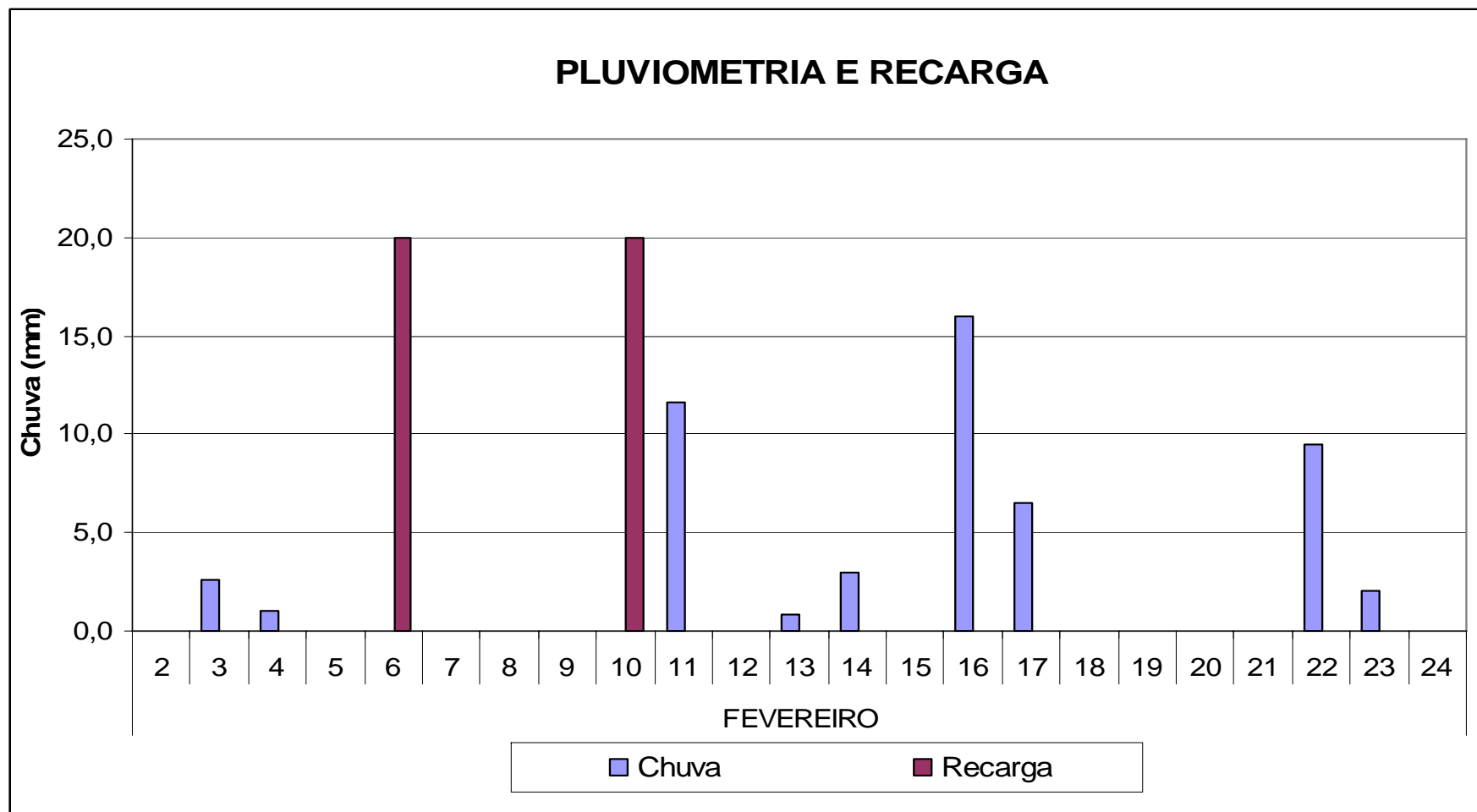


FIGURA 43 - Pluviometria (mm) e períodos de recarga no terceiro período de observação.

O terceiro período já apresenta um comportamento mais compatibilizado dos dois reservatórios. A igualdade inicial dos parâmetros foi estabelecida e o comportamento dos mesmos no decorrer das coletas não evidencia uma influência significativa do hexadecanol.

Ainda pode ser visualizada uma pequena elevação de temperatura no tanque que sofre a aplicação do surfactante (tanque 02), confirmando os resultados da etapa anterior. Os altos valores de pH, salinidade e condutividade, podem ser atribuídos a qualidade da água bruta utilizada para recarga e ao processo de lavagem.

Essa etapa foi marcada por uma presença mais constante de chuvas e o reflexo deste fato pode ser visto nas alterações bruscas de turbidez, condutividade e temperatura.

As reduções nos níveis de salinidade dos tanques também podem ser atribuídas às contribuições pluviométricas. É possível observar que tais reduções ocorrem exatamente após os períodos chuvosos.

O incremento progressivo nos níveis de condutividade provavelmente é oriundo da concentração de sais que o processo evaporativo produz, ou ainda pode ter tido contribuição da atividade dos peixes, disponibilizando para a coluna d'água nutrientes na forma de íons pela decomposição das suas fezes.

Observa-se que os períodos de recarga, analogamente ao que fora evidenciado no período anterior, também são responsáveis por pequenas modificações nos parâmetros abióticos, principalmente na condutividade e na turbidez.

O incremento dos valores de pH deveu-se ao crescimento fitoplanctônico, cujas populações foram drasticamente reduzidas devido ao processo de lavagem e enchimento dos tanques e depois foram recuperando-se.

#### *4.5.3 – Avaliação estatística*

##### *4.5.3.1 – Testes de normalidade e caracterização das amostras*

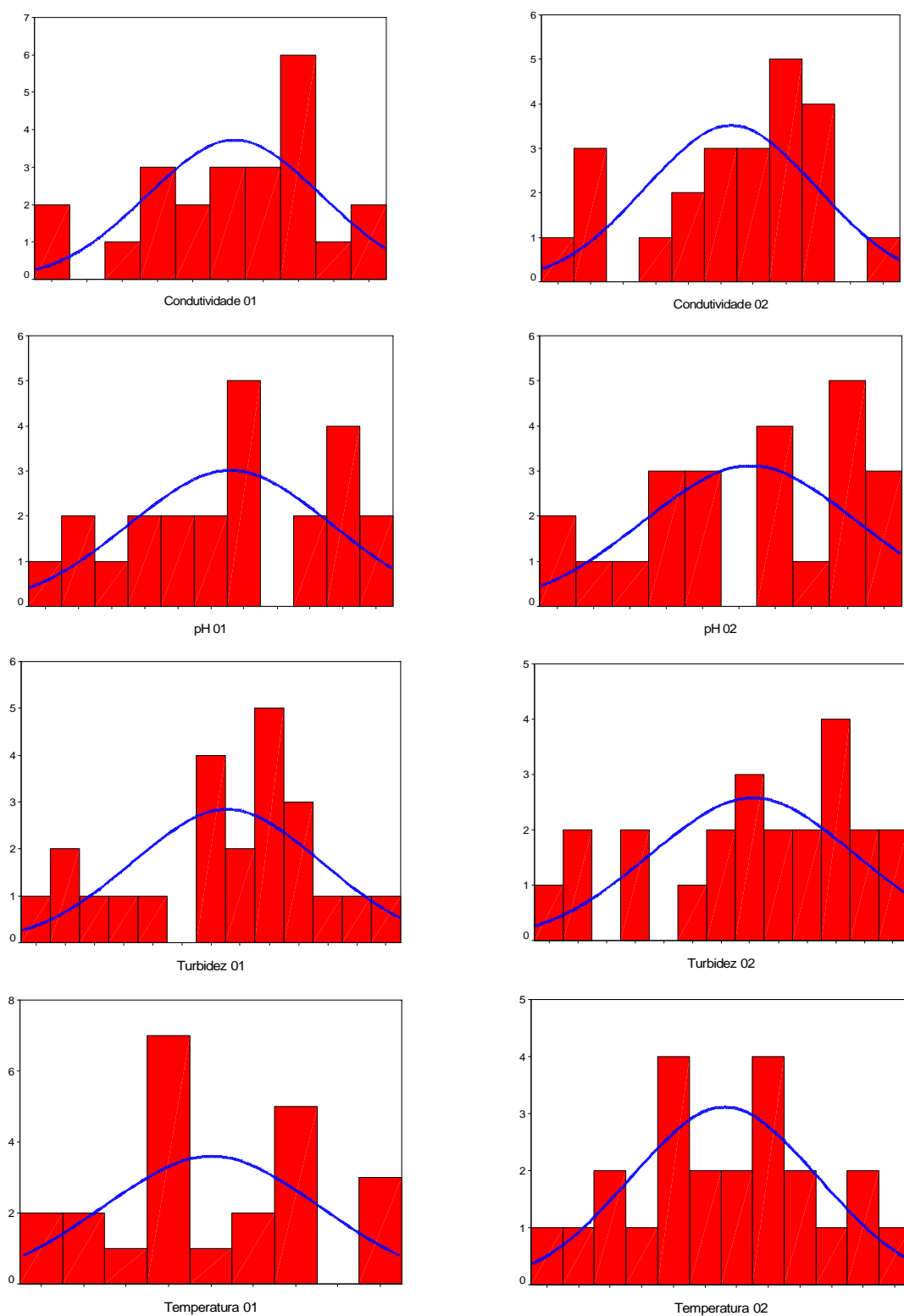
A redução significativa do período previsto para coleta de dados (30 dias) devido ao início do período chuvoso, atribuiu uma responsabilidade ainda maior nas

análises de distribuição, tendo em vista que o teorema do limite central (TRIOLA, 2005) estabelece condições mínimas de normalidade para amostras de 30 indivíduos.

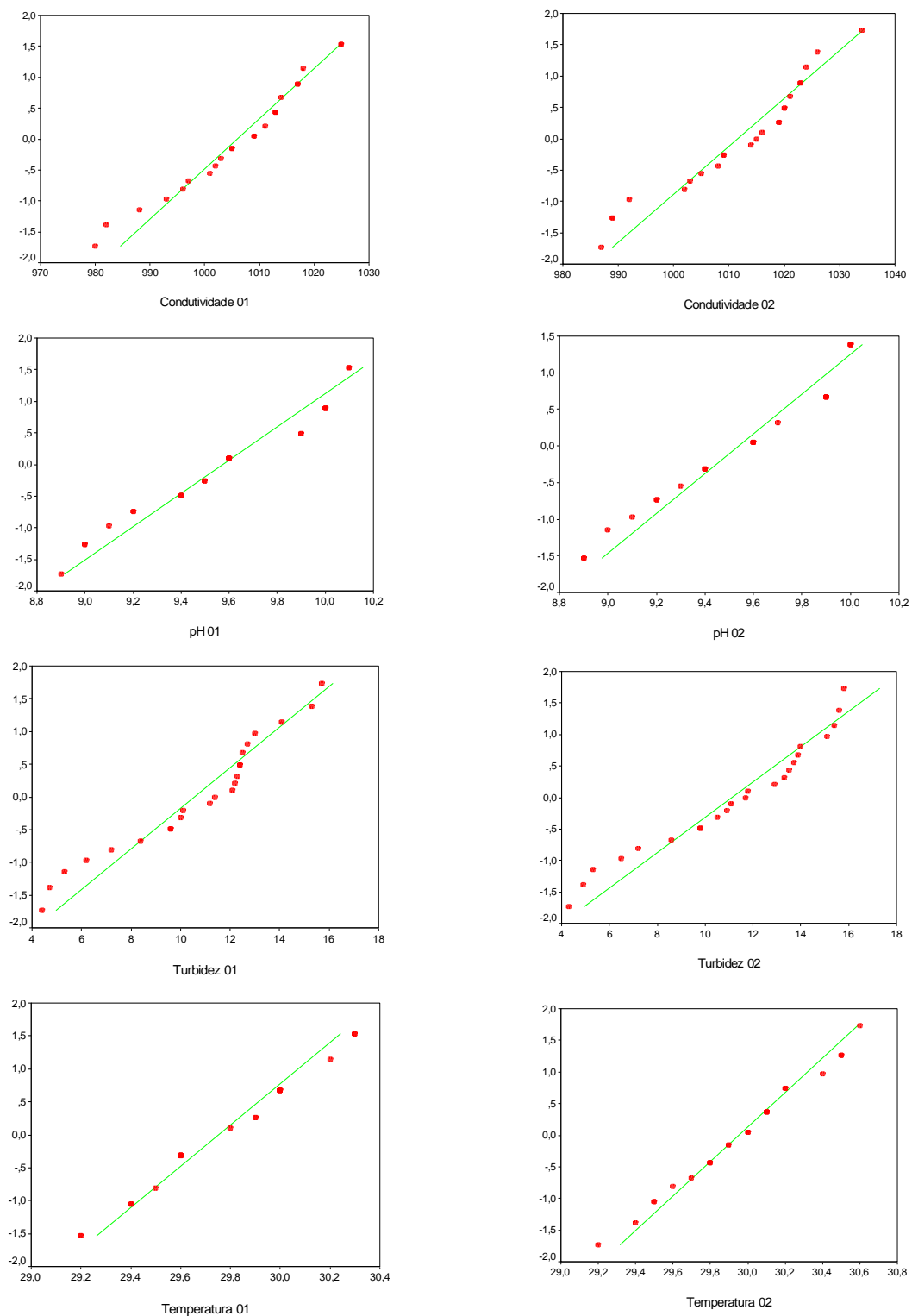
Todavia, apesar da população reduzida, os dados se mostraram muito bem distribuídos nesta etapa.

Para a continuidade das análises, qualificação das distribuições e correção das assimetrias foram aplicados os mesmos testes de normalidade (testes de simetria e Kolmogorov-Smirnov) bem como analisados os histogramas, os gráficos de probabilidade normal e os diagramas de caixa (*Box plot*) e demais representações que auxiliam o processo.

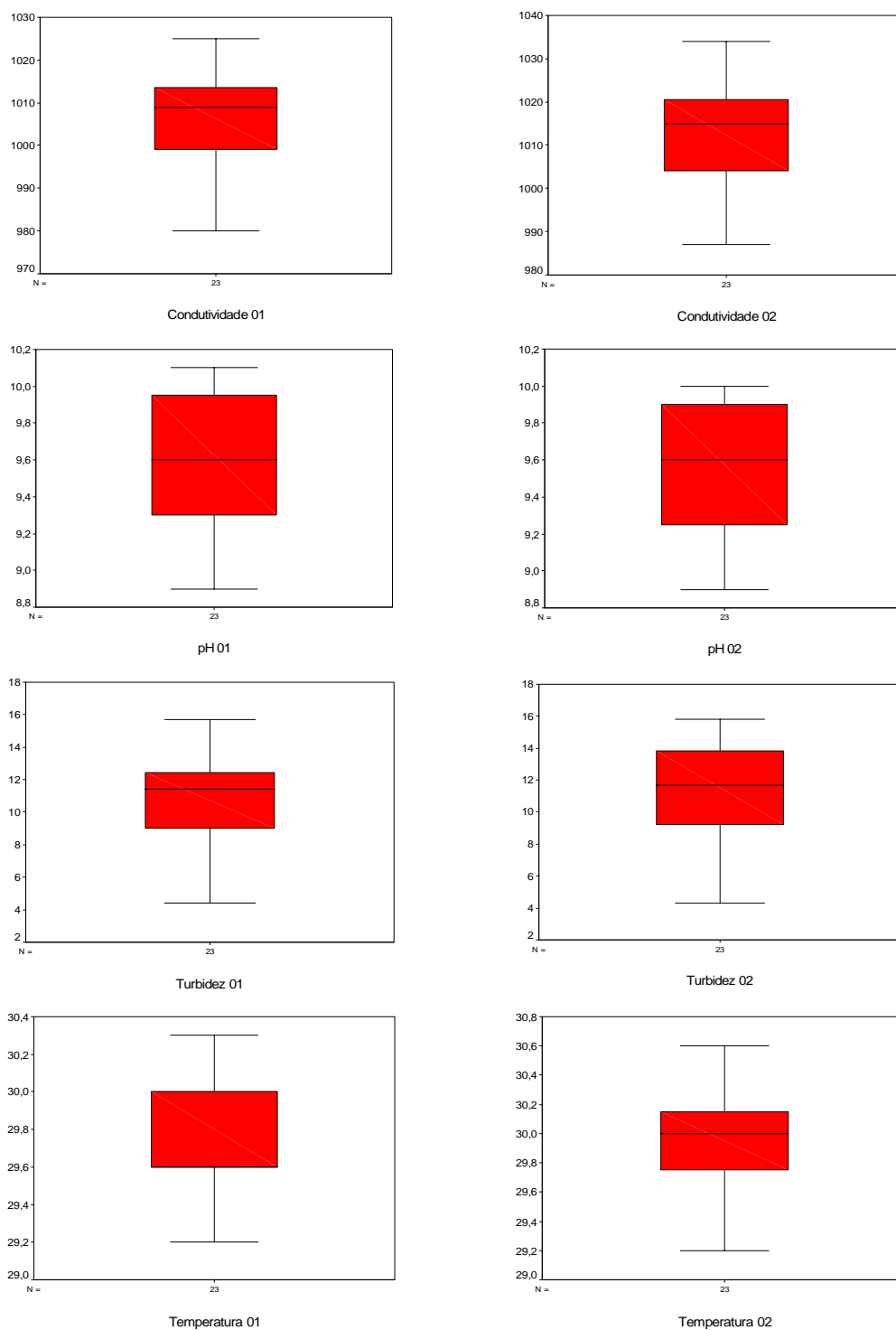
As figuras 44, 45 e 46, apresentam, respectivamente, os histogramas, gráficos de probabilidade normal e diagramas de caixas de todos os parâmetros. A tabela 23, por sua vez, apresenta os testes de normalidade, as características de distribuição, as assimetrias e possíveis correções.



**FIGURA 44 - Histogramas das variáveis do físico-químico (Fase 02/Período III).**



**FIGURA 45 - Gráficos de probabilidade normal das variáveis do físico-químico (Fase 02/Período III).**



**FIGURA 46 - Diagramas de caixa das variáveis do físico-químico (Fase 02/Período III).**

TABELA 23 - Características de distribuição, testes de normalidade e possíveis ações corretivas dos parâmetros físico-químicos.

Variáveis	Descritores de Forma <sup>a</sup>				Teste de Normalidade (Kolmogorov-Smirnov)		Descrição da distribuição	Ações corretivas	
	Assimetria		Curtose					Transformação	Significância
	Estatística	Teste	Estatística	Teste	Estatística	Significância			
Condutividade 01	-0,550	-1,077	-0,203	-0,199	0,121	0,200	Distribuição normal	-	-
Condutividade 02	-0,570	-1,116	-0,512	-0,501	0,149	0,200	Distribuição normal	-	-
Salinidade 01	-0,282	-0,552	-2,113	-2,069	0,37	0,000	Distribuição uniforme	-	-
Salinidade 02	-0,093	-0,182	-2,19	-2,144	0,347	0,000	Distribuição uniforme	-	-
pH 01	-0,214	-0,419	-1,112	-1,089	0,152	0,180	Leve assimetria positiva	Sem correções significativas	-
pH 02	-0,330	-0,646	-1,147	-1,123	0,185	0,041	Assimetria positiva	Sem correções significativas	-
Turbidez 01	-0,543	-1,063	-0,497	-0,487	0,162	0,120	Distribuição normal	-	-
Turbidez 02	-0,553	-1,083	-0,773	-0,757	0,127	0,200	Distribuição normal	-	-
Temperatura 01	0,056	0,110	-0,773	-0,757	0,205	0,013	Distribuição normal	-	-
Temperatura 02	-0,115	-0,225	-0,444	-0,435	0,091	0,200	Distribuição normal	-	-

<sup>a</sup> Os valores de z são obtidos dividindo-se as estatísticas pelos erros padrão apropriados.

\* Significante no nível de 0,05.

Nessa etapa o conjunto de dados em estudo apresenta distribuições muito mais próximas da normal. Com exceção da salinidade (repetindo o que foi visto na etapa anterior) todos os outros parâmetros apresentaram distribuições muito próximas da normal.

As tentativas de ajuste aplicadas ao pH e a temperatura do tanque 01 não produziram melhoras significativas, portanto, foram descartadas. A salinidade dos dois tanques apresentou distribuição uniforme indicando uma compatibilidade muito forte dos parâmetros, dispensando a necessidade de aplicação de um teste de hipótese para compará-las.

Os gráficos de probabilidade normal confirmam a boa distribuição dos dados e evidenciam pequenas assimetrias para o pH e a turbidez, evidenciadas no teste Kolmogorov-Smirnov. O mesmo gráfico apresenta uma deformidade na temperatura do tanque 01, onde a mediana está sobreposta ao segundo quartil.

Pelos diagramas de caixa (*Box plot*) é possível visualizar uma boa compatibilidade dos dados devido a equivalência das medianas. Com exceção da temperatura, como esperado, todos os outros dados possuem medianas igualmente posicionadas quando comparadas tanque a tanque. Estes mesmos diagramas demonstram que os dados não apresentam “*outliers*”.

#### 4.5.3.2 – Testes de hipótese

Determinada a adequação das distribuições conforme as exigências do teste, os dados foram testados emparelhados por parâmetro.

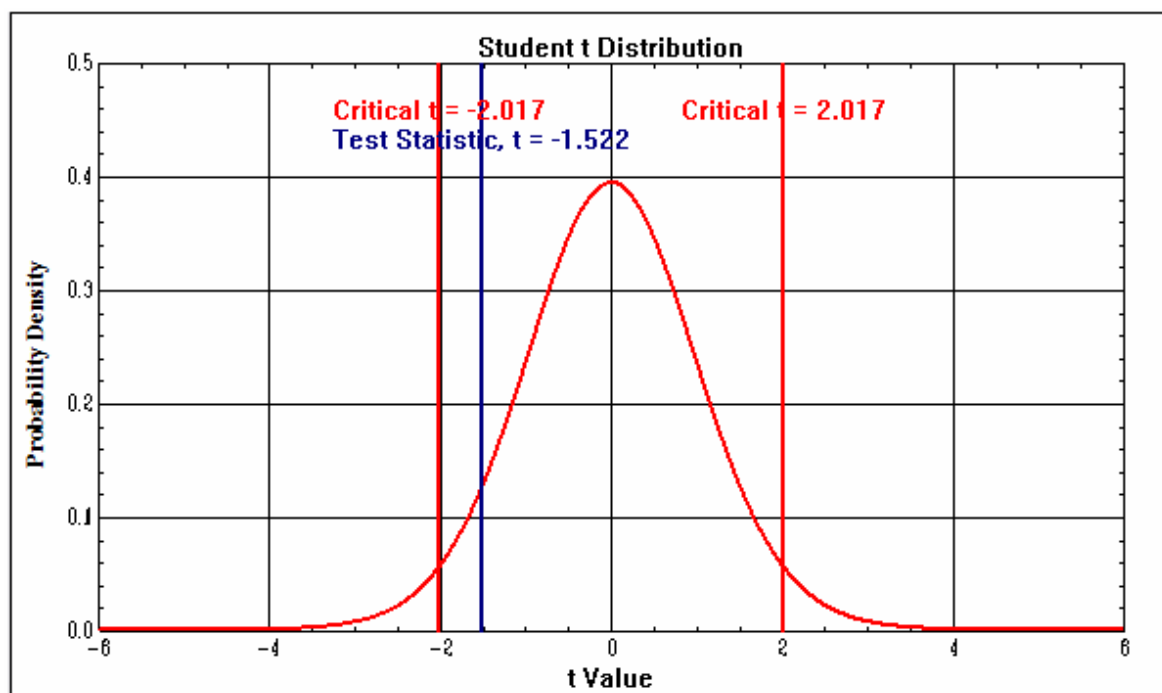
Nesta fase do experimento, devido à adequação inicial nos valores das populações testadas, aplicou-se um teste para verificação da compatibilidade de médias das amostras.

O primeiro teste foi aplicado a Condutividade obedecendo às seguintes hipóteses:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): A média da condutividade nos dois tanques não difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 02 e não ter aplicado no tanque 01.

- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): A média da condutividade nos dois tanques difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 02 e não ter aplicado no tanque 01.

A Figura 47 apresenta o resultado gráfico do teste de hipótese utilizando um intervalo de confiança de 95%.



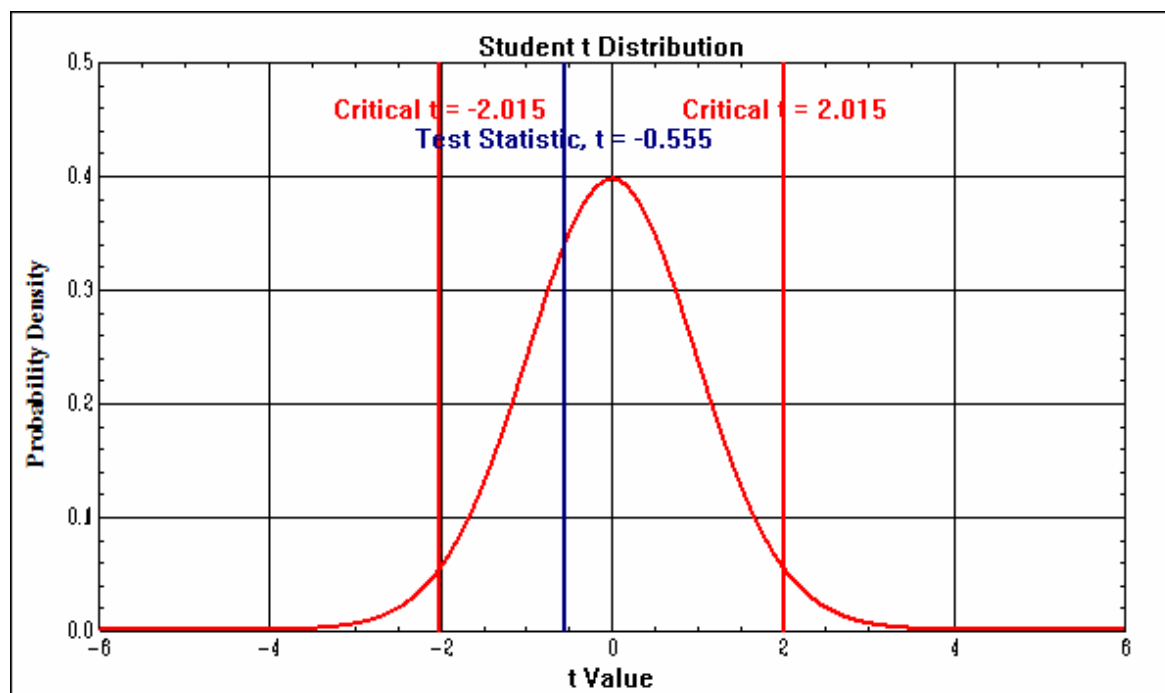
**FIGURA 47 - Teste estatístico comparando as médias da condutividade nos dois tanques (Fase 02/Período III).**

Como a estatística de teste ( $t = -1,522$ ) caiu dentro do intervalo estabelecido ( $-2,017 < T < 2,017$ ), aceita-se a hipótese nula. Portanto, há suficiente evidência para apoiar a afirmativa de que não existe diferença entre as médias da condutividade nos dois tanques.

O segundo teste foi aplicado à Turbidez obedecendo as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): O valor médio da Turbidez nos dois tanques não difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 02 e não ter aplicado no tanque 01.
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): O valor médio da Turbidez nos dois tanques difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 02 e não ter aplicado no tanque 01.

A Figura 48 apresenta o resultado gráfico do teste de hipótese utilizando um intervalo de confiança de 95%.



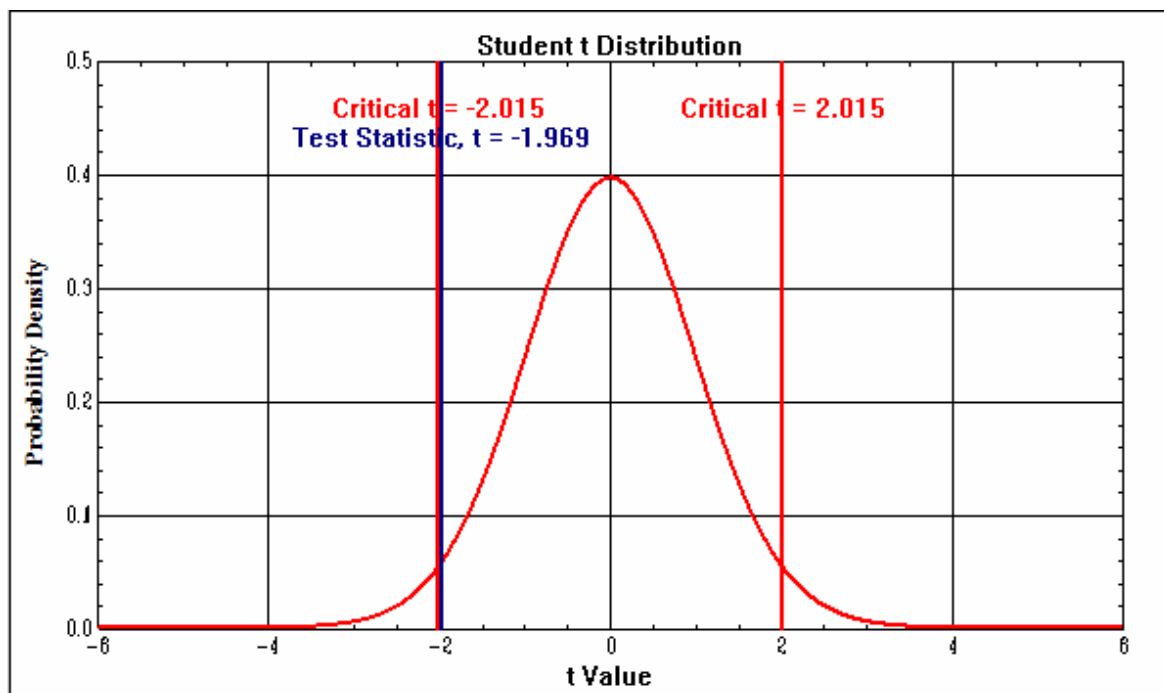
**FIGURA 48 - Teste estatístico comparando os valores médios da Turbidez nos dois tanques (Fase 02/Período III).**

Como a estatística de teste ( $t = -0,555$ ) caiu dentro do intervalo estabelecido ( $-2,015 < T < 2,015$ ), aceita-se a hipótese nula. Portanto, há suficiente evidência para apoiar a afirmativa de que não existe diferença entre os valores médios da Turbidez nos dois tanques.

O terceiro teste foi aplicado a Temperatura obedecendo as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): O valor médio da Temperatura nos dois tanques não difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 02 e não ter aplicado no tanque 01.
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): O valor médio da Temperatura nos dois tanques difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 02 e não ter aplicado no tanque 01.

A Figura 49 apresenta o resultado gráfico do teste de hipótese utilizando um intervalo de confiança de 95%.



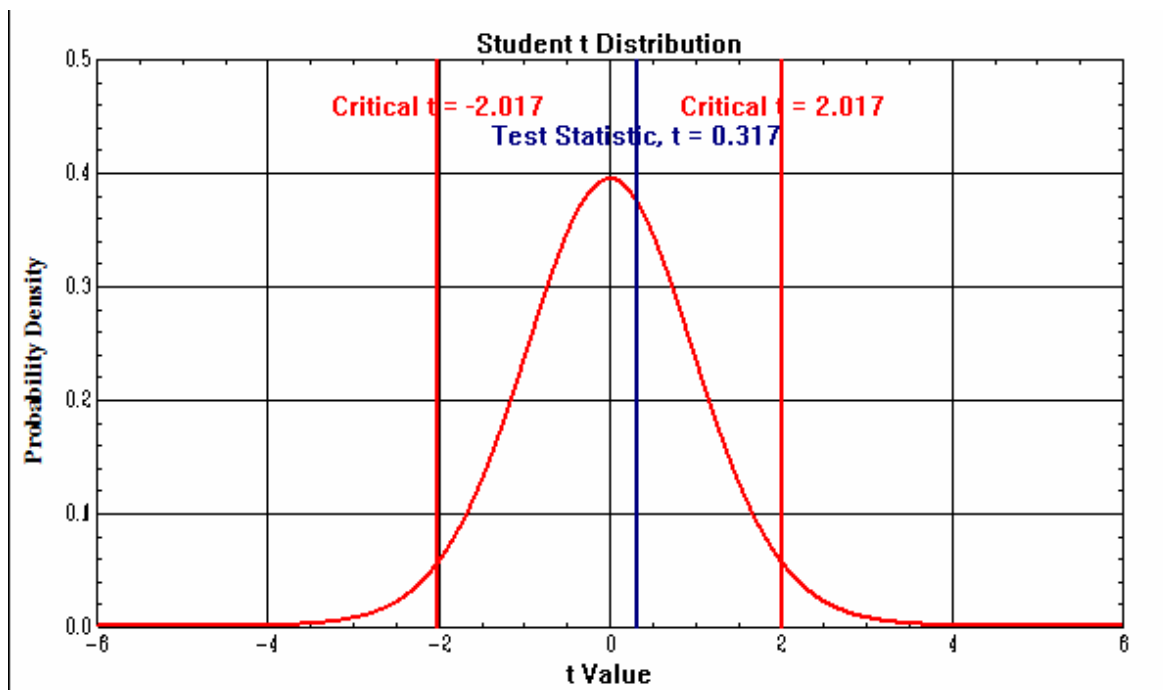
**FIGURA 49 - Teste estatístico comparando os valores médios da Temperatura nos dois tanques (Fase 02/Período III).**

Como a estatística de teste ( $t = -1,969$ ) caiu dentro do intervalo estabelecido ( $-2,015 < T < 2,015$ ), aceita-se a hipótese nula. Portanto, há suficiente evidência para apoiar a afirmativa de que não existe diferença entre os valores médios da Temperatura nos dois tanques.

O quarto teste foi aplicado ao pH obedecendo as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): O valor médio do pH nos dois tanques não difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 02 e não ter aplicado no tanque 01.
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): O valor médio do pH nos dois tanques difere para o fato de ter aplicado hexadecanol no tanque 02 e não ter aplicado no tanque 01.

A Figura 50 apresenta o resultado gráfico do teste de hipótese utilizando um intervalo de confiança de 95%.



**FIGURA 50 - Teste estatístico comparando os valores médios do pH nos dois tanques (Fase 02/Período III).**

Como a estatística de teste ( $t = 0,317$ ) caiu dentro do intervalo estabelecido ( $-2,017 < T < 2,017$ ), aceita-se a hipótese nula. Portanto, há suficiente evidência para apoiar a afirmativa de que não existe diferença entre os valores médios do pH nos dois tanques.

Os resultados demonstram que não existe diferença entre os parâmetros avaliados, nas condições avaliadas, devido à aplicação do hexadecanol nos dois tanques. Todavia, destaca-se a forte tendência apresentada pelo parâmetro Temperatura devido ao fato do valor teste encontrar-se muito próximo da região crítica. Uma amostragem maior certamente teria evidenciado condições diferenciadas.

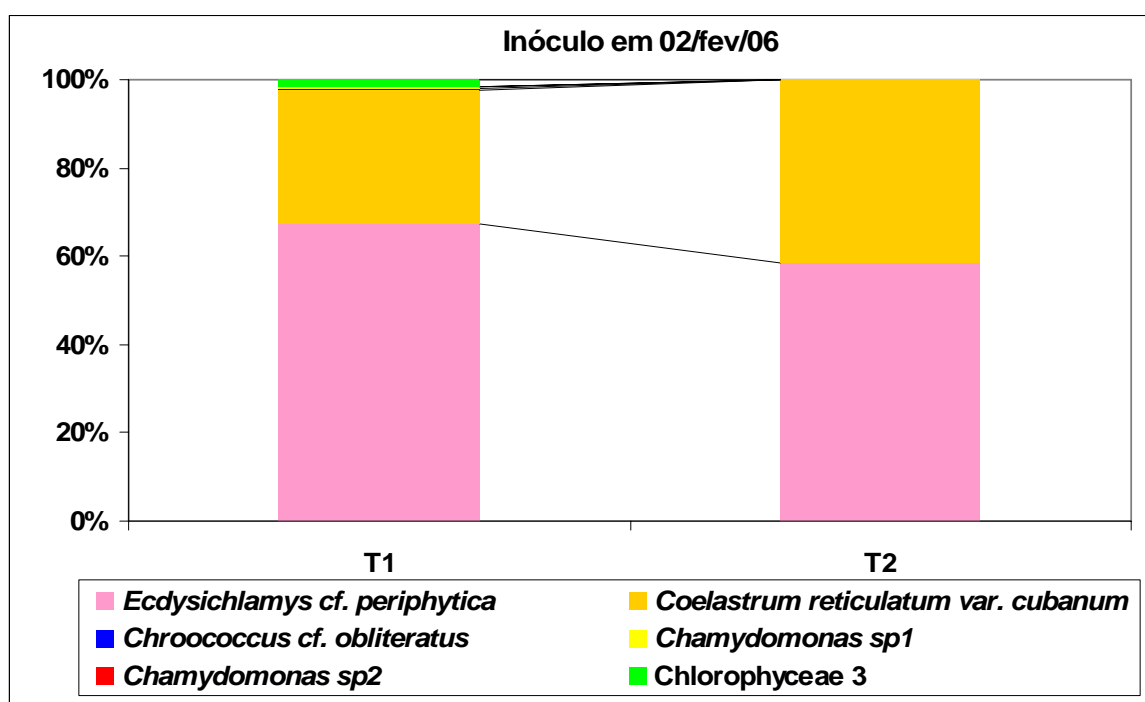
#### 4.5.4 – Avaliação do fitoplâncton.

A análise microbiológica da terceira etapa apresentou dados qualitativos muito semelhantes àqueles encontrados na etapa anterior (como esperado), tendo em vista que a situação inicial de cada reservatório foi estabelecida após um processo de equalização das águas dos dois reservatórios devidamente explicado na metodologia.

Todavia, apesar das espécies encontradas neste caso serem as mesmas da situação anterior, o percentual de contribuição de cada uma delas foi modificado. A tabela 24 e a figura 51 apresentam a classificação e o percentual de contribuição de cada táxon nos dois tanques nesta etapa.

**TABELA 24 - Espécies fitoplanctônicas presentes no inoculo dos dois tanques (Fase 02/Período III) e suas respectivas contribuições percentuais.**

Espécie	Células/mL		%	
	T1	T2	T1	T2
<i>Chroococcus cf. obliteratus</i>	1.258	0	0,49	0,00
<i>Chamydomonas</i> sp1	314	0	0,12	0,00
<i>Chamydomonas</i> sp2	629	0	0,24	0,00
<i>Coelastrum reticulatum</i> var. <i>cubanum</i>	78.497	122.651	30,34	41,54
<i>Ecdysichlamys cf. periphytica</i>	174.228	172.620	67,35	58,46
Chlorophyceae 3	3.774	0	1,46	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>258.700</b>	<b>295.272</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



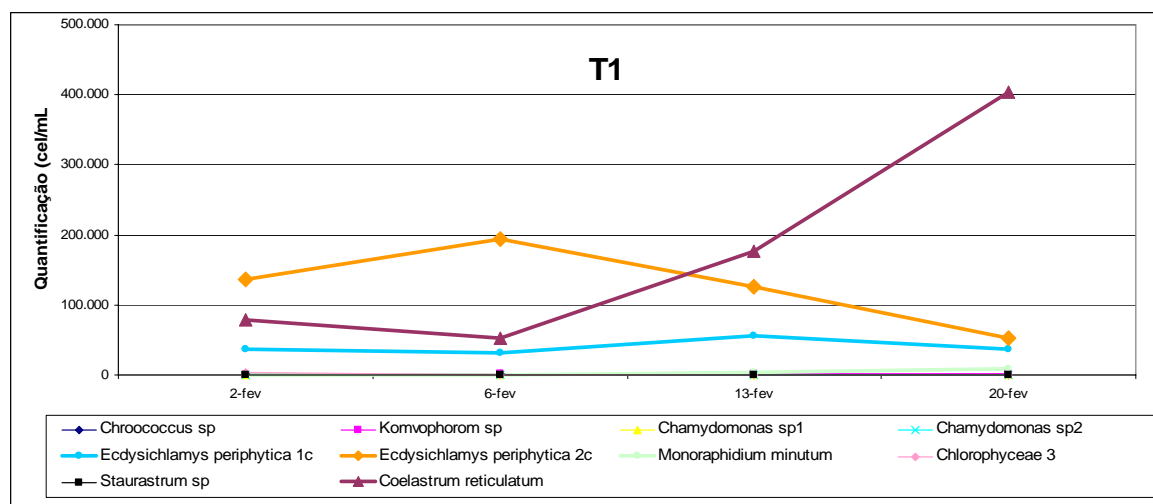
**FIGURA 51 - Percentual de contribuição de cada táxon para o total fitoplanctônico, em valores de células/mL, para  $t_0=02/02/2006$ .**

Os valores evidenciam uma população muito mais equivalente nos dois tanques qualitativa e quantitativamente. Os valores totais de células estão bastante próximos e os percentuais de contribuição de cada espécie muito semelhantes.

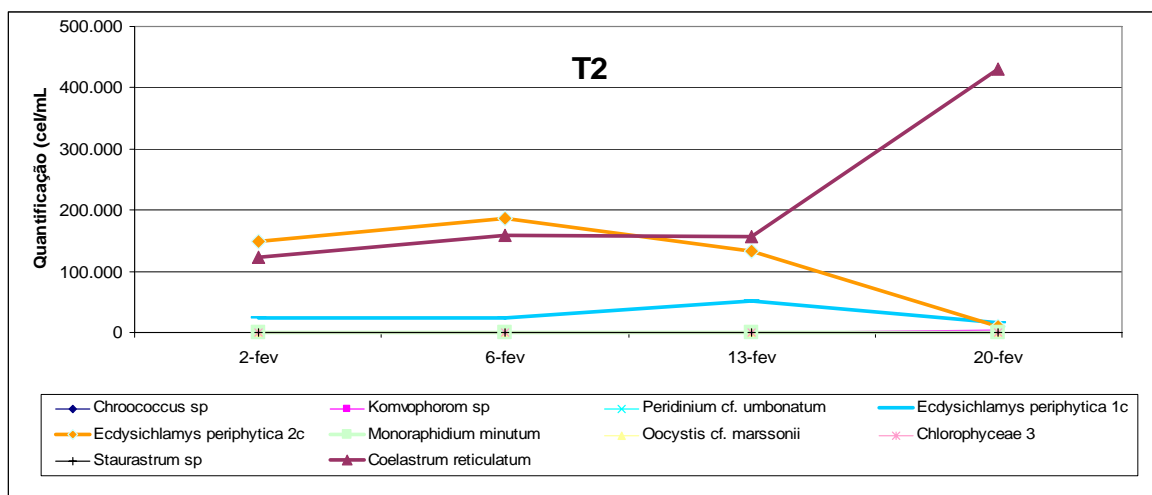
A predominância de *Coelastrum reticulatum* e *Ecdysichlamys periphytica* ainda prevalece só que nos dois tanques desta vez, e a contribuição das outras espécies se torna muito menos significativa.

Para visualizar melhor como se comportaram as espécies individualmente durante todo o período de coleta, foram montados os gráficos representados nas figuras 52 e 53 com os valores em células/mL de cada táxon quantificados em cada dia de coleta durante o mês do experimento.

Os gráficos reportam que a modificação do ambiente provocada pelo processo de equalização favoreceu inicialmente a espécie *Ecdysichlamys periphytica* e desfavoreceu a *Coelastrum reticulatum*, no decorrer do experimento a situação se inverte e evidencia um crescimento acentuado da *Coelastrum reticulatum* seguido de um decréscimo das populações de *Ecdysichlamys periphytica*. As demais espécies não apresentam comportamentos significativos no mesmo período.



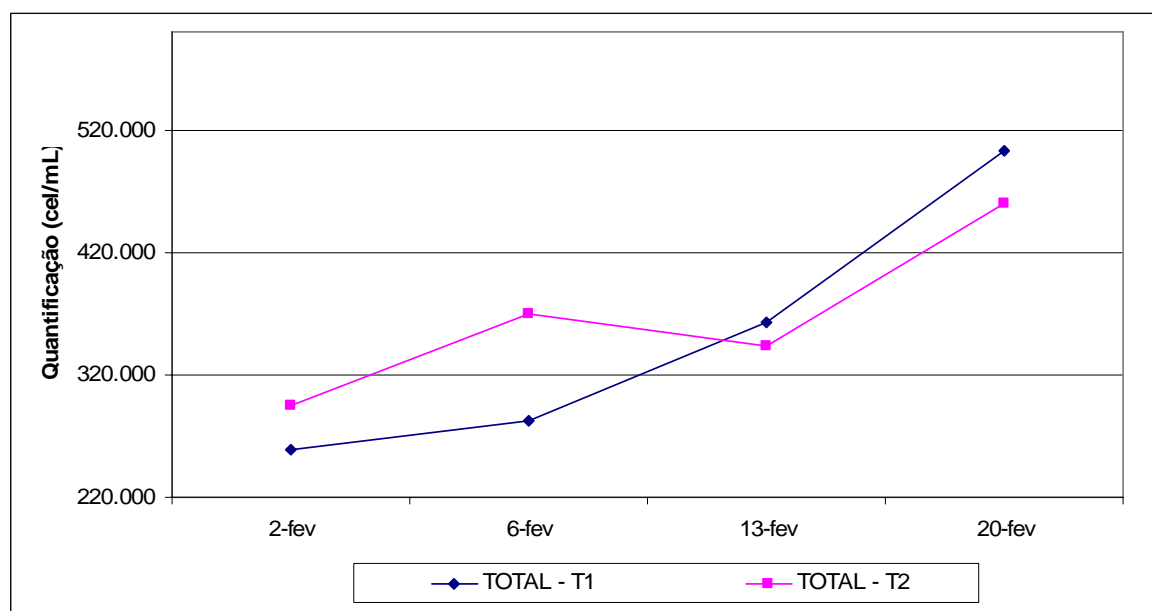
**FIGURA 52 - Comportamento das espécies fitoplanctônicas presentes no tanque 01 (Fase 02/Período III).**



**FIGURA 53 - Comportamento das espécies fitoplanctônicas presentes no tanque 02 (Fase 02/Período III).**

Apesar do comportamento muito particular dos táxons, é visível que os dois reservatórios se comportam de forma muito similar no decorrer do experimento. Tal comportamento é um forte indicativo de que não houve influência da monocamada na qualidade e nem na quantidade do fitoplâncton nas condições e no período do estudo.

De forma mais abrangente a figura 54 apresenta o comportamento do número total de células nos dois tanques.



**FIGURA 54 - Quantificação do total fitoplanctônico em células/mL (Fase 02/Período III).**

O total de células também reporta um crescimento gradativo nos dois tanques de maneira bem semelhante. O pequeno desvio de crescimento apresentado pelo tanque 02 a partir do dia 06 de fevereiro deve ser avaliado mais detalhadamente a fim de que se possa inferir sobre sua significância.

Para tanto o tópico seguinte faz uma avaliação mais completa do comportamento das espécies dominantes na microbiota dos reservatórios nos dois períodos de observação com suas devidas margens de erro.

#### 4.5.5 – Avaliação específica do fitoplâncton (espécies dominantes).

Os resultados apresentados até o presente momento definem três táxons como dominantes nos dois períodos de observação, quais sejam: *Monoraphidium minutum*, *Coelastrum reticulatum* var. *cubantum* e *Ecdysichlamys periphytica*.

A dominância destas espécies apresenta certa variabilidade dentro do período de estudo devido às interferências externas e ao processo de equalização aplicado para homogeneização. A tabela abaixo apresenta a substituição das espécies na dominância do fitoplâncton, em cada tanque durante todo o período de avaliação microbiológica.

**TABELA 25 - Espécies dominantes em cada tanque, considerando o número de células/mL.**

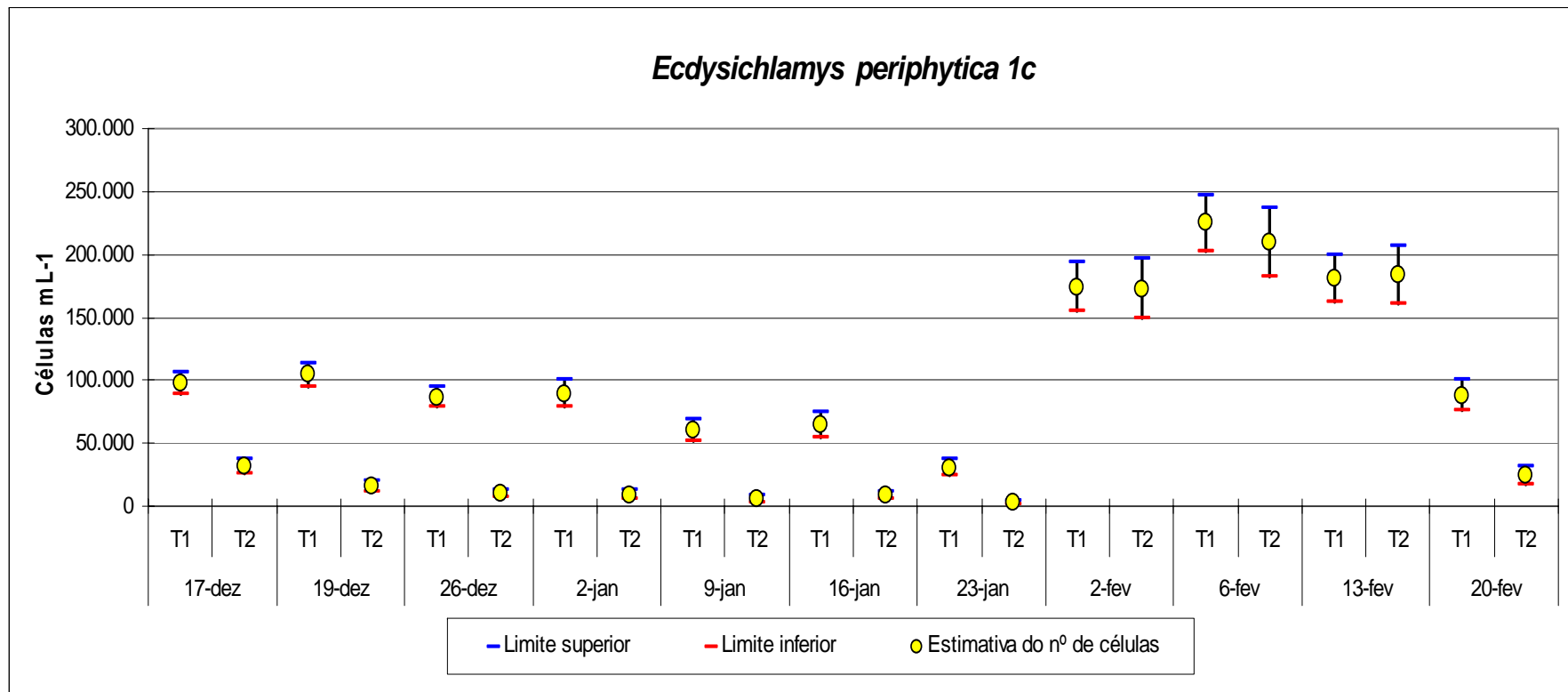
	17-dez	19-dez	26-dez	2-jan	9-jan	16-jan	23-jan	2-fev	6-fev	13-fev	20-fev
<b>DOM - T1</b>	Ecdy 1c	Ecdy 1c	Ecdy 1c	Ecdy 1c	Ecdy 1c	Ecdy 1c	Ecdy 1c	Ecdy 1c	Ecdy 2c	Ecdy 2c	Coel
<b>DOM - T2</b>	Ecsy 1c	Mon	Mon	Mon	Mon	Mon	Mon	Ecdy 2c	Ecdy 2c	Ecdy 2c	Coel

A dominância se mostra bem diferenciada em cada período devido à diferença entre os inóculos ocorrida na etapa II. A compatibilidade entre as espécies dominantes já se mostra equivalente a partir do dia 23 de janeiro (após a introdução dos alevinos) e permanece até o final do experimento devido à equalização feita no dia 2 de fevereiro.

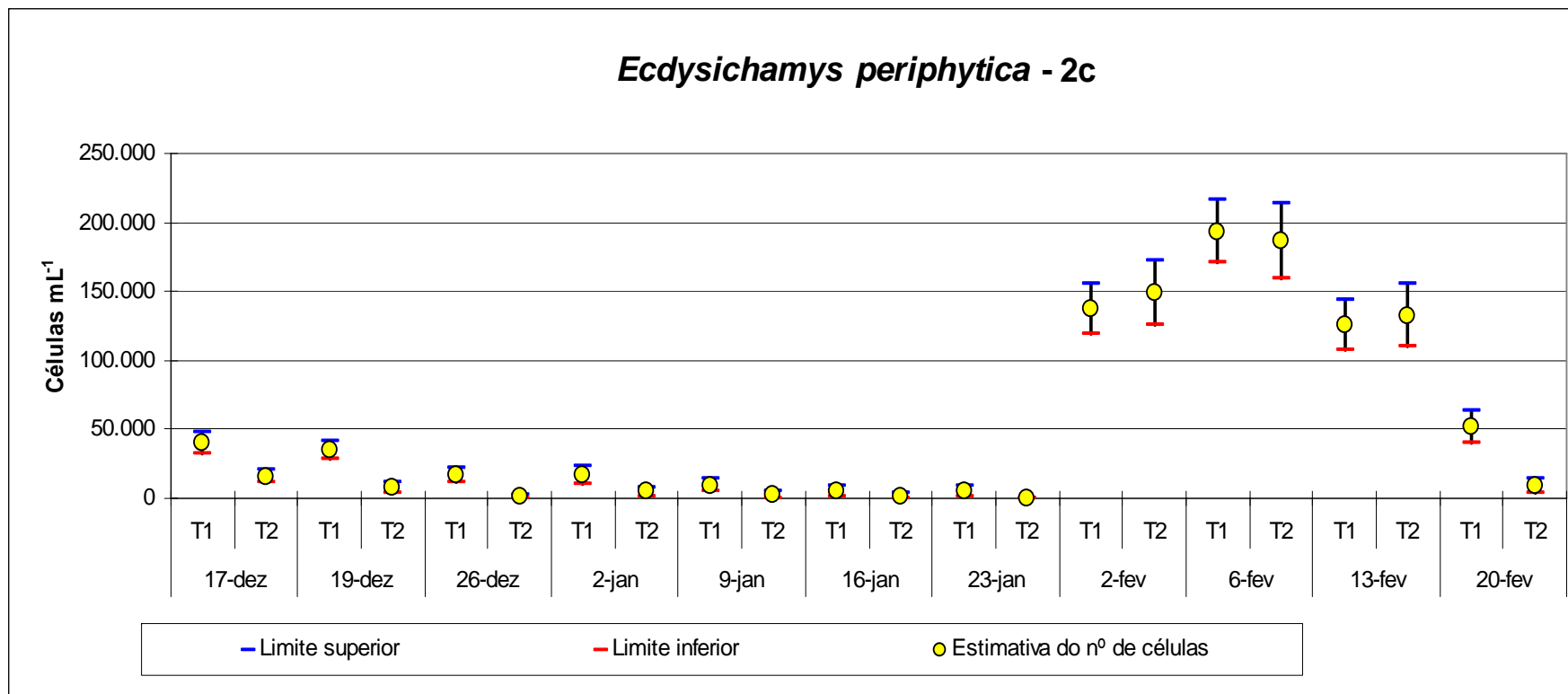
As figuras 55, 56 e 57 demonstram o comportamento individual das espécies dominantes explicitando a margem de erro na determinação dos valores de contagem em células/mL.

Verificou-se pequeno período de dominância para a espécie *Coelastrum reticulatum* var. *cubanum*, embora este táxon tenha sido muito importante durante todo o período de estudos, em termos de biovolume, tendo em vista suas maiores dimensões, relativamente aos demais táxons (Apêndice D, figura D1). Contudo a quantificação em termos de biovolume não foi realizada para este estudo.

A equivalência do fitoplâncton, tanto em termos quantitativos quanto em termos qualitativos é um parâmetro importante para inferir-se sobre a pouca ou nenhuma influência do hexadecanol neste segmento da biota aquática.



**FIGURA 55 - Quantificação da espécie *Ecdysichlamys periphytica 1c* com intervalo de cofiança de 95% (períodos II e III).**



**FIGURA 56 - Quantificação da espécie *Ecdysichlamys periphytica* 2c com intervalo de cofiança de 95% (períodos II e III).**

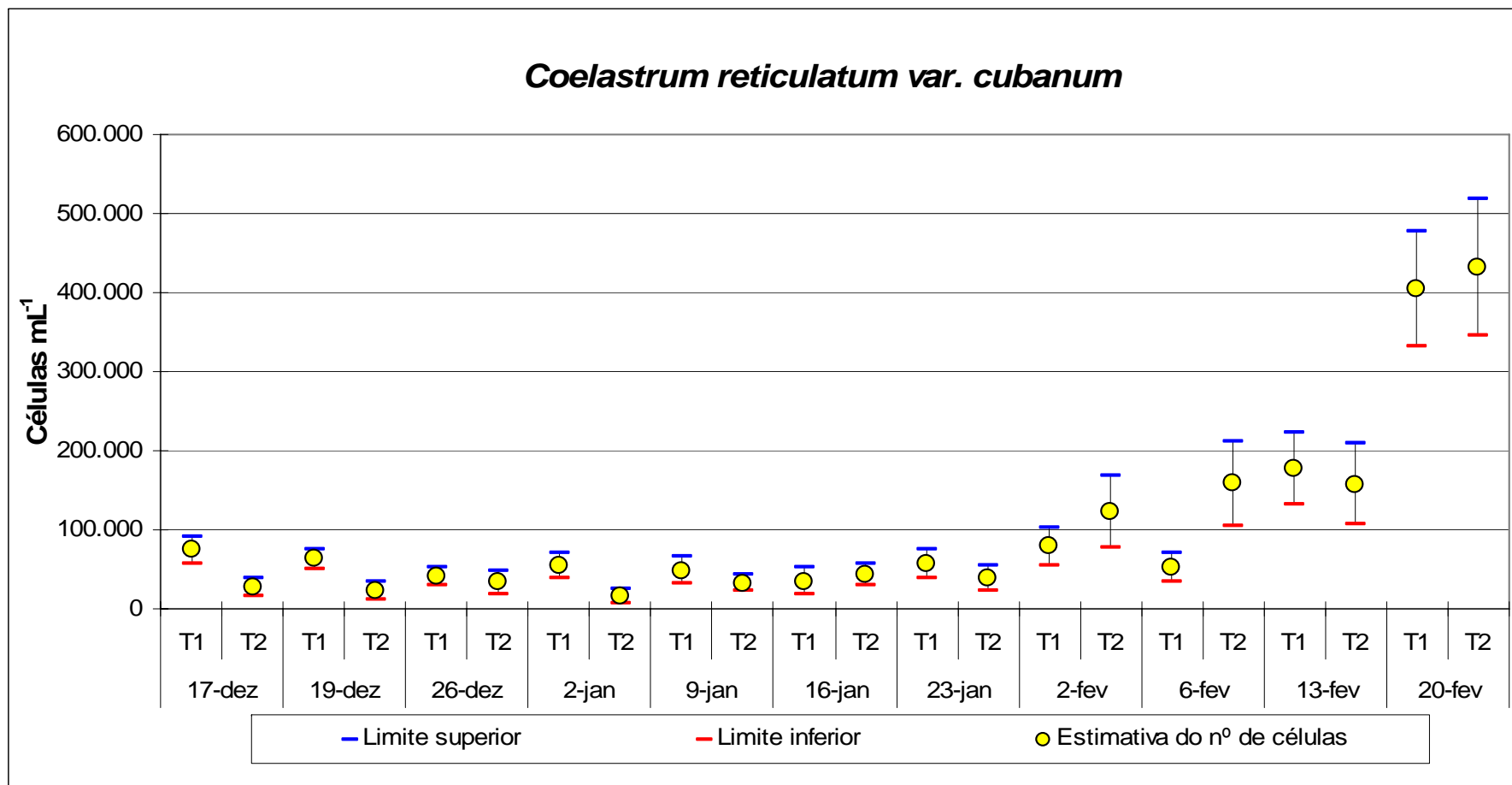


FIGURA 57 - Quantificação da espécie *Coelastrum reticulatum* var. *cubanum* com intervalo de confiança de 95% (períodos II e III).

As representações indicam uma diferença significativa no número de células da espécie *Ecdysichlamys periphytica* nos dois tanques até o dia 23 de janeiro (final da etapa II). A partir desta data (após a lavagem dos tanques) os valores se compatibilizam aparecendo uma diferença significativa somente no dia 20 de fevereiro (final do período de coleta). Devido ao fato desta diferença ter aparecido no último dia de coleta não é coerente formular inferências sobre a mesma.

Com relação ao comportamento da *Coelastrum reticulatum* var. *cubantum* já é possível visualizar uma compatibilidade no número de células/mL em cada tanque a partir do dia 09 de janeiro. Entretanto essa igualdade se torna mais visível a partir do dia 02 de fevereiro e se mantém até o final da coleta.

A relação de igualdade mantida nas espécies dominantes a partir da homogeneização dos tanques (dia 26 de janeiro) e após a colocação dos alevinos (dia 12 de janeiro) reforçam a hipótese da não interferência exercida pela monocamada na microbiota presente nos tanques.

Não existem comentários na literatura avaliada sobre a influência do hexadecanol nas espécies de fitoplâncton encontradas durante o experimento.

Para complementação do estudo microbiológico, uma caracterização bacteriológica e fúngica foi conduzida em paralelo à fitoplanctônica. O tópico seguinte apresenta os resultados obtidos neste estudo.

#### 4.5.6 – Avaliação fúngica e bacteriológica

Para o tanque 01 (sem hexadecanol), os resultados mostraram a presença de dois gêneros de fungos o *Aspergillus* sp. e o *Penicillium* sp. (eucarióticos) comuns em ambientes aquáticos e terrestres, classificados como fungos filamentosos, crescem na temperatura ambiente, não apresentam grandes exigências nutricionais e são “ativos” na decomposição de resíduos complexos.

Outro gênero de fungo encontrado foi o *Rodotorula* sp. classificado como fungo leveduriforme, que em suas culturas apresenta um pigmento avermelhado, tornando

sua identificação mais precisa. (CERNIGLIA, 1984; PELCZAR *et al.*, 1986; BITTON, 1994).

No tanque com hexadecanol, apenas um gênero de fungo foi encontrado, além da presença de um representante dos procariotos, o gênero bacteriano *Bacillus*. Esta bactéria é considerada ubíqua em ambientes aquáticos e terrestres. Segundo Forsyth *et al.* (1998), este gênero é considerado cosmopolita, sapróbio, embora algumas espécies são consideradas patogênicas. Em geral são gram-positivos, produzem endósporos que os tomam resistentes ao calor e outros agentes esterilizantes (TORTORA *et al.*, 2003).

Este microrganismo é capaz de degradar substratos insolúveis em água como os hidrocarbonetos sólidos e líquidos, gorduras, óleos e graxas, pois usualmente produzem substâncias com características emulsificantes, outra característica extracelular considerada importante é a produção de enzimas hidrolíticas que quebram polissacarídeos, ácidos nucleicos e lipídeos, permitindo assim que estes organismos utilizem os produtos como fonte de energia (LOGAN & TURNBULL, 1998; MULLIGAN, 2004; PAZ, 2005).

Apesar do estudo ter sido qualitativo a diferença existente entre os dois tanques ficou clara. Desta forma, devido à equivalência existente entre os parâmetros abióticos, é possível atribuir esta seletividade a presença do álcool. Ressalta-se ainda que as espécies encontradas no tanque com hexadecanol caracterizam-se pela capacidade de degradação de substâncias complexas, deixando entender que as mesmas utilizaram o álcool como fonte de alimento.

Berger (1957) teceu comentários sobre a capacidade de degradação que as espécies *Flavobacterium* e *Pseudomonas* têm sobre o hexadecanol e comentou a influência que o mesmo pode criar nestes tipos específicos de microorganismos. Nenhuma das duas espécies são características do semi-árido, portanto não foram encontradas em nenhum dos tanques, contudo, os comentários do autor estabelecem a possibilidade de que as espécies encontradas utilizaram o álcool como fonte de energia.

#### 4.5.7 – Influência na macrobiota.

Os resultados da análise na macrobiota estão apresentados nas tabelas 26, 27 e 28.

**TABELA 26 - Avaliação da massa corporal da macrobiota presente no tanque 01.**

TANQUE 01						
Especificação	ANTES			DEPOIS		
	Balança	Massa (Kg)	Massa ordem (kg)	Balança	Massa (Kg)	Massa ordem (kg)
Água	3,515	0,000	0,000	3,890	0,000	0,000
Peixe 01	3,710	0,195	0,155	4,093	0,203	0,178
Peixe 02	3,890	0,180	0,180	4,307	0,214	0,203
Peixe 03	4,160	0,270	0,195	4,601	0,294	0,214
Peixe 04	4,435	0,275	0,270	4,902	0,301	0,294
Peixe 05	4,590	0,155	0,275	5,080	0,178	0,301
<b>Massa total</b>		<b>1,075</b>			<b>1,190</b>	
<b>Massa média</b>		<b>0,215</b>			<b>0,238</b>	
<b>Desvio padrão</b>		<b>0,054</b>			<b>0,056</b>	

**TABELA 27 - Avaliação da massa corporal da macrobiota presente no tanque 02.**

TANQUE 02						
Especificação	ANTES			DEPOIS		
	Balança	Massa (Kg)	Massa ordem (kg)	Balança	Massa (Kg)	Massa ordem (kg)
Água	4,600	0,000	0,000	4,213	0,000	0,000
Peixe 01	4,850	0,250	0,140	4,487	0,274	0,163
Peixe 02	5,075	0,225	0,145	4,653	0,166	0,166
Peixe 03	5,310	0,235	0,225	4,909	0,256	0,244
Peixe 04	5,450	0,140	0,235	5,153	0,244	0,256
Peixe 05	5,595	0,145	0,250	5,316	0,163	0,274
<b>Massa total</b>		<b>0,995</b>			<b>1,103</b>	
<b>Massa média</b>		<b>0,199</b>			<b>0,221</b>	
<b>Desvio padrão</b>		<b>0,052</b>			<b>0,052</b>	

**TABELA 28 - Parâmetros de desempenho aplicados a macrobiota dos tanques.**

Especificação	TESTES			
	GP T01	GP T02	TCE T01	TCE T02
<b>Peixe 01</b>	23	23	0,602	0,661
<b>Peixe 02</b>	23	21	0,523	0,588
<b>Peixe 03</b>	19	19	0,404	0,352
<b>Peixe 04</b>	24	21	0,370	0,372
<b>Peixe 05</b>	26	24	0,393	0,399
<b>MÉDIA</b>	<b>23,00</b>	<b>21,60</b>	<b>0,46</b>	<b>0,47</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>2,55</b>	<b>1,95</b>	<b>0,10</b>	<b>0,14</b>

O número reduzido de espécimes utilizados em cada tanque não permitiu uma avaliação estatística para comprovar a significância da diferença entre os valores de Ganho de Peso (GP) e Taxa de Crescimento Específico (TCE) das espécies em cada tanque. Entretanto foi possível observar uma semelhança significativa entre os valores médios de cada população bem como uma boa compatibilidade entre seus desvios padrões.

Ainda de maneira significativa comenta-se que os valores obtidos para os dois parâmetros de desempenho são compatíveis com a literatura (BACARIN, 2001; FURUYA, 1997) nos dois tanques, fato que evidencia pouca ou nenhuma influência da monocamada durante o período avaliado.

No que diz respeito ao comportamento dos peixes durante o período de aplicação do hexadecanol, comenta-se dois pontos de relativa importância: (1) Não foi observada a morte de nenhum indivíduo em nenhum dos tanques no período de aplicação. (2) Imediatamente após a aplicação do hexadecanol, diariamente, era possível observar que alguns indivíduos se dirigiam à superfície para ingerir partículas maiores do álcool que se distribuíam na água.

Os resultados conferem com a literatura tendo em vista que: Berger (1958), em estudos também feitos com peixes, apresenta alguns resultados e relata que pode observar que alguns indivíduos se alimentavam de “tiras” de hexadecanol (formações particulares comentadas no próximo tópico). Entretanto, as tiras foram encontradas nas fezes, indicando que não ocorria bioacumulação. Florey *et al.*, 1960, afirma em estudos similares, que nas condições do seu estudo o surfactante não produziu efeito nos peixes. Wixson, em relatório apresentado na Texas AM University, em 1966, afirmou que não foi observado efeitos em duas espécies de peixes estudadas (*Gambusia affinis* e *Fundulus notatus*) em um estudo realizado com um produto que resultava em uma mistura de hexadecanol com octadecanol.

#### 4.5.7 – Velocidade de espalhamento.

A tabela abaixo apresenta os resultados obtidos nas determinações da velocidade de espalhamento da monocamada.

**TABELA 29 - Velocidade de espalhamento da monocamada na superfície da água.**

<b>Data</b>	<b>Tempo</b>	<b>Espalhamento (cm/s)</b>	<b>Vento (m/s)*</b>
19/jan	47	10,74	1,94
21/jan	36	14,02	2,05
22/jan	32	15,77	2,29
23/jan	35	14,42	2,04
7/fev	118	4,28	1,81
8/fev	160	3,15	1,00
9/fev	108	4,67	1,40
10/fev	112	4,51	1,33
14/fev	88	5,74	1,66
17/fev	86	5,87	1,00
18/fev	68	7,42	1,00
<b>MEDIA</b>		<b>8,24</b>	

\* Velocidade do vento no mesmo horário da determinação da dispersão.

Os valores evidenciam uma velocidade média de 8,24 cm/s. A correlação entre o espalhamento e a incidência eólica no horário de aplicação foi  $R = 0,7777$  significativa para a amostra em questão (Apêndice E).

Gugliotti (2002) em estudos realizados com diferentes misturas obteve velocidades bem maiores, na ordem de até 30 cm/s, em ensaios de bancada. Os valores menores justificam-se pelo fato de que ensaios com hexadecanol puro e em condições reais tendem a apresentar velocidades menores porque o mesmo interage pouco com a água. Amostras tratadas quimicamente (com aditivos inorgânicos e submetidas a processos de fusão e ressolidificação) bem como com grãos menores (devido a maior área de contato) também tendem a se espalhar mais rapidamente.

#### **4.6 – Aspectos importantes e observações sobre o comportamento do surfactante nos períodos de aplicação.**

Durante o período de aplicação da monocamada foram visualizados dois fenômenos que merecem certo destaque, quais sejam: o surgimento de estrias de hexadecanol (“*strings*”) e o comportamento seletivo dos parâmetros relacionado ao ponto de aplicação da monocamada.

#### 4.6.1 – Surgimento de estrias no hexadecanol.

O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de pequenos aglomerados de hexadecanol nas bordas de cada tanque (Figura 58) logo após a aplicação. Tais fenômenos já foram reportados na literatura por Vines (1968) que chamou as tiras de “*strings*” e atribuiu seu aparecimento principalmente quando aplicado o surfactante puro e em altas dosagens.



**FIGURA 58 - Surgimento de “strings” (circuladas em vermelho) depois da aplicação do hexadecanol.**

Estas formações trazem consigo alguns problemas que devem ser considerados. A presença de tiras é um indicativo de acúmulo de material que, por sua vez, é um indicativo de que o mesmo não está disperso e conseqüente não está recobrindo adequadamente a superfície. O fato ainda dificulta a capacidade de re-espalhamento do filme.

De maneira complementar, a presença destas formações também criam um aspecto indesejado na superfície e inviabilizam a aplicação do surfactante puro em

pequenos reservatórios, como piscinas e pequenos açudes, devido à imagem de “água poluída” que as mesmas criam.

O fitoplâncton e outros materiais particulados (orgânicos e inorgânicos) na água, podem facilitar o surgimento desta tiras funcionando como núcleo de agregação ou ainda contribuindo para aglutinação do material.

Gugliotti (2005) reporta o mesmo fenômeno nas suas aplicações no espelho de água da câmara dos deputados em Brasília e atribuiu o mesmo a ação dos ventos e a mistura do produto utilizado com o particulado superficial.

## V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados anteriormente demonstrados permitem inferir que:

- Dentro das condições avaliadas, a aplicação de filmes monomoleculares de hexadecanol mostrou-se uma ferramenta importante e relativamente eficiente para controle da evaporação em reservatórios superficiais.
- Os tanques Russos ( $20\text{m}^2$ ) são evaporímetros de boa aplicabilidade para realização de testes com superfícies evaporantes devido ao grande volume de água disponibilizado e a possibilidade que os mesmos oferecem para realização de avaliações com micro e macrobiota. Todavia, destaca-se a difícil administração e os altos custos que a manutenção destes reservatórios exige.
- As aplicações com hexadecanol puro de granulometria de  $0,29\mu\text{m}$  estabeleceram uma taxa otimizada de  $35\text{ mg/m}^2\cdot\text{dia}$  nas condições do estudo e em tanques Russos. Contudo, é importante comentar que outros trabalhos com misturas de diferentes tipos de surfactantes associados a materiais inertes, já possibilitam taxas de aplicação eficientes na ordem de  $10\text{ mg/m}^2\cdot\text{dia}$ .
- Os níveis de redução obtidos nas condições do estudo chegaram a 40% apresentando grande variabilidade em todos os períodos com episódios

isolados de inversão (onde o tanque que recebia o produto evaporava mais que o tanque sem o mesmo) sempre presentes.

- Observou-se certa relação entre os episódios de inversão e alguns picos de incidência eólica. A literatura, entretanto, ainda é muito divergente sobre a explicação do fenômeno. Aconselha-se desta forma um estudo mais aprofundado sobre o tópico a fim de obter respostas mais precisas.
- A análise multivariada de dados não apresentou valores significativos para determinação de um modelo de correlação entre a redução da evaporação e os fatores climatológicos estudados (umidade relativa do ar, temperatura do ar, radiação líquida, radiação global e velocidade do vento). Todavia foi evidenciada uma dependência muito forte entre a redução da evaporação e os parâmetros temperatura do ar e velocidade do vento, confirmando que estes interferem de maneira significativa no processo de redução.
- Apesar de estarem em todos os modelos teóricos para determinação da evaporação, os parâmetros umidade relativa do ar, radiação líquida e radiação global não mostraram relação significativa como preditores na redução da evaporação pelo método aplicado.
- As análises dos parâmetros abióticos demonstraram que o hexadecanol não interfere significativamente em nenhum dos parâmetros avaliados, quais sejam: Turbidez, condutividade, salinidade, temperatura e pH da água. Entretanto, ficou claro em todas as etapas do estudo, que existe certa tendência à alteração da temperatura em 0,5°C, sempre no tanque que recebe o surfactante, devido a supressão do processo evaporativo. Tal diferença pode provocar, a longo prazo, alterações em outros parâmetros (bióticos e abióticos) e consequentemente no equilíbrio ambiental de forma mais completa.
- Não foram encontradas influências significativas do surfactante nas espécies de fitoplâncton qualificadas. As avaliações demonstraram que os táxons não sofreram influências causadas pela aplicação do hexadecanol.
- Com relação às espécies fúngicas encontradas observou-se uma menor variabilidade no tanque com hexadecanol. Foram encontradas três espécies no

total, *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp e *Rodotorula* sp., e destes, somente o último pode ser encontrado no tanque tratado com surfactante.

- A espécie identificada de bactéria foi do gênero *Bacillus* e só foi encontrada no tanque com surfactante. As características deste gênero (cosmopolita, sapróbico e capazes de degradar substratos insolúveis em água como os hidrocarbonetos sólidos e líquidos, gorduras, óleos e graxas) levam a crer que a reserva de álcool graxo proveniente das aplicações agiram como seletores para o desenvolvimento deste microorganismo.
- O estudo da microbiota não demonstrou influências no Ganho de Peso, na Taxa de Crescimento Específico e nem provocou a morte de nenhum indivíduo durante todo o período de observação. Todavia, é importante deixar claro que as diferenças entre estes parâmetros não foram testadas estatisticamente devido ao tamanho reduzido das amostras.
- Ainda com relação ao comportamento da microbiota, foi possível observar que alguns indivíduos se dirigiam para a superfície para ingerir partículas maiores de hexadecanol após as aplicações. O fenômeno sugere que a aplicação do álcool em pequenos grãos, além de aumentar a velocidade de dispersão do produto, pode minimizar a ingestão do mesmo pelos peixes.
- Nos estudos de determinação da velocidade de espalhamento foi encontrado um valor médio para movimentação da monocamada sobre a superfície do líquido de  $0,32 \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Observou-se o surgimento de tiras de hexadecanol, também conhecidas como “*strings*” durante os períodos de aplicação, principalmente em dias de alta incidência eólica devido à rápida aglomeração do filme. O fenômeno afeta diretamente a eficiência do filme, diminuiu seu poder de re-estruturação diretamente e cria uma imagem esteticamente negativa.
- É importante considerar que o sistema hídrico utilizado no estudo (Tanques Russos) é um sistema fechado de pequeno porte. Estudos realizados em sistemas abertos e/ou de grande porte poderiam produzir resultados diferentes.

## VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, L. L. F.; FRISCHKORN, H.; PÁDUA, V. L. de; FERREIRA, A. C. da S.; Influência da aplicação de filmes monomoleculares para redução da evaporação na qualidade da água de reservatórios superficiais. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2005, Campo Grande, MS. **Anais do 23º Congresso Brasileiro Engenharia Sanitária e Ambiental.**

ALBÉRIO, I. A. S. **Estudo sobre modificações introduzidas no tanque Classe A e no método de Penman.** Dissertação (Mestrado). Piracicaba, 1979. 91p.

ANAGNOSTIDIS K.; KOMÁREK J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3: **Oscillatoriales. Algol. Stud. 50-53:** 327-472.

AQUINO, M. D. **Estudo da evaporação de superfícies livres de água no semi-árido.** 1986. 190 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ceará.

ARAÚJO, L. E.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. de.; SILVA, A. S. L. Comparação da evaporação de tanques de cimento amianto e classe A. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia.** Foz do Iguaçu.

AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Base de dados da American Water Works Association. Disponível em: <<http://www.Awwa.org/communications/journal/2003/july/news/techtalk0703.cfm>> Acesso em: 09 jun. 2004.

AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Base de dados da American Water Works Association. Disponível em: <<http://www.greenmountpress.com.au/cottongrowr/issues/247djcot04/247damevap.htm>> Acesso em: 09 jun. 2004.

BACCARI, A.E.; PEZZATO, L.E. Efeito da utilização da levedura desidratada de álcool em dietas para tilápia-do-nilo. **Pesquisa Agropecuária**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 549-556, mar.2001.

BARNES, G. T. The effect of monolayers on the evaporation of liquids. **Advance in Colloids and Interface Science**. Amsterdam. Vol. 25. p 89-200. 1986

BARNES, G.T. Optimum conditions for evaporation control by monolayers. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 145, p. 165-173, oct. 1992.

BARNES, G.T. Permeation through monolayers. **Colloids and Surfaces an Intenrational Journal. Elsevier**. Queensland, Australia. Vol. 126, p.149-158. 1997.

BARNES, G. T. **Biblioteca virtual [Mensagem pessoal]**. Mensagem recebida por luewton@bol.com.br em 04 de julho de 2005, 8:54 pm.

BASSO, E. Alteration of the water balance of lakes. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**. V. 5, p. 5-9, aug. 1999.

BEAN, B.R.; FLOREY, Q.L. A field study of the effectiveness of fatty alcohol mixtures as evaporation reducing monomolecular films. **Water Resources Research**, Colorado, v. 4, n. 1, p. 206-208, feb. 1968.

BERGER, B. B. Use of hexadecanol in reservoir evaporation control, **Journal of the American Water Works Association**, vol. 50, pp. 855-858, 1958.

BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. 1ºed. Ed. Wiley Liss. Inc. New York. U.S.A. 478p. 1994.

CARMOUZE J-P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos – fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. São Paulo, SP: ORSTOM/SBL/Edgard Blücher Ltda./FAPESP. 254 p.

CERNIGLIA, C.E., 1984, "Microbial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons", **Advances in Applied Microbiology**, v. 20, pp. 31-71.

CHANG, L.S.; WALTON, G.; WOODWARD. R.L.; BERGER, B.B. Effect of disinfecting agents on evaporation reduction with hexadecanol. **Journal American Water Works Association**, p. 1421-1432, nov. 1959.

CIRILLO, M. A.; FERREIRA, D. F. Extensão do teste para normalidade univariado baseado no coeficiente de correlação quantil-quantil para o caso multivariado. **Rev. Mat. Estat.**, v. 21, n. 3, p 67-84, 2003.

CLESCERI L.S.; GREENBERG A.E.; EATON A.D. (Eds.). **Standard Methods for the Examination of water and wastewater**, 20th edition. A.P.H.A./A.W.W.A./W.E.F. 1999. CD-ROM.

CLUFF, C.B.; GOLDSTEIN, H. Monomolecular film reduces evaporation. **Progressive Agriculture in Arizona**, Arizona, v. XV, n. 3, may-june 1963.

CODEVASF – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. Base de dados da CODEVASF. Vale do São Francisco, 2004. Disponível em: [http:// www.codevasf.org.br](http://www.codevasf.org.br)

COMAS, A. 1996. Las *Chorococcales dulciacuículas* de Cuba. *Bibliotheca Phycologica*. 99: 1-192.

COULOMB, C.V.; LEGESSE, D.; GASSE, F.; TRAVI, Y.; CHERNET, T. Lake evaporation estimates in tropical Africa (Lake, Ziway, Ethiopia). **Journal of Hydrology**, France, n. 245, p. 1-18, Jan. 2001.

EATON A.D., CLESCERI L.S.; GREENBERG A.E. (Eds.). 1995. **Standard Methods for the Examination of water and wastewater**, 19th edition. A.P.H.A./A.W.W.A./W.E.F.

FERREIRA FILHO, W. M. **Redução da evaporação através da aplicação de filmes monomoleculares de hexadecanol.** 93 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, SP. 1974.

FINCH, J.W.; GASH, J.H.C. Application of a simple finite difference model for estimating evaporation from open water. **Journal of Hydrology**, Oxfordshire, n. 255, p. 253-259, Aug. 2001.

FLOREY, Q. L.; TIMBLIN, L. O.; MCDONALD, H. R. Evaporation loss at Lake Hefner, **Journal of Geophysical Research**, vol. 65, pp. 2490, 1960.

FONTES, A.S.; OLIVEIRA, J. I. R. de.; MEDEIROS, Y.D.P. A evaporação em açudes no semi-árido nordestino do Brasil e a gestão de águas. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.** Curitiba.

FORSYTH, G.; LOGAN, N.A. ; DeVOS, P. Revue taxonomique du genre *Bacillus* **Bulletin de la Société Française de Microbiologie**, 13:2. 1998.

FRANKLIN, B. **Of the stilling of waves by means of oil.** Philosophical Transaction, v.64, p.445-460, 1774.

FURUYA, W.M.; FURUYA, V.R.B. SOUZA, S.R.; BOSCOLO, W.R. Desempenho de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.), submetidas a dietas farelada, pelletizada e extrusada, na terminação. In: XXXIV DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 1997, Juiz de Fora. **Anais da XXXIV Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia.** Juiz de Fora.

GAINER, J. L.; BERAD, J. T.; THOMAS, R. R.; **Water Evaporation Supression.** Water Research Center, Virginia Polytechnic Institute. Bulletin Nº 27: agosto, 1969.

GUGLIOTTI, M. E. S. **Novas aplicações de técnicas fototérmicas para o estudo de interfaces.** 2001. 251 p. Tese (Doutorado em Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.

GUGLIOTTI, M.; BAPTISTA, M.S.; POLITI, M.J. **Retardation of Water Evaporation by Monomolecular Films.** In: Global Conference: Building a Sustainable World, São Paulo/SP, 2002.

GUGLIOTTI, M. **Patente Brasileira**. PI0404707-9, **2004**.

GUGLIOTTI, M. Redução da evaporação de um espelho d'água de 13.000m<sup>2</sup> por filmes monomoleculares de surfactantes. In: 28<sup>a</sup> REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA. 2005, Poços de Caldas, Minas Gerais. **Anais da 29<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**.

HAIR, Jr. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2005. 593 p.

HARBECK, G.E.; KOBERG, G.E. A method of evaporation the effect of a monomolecular film in suppressing reservoir evaporation. **Journal of Geophysical Research**. Colorado, v. 64, n. 1, p. 89-93, jan. 1959.

HEDESTRAND, G. - On the influence of thin surface films on the evaporation of water. **Journal of Physical Chemistry** 28 :1245-1252, 1925.

HELENE, O. A. M.; VANIN, V. R. **Tratamento estatístico de dados em física experimental**. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: EDGAR BLÜCHER LTDA, 1991. 105 p.

KOHLER, M. A.; NORDENSON, T. J.; FOX, W. E.; **Evaporation from pans and Lakes**. U. S. Department of Commerce. Washington, Maio de 1955. Research paper No. 38. página 1-21

KOMÁREK, J.; COMAS, A. 1984. **The genus *Ecdysichlamys* (Chlorellales)**. Preslia, Praha. 56: 13-25.

KOMÁREK J.; ANAGNOSTIDIS K. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes 2: Nostocales. **Algol. Stud.** **56**: 247-345.

KOMÁREK J.; ANAGNOSTIDIS K. 1999. Modern approach to the classification system of cyanophytes 4: Chroococcales. **Algological Studies**. **43**: 157-226.

LA MER, V.; HEALY, T. W. Specification of materials for the retardation of evaporation of water – The spreading of hexadecanol monolayers. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. Vol. 52p. 679-683. 1964.

LANGLEY, W. D. Intermediate products in the bacterial decomposition of hexadecanol and octadecanol. **Water Resources Institute**, Texas A&M University, TX, Tech. Rep. TR-029, Jun. 1970.

LANGMUIR, I.; LANGMUIR, D.B. The effect of monomolecular films on the evaporation of ether solutions. **Journal of Physical Chemistry**, v. 31, p. 1719-1731. 1926.

LOGAN, N. A. ; De VOS, P. *Bacillus* et Industrie. **Bulletin de la Société Française de Microbiologie**, vol.13.no2. 1998.

LUDZACK, F. J.; ETTINGER, M. B. Biological oxidation of hexadecanol under laboratory conditions. **Journal of the American Water Works Association**, vol. 49, pp. 849-858, 1957.

MacRITCHIE, F. Role of monolayers in retardation of evaporation. **Nature**, v. 218, p. 668-670, may. 1968.

MALHEIROS, A. L.; DIAS N. L. **Resultados de 2 anos de medição de evaporação no lago de Itaipu com o método de covariâncias turbulentas atenuadas: comparação com o balanço de energia, sazonalidade e episódios de evaporação intensa.** In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Curitiba.

MANSFIELD, W. W. - Effect of surface films on the evaporation of water. **Nature**. 172(4389): 1101, 1953.

MANSFIELD, W. W. - Influence of monolayers on the natural rate of evaporation of water. **Nature**. 175(4449): 247249, 1955.

MOLLE, F. Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes. **Série Brasil. SUDENE. Hidrologia**. Recife, série. 25, 1989. p. 11 A 70.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ.: LTC, 2003. 463 p.

MULLIGAN, C.N. Environmental applications for biosurfactants. **Environmental Pollution**, vol.42, p.326-401.2004.

MYRICK, S. H. FRANCES, E. I. Effect of chain length on equilibrium and dynamic surface tension of spread monolayers of aqueous alcohols. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, Volume 143, Issues 2-3, Pages 503-515, 15 December 1998.

NUNES, Z.M.P. LAZZARO, X. PERET, A.C. Influência da biomassa inicial sobre o crescimento e a produtividade de peixes em sistema de policultivo. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 30, n.6, p. 1083-1090, nov./dez. 2006.

OLIVEIRA, A. S. **Estudos comparativos da evaporação potencial estimada por tanques e pelo método de Penman**. Tese de livre docência. ESALQ. Piracicaba, 1971. 112 p.

PAZ, M.C.F. **Identificação e caracterização de *Bacillus licheniformis* e *Geobacillus stearothermophilus*. Produção de biossurfactante e degradação de dibenzotiofeno (DBT) por uma nova amostra de *Geobacillus stearothermophilus* UCP 986**. Tese de Doutorado. UFPE. 163p. 2005.

PELCZAR JUNIOR, M. J.; CHAN, E. C. S. ; KRIEG, N. R **Microbiologia conceitos e aplicações**. Makron Book Brasil Editora, 2ªEd., vol. 1 e 2. 1996.

PENG, J.B. BARNES, G.T. ABRAHAM, B.M. The shear viscoelastic properties of poly(methyl methacrylate) and poly(vinyl stearate) monolayers on water. **Journal of the American Chemical Society**, EUA, v. 9, n. 12, p. 3574-3579, Aug. 1993.

PENG, J.B. BARNES, G.T. Surface pressure gradients formed during compression of Poly (vynil stearate) monolayers. **Journal of the American Chemical Society**, EUA, v. 6, n. 3, p. 3574-3579, Aug. 578-582. 1989.

REBOUÇAS, A. **Uso inteligente da água**. 1ª ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2004. 207 p.

RIDEAL, E. K. On the influence of thin surface films on the evaporation of water. **Journal of Physical Chemistry**, 1925, v29, pp1585-1588.

SILANS, A. M. B. P. Redução da evaporação de açudes – O Estado da Arte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. João Pessoa, PB. Volume 8, número 2. abr/jun 2003. p 101-109.

SILVEY, J.K.G. SHARP, H.B. DICKSON, K. L. ALLISON, R. C. STILES, J. C. Some effects of evaporation suppression on reservoir ecology. **Journal of American Water Works Association**, v. 65, p. 260-268, 1973.

SLEIGHT, R. B. **Evaporation from the surface of water and river-bed materials**. J. Agric.Res. 7: 209-261, 1917.

SUASSUNA, J. **Semi-árido: Propostas de convivência com a seca**. Fundação Joaquim Nabuco. Recife, 07 de fevereiro de 2002. Disponível em:

< <http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/js070202.html> > Acesso em 04 de janeiro de 2006.

SUASSUNA, J. **Estudo da salinidade de águas utilizadas em pequena irrigação no nordeste, e da sua evolução sazonal, durante os anos de 1988 e 1989**. Fundação Joaquim Nabuco. Recife, 27 de fevereiro de 1996. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/estsal.html>> Acesso em 04 de janeiro de 2006.

TANG, T.D.; PAUKEN, M.T.; JETER, S.M.; ABDEL-KHALIK, S.I. On the use of monolayers to reduce evaporation from stationary water pools. **Journal of heat transfer**, Atlanta, v. 115, p. 209-214, febr. 1993.

TIMBLIN, L.; MORAN, W. T. and GARSTKA, W. U. - **Use of monomolecular layers for reservoir evaporation reduction** J. Amer. Water Works Assoc. 49(7): 841-848, 19570

TOMLINSON, S. **Rainfall and evaporation observations at the Bombay wasterworks**. Cahier J. L. R. Met. Soc. 20, 1894.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R; CASE, C. L. Microbiologia .6ª Ed. Artmed Edilora. 827p. 2003.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 9ª ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2005. 656 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 1ª ed. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Pax, 2001. 532 p.: il.

VINES, R.G. Evaporation control: a method of treating large water storages. Melbourne, Austrália. 1968.

VINES, R.G. **Recent developments in the control of water evaporation.** Commonwealth scientific and industrial research organization. Vol. 7, nº 1, p. 137-139, july, 1960.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria dos erros.** 2ª ed. São Paulo: EDGAR BLÜCHER LTDA., 2002. 245 p.

WARTENA, N. **The energy balance of an evaporation pan and the measurement of the reflectivity of its bofttons.** Quartely Journal of the Royal Meteorological Society 87 (372): 245-249, 1961.

## **APÊNDICE A**

### **Parâmetros climatológicos**

**TABELA A.1 – Parâmetros climatológicos, níveis dos tanques e percentuais de redução da evaporação no período I.**

	Data	Temp ar (°C)	Rad global (W/m2)	vento (m/s)	Umidade (%)	Temp max (°C)	Rad. liq (W/m2)	Evap. T1 (mm)	Evap. T2 (mm)	Redução (%)
OUTUBRO	19	27,10	254,30	3,66	65,34	30,33	128,70	6,99	8,47	17,48
	20	27,13	254,80	3,69	65,79	31,40	128,90	7,48	7,99	6,39
	21	27,51	276,00	3,77	64,91	30,86	147,40	7,65	7,10	-7,68
	22	27,22	294,10	3,45	66,06	30,93	155,00	7,10	7,33	3,14
	23	27,10	290,80	3,30	67,25	30,53	152,40	6,96	7,37	5,63
	24	26,95	277,40	3,33	68,76	30,87	147,10	7,51	9,02	16,69
	25	27,15	288,50	3,59	65,23	31,26	147,10	6,50	7,20	9,72
	26	27,35	283,20	3,18	68,55	30,38	145,10	5,44	8,22	33,88
	27	27,09	260,80	2,87	68,60	30,39	129,80	4,99	6,32	20,98
	28	27,09	271,60	2,96	67,61	30,65	138,80	5,06	6,44	21,37
	29	27,04	279,50	2,47	69,03	30,86	142,20	5,29	5,80	8,79
	30	27,06	286,20	2,17	69,15	30,99	147,90	5,34	6,74	20,85
31	27,34	255,70	2,67	69,69	30,65	132,80	5,49	6,65	17,44	
NOVEMBRO	1	27,44	277,50	2,78	67,78	31,33	140,90	5,90	6,82	13,35
	2	27,51	285,50	2,98	68,77	31,00	147,50	7,34	7,55	2,72
	3	27,72	297,50	3,87	66,01	30,46	159,30	8,04	8,66	7,11
	4	27,84	299,30	3,88	62,23	30,39	153,00	10,40	9,54	-9,02
	5	27,13	275,90	2,98	66,06	30,79	138,90	4,93	7,08	30,37
	6	27,48	299,80	3,18	64,20	30,79	151,20	6,50	7,20	9,72
	7	27,28	281,30	3,22	65,38	30,92	133,50	6,93	7,42	6,61
	8	27,59	295,30	3,08	66,81	31,26	149,90	5,78	7,67	24,64
	9	27,84	284,90	3,58	68,11	30,66	151,80	7,78	7,54	-3,25
	10	27,51	249,00	3,37	70,30	30,85	129,90	6,69	6,10	-9,59
	11	27,34	284,70	2,85	67,81	30,85	142,40	4,96	6,96	28,81
	12	27,39	273,10	2,57	70,20	30,72	139,10	4,85	5,85	17,18
	13	27,41	277,40	2,49	70,80	31,12	141,00	5,58	6,73	17,09
	14	27,56	274,40	2,93	70,10	30,85	139,10	6,91	7,19	3,96
	15	27,60	268,00	3,08	69,59	31,39	133,20	7,19	6,87	-4,66

**TABELA A.2 – Parâmetros climatológicos, níveis dos tanques e percentuais de redução da evaporação depois de aplicado o ajuste para equivalência de normalidade com raiz quadrada (período I).**

	Data	Evap. T1	Evap. T2	Redução	Umidade 2	Vento 2	Temp 2	Rad Liq 2	Rad. Global 2
OUTUBRO	19	2,6429	2,9095	4,1814	8,0833	1,9123	5,2058	11,3446	15,9468
	20	2,7340	2,8258	2,5272	8,1111	1,9202	5,2086	11,3534	15,9625
	21	2,7650	2,6646	#NÚM!	8,0567	1,9411	5,2450	12,1408	16,6132
	22	2,6646	2,7074	1,7714	8,1277	1,8563	5,2173	12,4499	17,1493
	23	2,6372	2,7148	2,3730	8,2006	1,8177	5,2058	12,3450	17,0529
	24	2,7404	3,0025	4,0859	8,2922	1,8248	5,1913	12,1285	16,6553
	25	2,5495	2,6833	3,1180	8,0765	1,8937	5,2106	12,1285	16,9853
	26	2,3313	2,8671	5,8207	8,2795	1,7827	5,2297	12,0457	16,8285
	27	2,2338	2,5130	4,5806	8,2825	1,6938	5,2048	11,3930	16,1493
	28	2,2494	2,5367	4,6225	8,2225	1,7190	5,2048	11,7813	16,4803
	29	2,3000	2,4083	2,9653	8,3084	1,5700	5,2000	11,9248	16,7183
	30	2,3098	2,5962	4,5657	8,3156	1,4728	5,2019	12,1614	16,9174
	31	2,3431	2,5788	4,1766	8,3481	1,6349	5,2288	11,5239	15,9906
NOVEMBRO	1	2,4300	2,6106	3,6542	8,2329	1,6661	5,2383	11,8701	16,6583
	2	2,7092	2,7468	1,6483	8,2928	1,7263	5,2450	12,1450	16,8967
	3	2,8355	2,9419	2,6657	8,1247	1,9677	5,2650	12,6214	17,2482
	4	3,2241	3,0879	#NÚM!	7,8886	1,9700	5,2764	12,3693	17,3003
	5	2,2204	2,6608	5,5106	8,1277	1,7260	5,2086	11,7856	16,6102
	6	2,5495	2,6833	3,1180	8,0125	1,7838	5,2421	12,2963	17,3147
	7	2,6315	2,7230	2,5706	8,0858	1,7947	5,2230	11,5542	16,7720
	8	2,4042	2,7695	4,9640	8,1737	1,7544	5,2526	12,2434	17,1843
	9	2,7893	2,7450	#NÚM!	8,2529	1,8921	5,2764	12,3207	16,8790
	10	2,5855	2,4698	#NÚM!	8,3845	1,8344	5,2450	11,3974	15,7797
	11	2,2260	2,6382	5,3673	8,2347	1,6867	5,2288	11,9331	16,8731
	12	2,2011	2,4187	4,1448	8,3785	1,6031	5,2335	11,7941	16,5257
	13	2,3622	2,5942	4,1337	8,4143	1,5777	5,2355	11,8743	16,6553
	14	2,6277	2,6814	1,9909	8,3726	1,7106	5,2498	11,7941	16,5650
	15	2,6805	2,6201	#NÚM!	8,3421	1,7558	5,2536	11,5412	16,3707

**TABELA A.3 – Parâmetros climatológicos, níveis dos tanques e percentual de redução da evaporação depois de aplicado o ajuste para equivalência de normalidade com função inversa (período I).**

	Data	Evap. T1	Evap. T2	Redução	Umidade 2	Vento 2	Temp 2	Rad Liq 2	Rad. Global 2
OUTUBRO	19	0,1432	0,1181	0,0572	0,0153	0,2734	0,0369	0,0078	0,0039
	20	0,1338	0,1252	0,1566	0,0152	0,2712	0,0369	0,0078	0,0039
	21	0,1308	0,1408	-0,1303	0,0154	0,2654	0,0364	0,0068	0,0036
	22	0,1408	0,1364	0,3187	0,0151	0,2902	0,0367	0,0065	0,0034
	23	0,1438	0,1357	0,1776	0,0149	0,3027	0,0369	0,0066	0,0034
	24	0,1332	0,1109	0,0599	0,0145	0,3003	0,0371	0,0068	0,0036
	25	0,1538	0,1389	0,1029	0,0153	0,2789	0,0368	0,0068	0,0035
	26	0,1840	0,1217	0,0295	0,0146	0,3147	0,0366	0,0069	0,0035
	27	0,2004	0,1584	0,0477	0,0146	0,3486	0,0369	0,0077	0,0038
	28	0,1976	0,1554	0,0468	0,0148	0,3384	0,0369	0,0072	0,0037
	29	0,1890	0,1724	0,1137	0,0145	0,4057	0,0370	0,0070	0,0036
	30	0,1874	0,1484	0,0480	0,0145	0,4610	0,0370	0,0068	0,0035
	31	0,1821	0,1504	0,0573	0,0143	0,3741	0,0366	0,0075	0,0039
NOVEMBRO	1	0,1693	0,1467	0,0749	0,0148	0,3602	0,0364	0,0071	0,0036
	2	0,1362	0,1325	0,3680	0,0145	0,3356	0,0364	0,0068	0,0035
	3	0,1244	0,1155	0,1407	0,0151	0,2583	0,0361	0,0063	0,0034
	4	0,0962	0,1049	-0,1109	0,0161	0,2577	0,0359	0,0065	0,0033
	5	0,2028	0,1412	0,0329	0,0151	0,3357	0,0369	0,0072	0,0036
	6	0,1538	0,1389	0,1029	0,0156	0,3143	0,0364	0,0066	0,0033
	7	0,1444	0,1349	0,1513	0,0153	0,3105	0,0367	0,0075	0,0036
	8	0,1730	0,1304	0,0406	0,0150	0,3249	0,0362	0,0067	0,0034
	9	0,1285	0,1327	-0,3076	0,0147	0,2793	0,0359	0,0066	0,0035
	10	0,1496	0,1639	-0,1043	0,0142	0,2972	0,0364	0,0077	0,0040
	11	0,2018	0,1437	0,0347	0,0147	0,3515	0,0366	0,0070	0,0035
	12	0,2064	0,1709	0,0582	0,0142	0,3891	0,0365	0,0072	0,0037
	13	0,1792	0,1486	0,0585	0,0141	0,4018	0,0365	0,0071	0,0036
	14	0,1448	0,1391	0,2523	0,0143	0,3418	0,0363	0,0072	0,0036
	15	0,1392	0,1457	-0,2145	0,0144	0,3244	0,0362	0,0075	0,0037

**TABELA A.4 – Verificação da normalidade pelo método dos parâmetros de simetria para os dados climatológicos após a aplicação do ajuste com raiz quadrada e com função inversa.**

<b>Variável</b>	<b>Evap. T1</b>	<b>Evap. T2</b>	<b>Redução</b>	<b>Umidade 2</b>	<b>Vento 2</b>	<b>Temp 2</b>	<b>Rad Liq 2</b>	<b>Rad. Global 2</b>
<b>Assimetria</b>	0,909	0,670	-0,020	-0,484	-0,144	0,341	-0,085	-0,478
<b>Teste</b>	1,965	1,446	-0,043	-1,046	-0,310	0,738	-0,183	-1,033
<b>Curtose</b>	1,682	0,447	-0,640	-0,291	-0,574	-0,736	-0,918	-0,381
<b>Teste</b>	1,816	0,482	-0,691	-0,314	-0,620	-0,795	-0,991	-0,412
<b>correção raiz quadrada</b>								
<b>Variável</b>	<b>Evap. T1</b>	<b>Evap. T2</b>	<b>Redução</b>	<b>Umidade 2</b>	<b>Vento 2</b>	<b>Temp 2</b>	<b>Rad Liq 2</b>	<b>Rad. Global 2</b>
<b>Assimetria</b>	0,604	0,503	#NÚM!	-0,518	-0,299	0,334	-0,132	-0,529
<b>Teste</b>	1,305	1,088	#NÚM!	-1,119	-0,646	0,721	-0,286	-1,142
<b>Curtose</b>	0,637	0,245	#NÚM!	-0,220	-0,397	-0,746	-0,930	-0,334
<b>Teste</b>	0,689	0,265	#NÚM!	-0,237	-0,429	-0,805	-1,005	-0,361
<b>correção função inversa</b>								
<b>Variável</b>	<b>Evap. T1</b>	<b>Evap. T2</b>	<b>Redução</b>	<b>Umidade 2</b>	<b>Vento 2</b>	<b>Temp 2</b>	<b>Rad Liq 2</b>	<b>Rad. Global 2</b>
<b>Assimetria</b>	0,048	-0,001	-0,384	0,623	0,823	-0,311	0,271	0,678
<b>Teste</b>	0,104	-0,003	-0,830	1,347	1,778	-0,673	0,586	1,465
<b>Curtose</b>	-0,891	-0,017	1,327	0,023	0,627	-0,774	-0,934	-0,168
<b>Teste</b>	-0,962	-0,018	1,433	0,025	0,677	-0,836	-1,008	-0,181

**TABELA A.5 - Valores brutos dos níveis de cada tanque coletados em duplicata, evaporação e níveis de recarga.**

<b>Dia</b>	<b>Tanque 1 - 1</b>	<b>Tanque 1 - 2</b>	<b>Tanque 2 - 1</b>	<b>Tanque 2 - 2</b>	<b>Rec. Tanque 01</b>	<b>Rec. Tanque 02</b>
16/out	74,2	74,5	65,2	65,0	0,0	0,0
17/out	67,6	67,4	58,0	58,2	0,0	0,0
18/out	59,8	59,8	50,3	50,4	0,0	0,0
19/out	52,8	53,0	43,6	43,5	0,0	0,0
20/out	45,9	46,0	35,1	35,1	0,0	0,0
21/out	38,4	38,5	27,0	27,2	0,0	0,0
22/out	30,7	30,9	20,0	20,0	0,0	0,0
23/out	23,7	23,7	12,7	12,7	0,0	0,0
24/out	16,8	16,7	5,3	5,3	0,0	0,0
25/out	9,3	9,2	-3,6	-3,9	90,5	88,6
26/out	76,3	76,2	76,8	76,8	0,0	0,0
27/out	70,9	70,7	68,5	68,7	0,0	0,0
28/out	65,9	65,8	62,3	62,2	0,0	0,0
29/out	60,8	60,7	55,8	55,9	0,0	0,0
30/out	55,5	55,5	50,1	49,9	0,0	0,0
31/out	50,2	50,1	43,4	43,1	0,0	0,0
1/nov	44,8	44,5	36,6	36,7	0,0	0,0
2/nov	38,8	38,7	29,9	29,8	0,0	0,0
3/nov	31,4	31,4	22,2	22,3	0,0	0,0
4/nov	23,2	23,6	13,6	13,6	0,0	0,0
5/nov	13,0	13,0	4,1	4,0	0,0	0,0
6/nov	8,6	8,5	-2,5	-2,5	84,6	78,3
7/nov	78,7	78,6	72,1	71,7	0,0	0,0
8/nov	71,6	71,7	64,6	64,3	0,0	0,0
9/nov	65,9	65,9	56,8	56,8	0,0	0,0
10/nov	58,3	58,4	49,5	49,4	0,0	0,0
11/nov	51,7	51,5	43,2	43,5	0,0	0,0
12/nov	46,6	46,8	36,6	36,2	0,0	0,0
13/nov	42,0	41,7	30,6	30,5	0,0	0,0
14/nov	36,1	36,4	23,8	23,9	0,0	0,0
15/nov	29,3	29,4	16,5	16,8	0,0	0,0
16/nov	22,1	22,2	9,9	9,6	0,0	0,0

**TABELA A.6 – Parâmetros climatológicos, níveis dos tanques e percentuais de redução da evaporação no período II.**

	Data	Evap. T1	Evap. T2	Redução (%)	Temp ar	Umidade	Vento	Rad Liquida	Rad Global
Dezembro	15	7,1	7,1	0	27,9	69,1	2,81	116,0	241,5
	16	8,1	7,0	-15	28,1	64,0	2,67	147,9	398,0
	17	5,0	6,2	20	28,3	67,1	2,13	143,9	280,6
	18	8,2	8,4	3	28,8	65,3	3,23	153,3	292,9
	19	6,5	7,6	14	28,9	66,5	2,78	60,2	279,9
	20	7,0	7,7	9	28,5	68,0	2,94	130,6	-1596,1
	21	6,5	7,4	12	28,2	66,0	2,97	244,0	-1106,7
	22	6,5	7,4	12	27,7	66,7	2,91	120,1	-1138,8
	23	4,8	5,1	6	27,7	67,2	2,75	143,3	-1531,8
	24	6,4	6,4	0	27,5	70,4	2,11	23,7	-1179,4
	25	4,4	5,4	18	27,2	73,6	2,05	53,8	230,6
	26	5,8	7,8	25	27,7	71,6	2,40	131,0	254,1
	27	4,9	5,4	9	27,7	71,5	2,65	122,6	207,2
	28	5,3	6,2	14	27,1	71,4	2,16	61,7	141,5
	29	6,7	6,3	-6	27,8	68,1	2,83	140,8	269,5
	30	6,6	7,0	6	28,0	68,4	2,01	153,6	283,4
	31	4,7	4,6	-3	26,1	80,7	2,18	-37,2	486,2
Janeiro	1	5,4	5,4	0	27,3	70,7	2,03	-213,8	321,9
	2	4,7	5,9	21	27,5	73,4	2,08	-21,6	382,7
	3	5,5	6,8	19	27,7	71,1	2,51	368,5	265,4
	4	7,3	7,6	5	28,0	66,0	2,49	-25,3	442,5
	5	2,9	3,9	25	27,8	68,5	2,19	-50,4	279,0
	6	5,4	6,8	21	27,9	70,1	2,59	-26,9	262,9
	7	6,3	6,8	8	27,4	69,0	2,07	-110,1	289,1
	8	3,9	5,2	25	27,8	66,3	2,43	-30,4	280,7
	9	7,3	7,2	-3	27,4	74,3	2,08	-46,1	250,7
	10	6,8	6,8	0	27,5	72,1	2,67	-23,7	285,6
	11	7,6	7,8	2	27,7	69,0	2,87	-19,2	533,6
	12	7,9	8,7	9	27,4	70,5	2,72	177,4	285,9
	13	6,6	6,2	-6	28,2	65,7	3,11	-28,1	289,6
	14	7,3	6,6	-11	28,1	66,9	3,25	-43,3	295,3
	15	4,7	7,4	37	27,8	68,3	2,82	-202,0	276,4
	16	15,7	13,0	-21	27,8	68,3	2,82	-202,0	276,4

FIGURA A1 – Comportamento da temperatura do ar no período II.

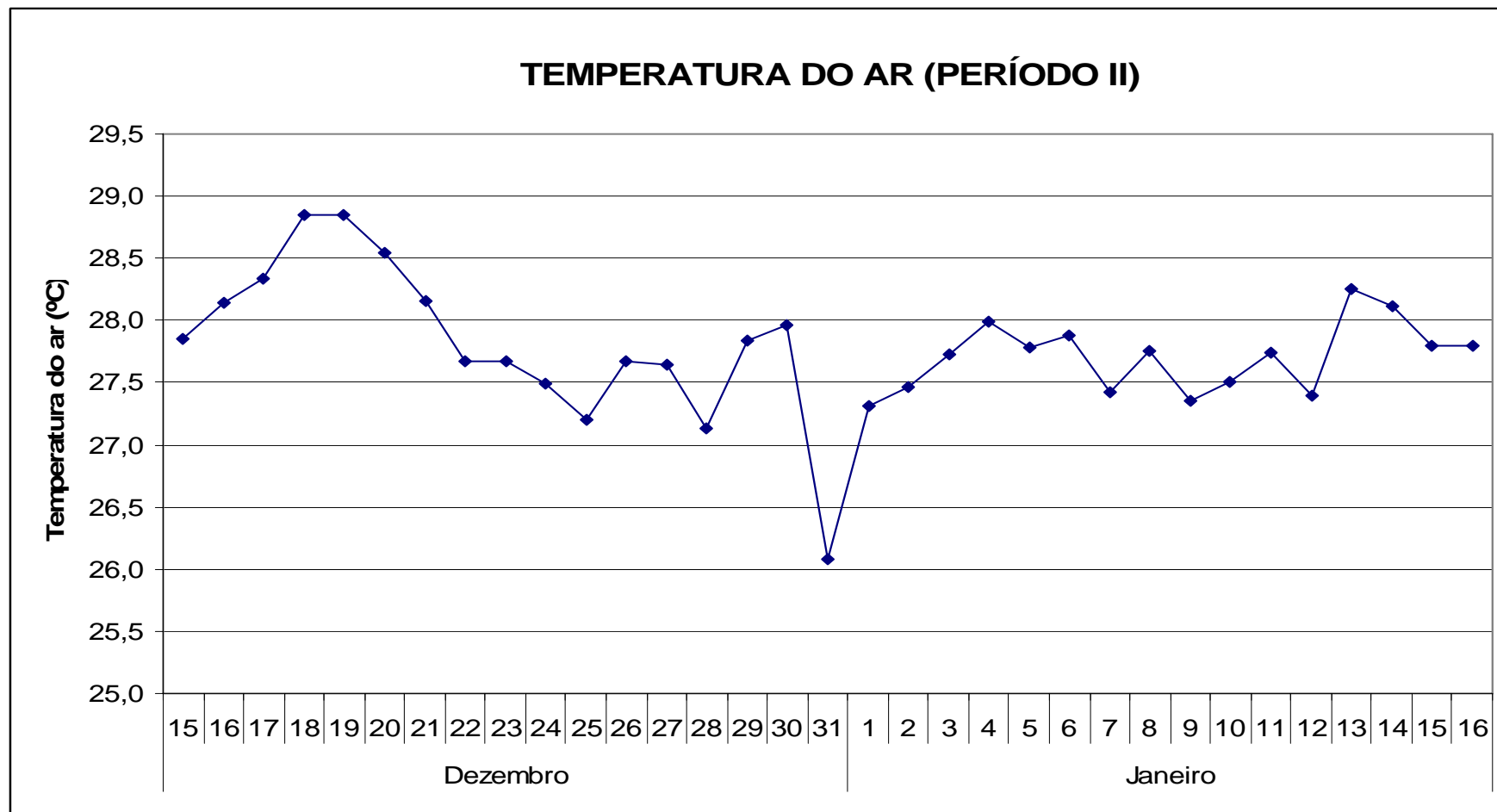


FIGURA A2 – Comportamento da umidade relativa no período II.

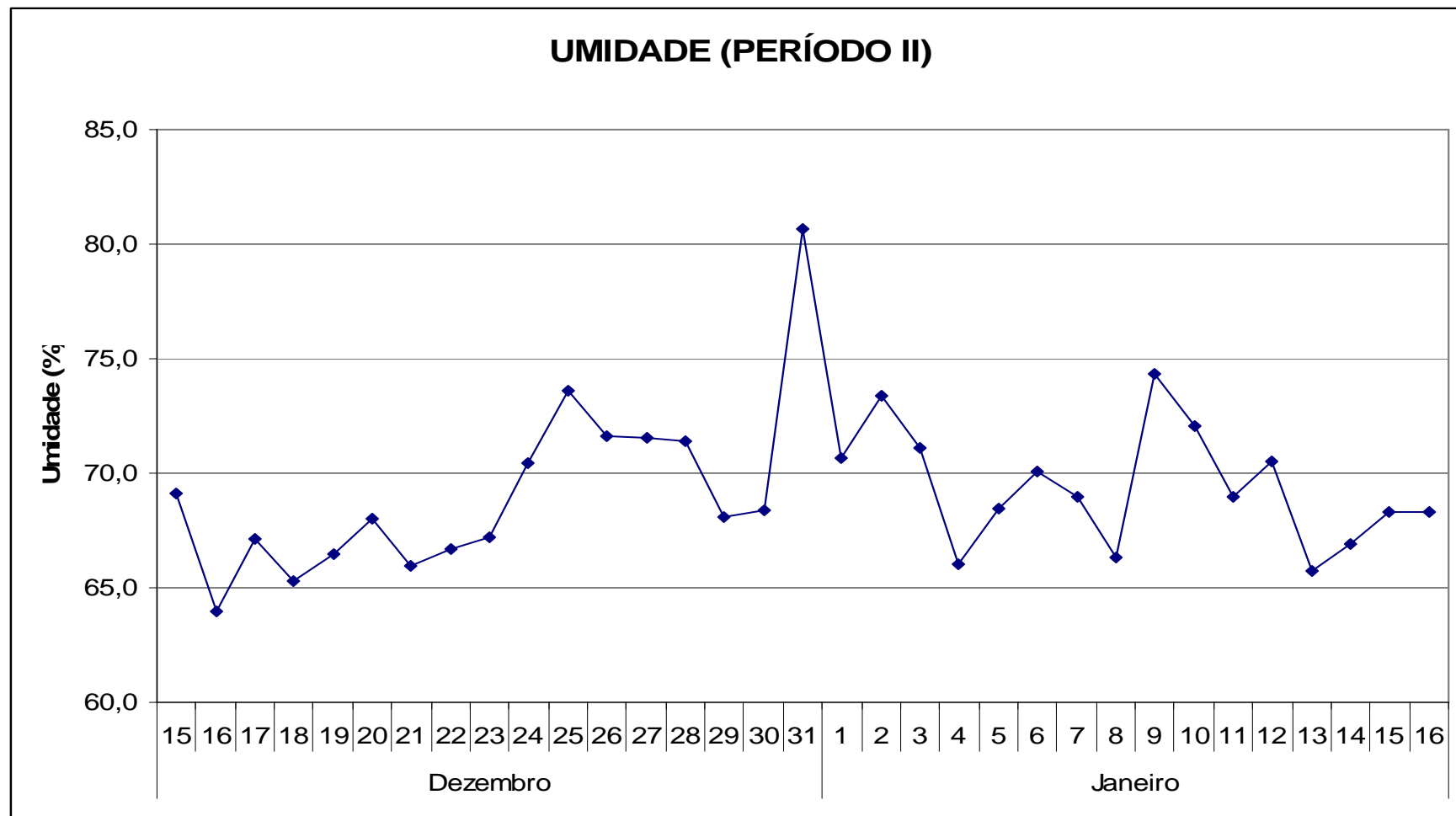


FIGURA A3 – Comportamento da velocidade do vento no período II.

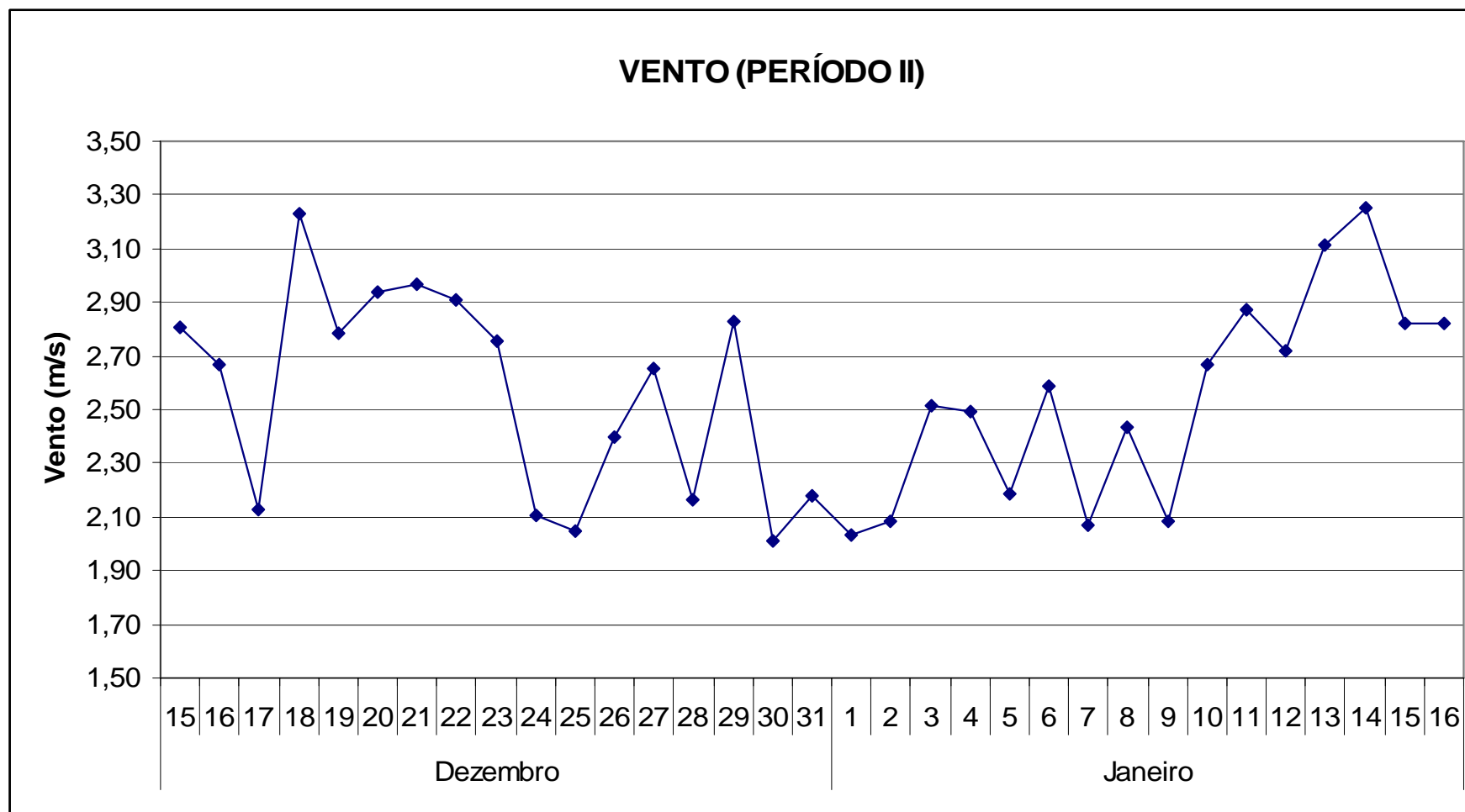
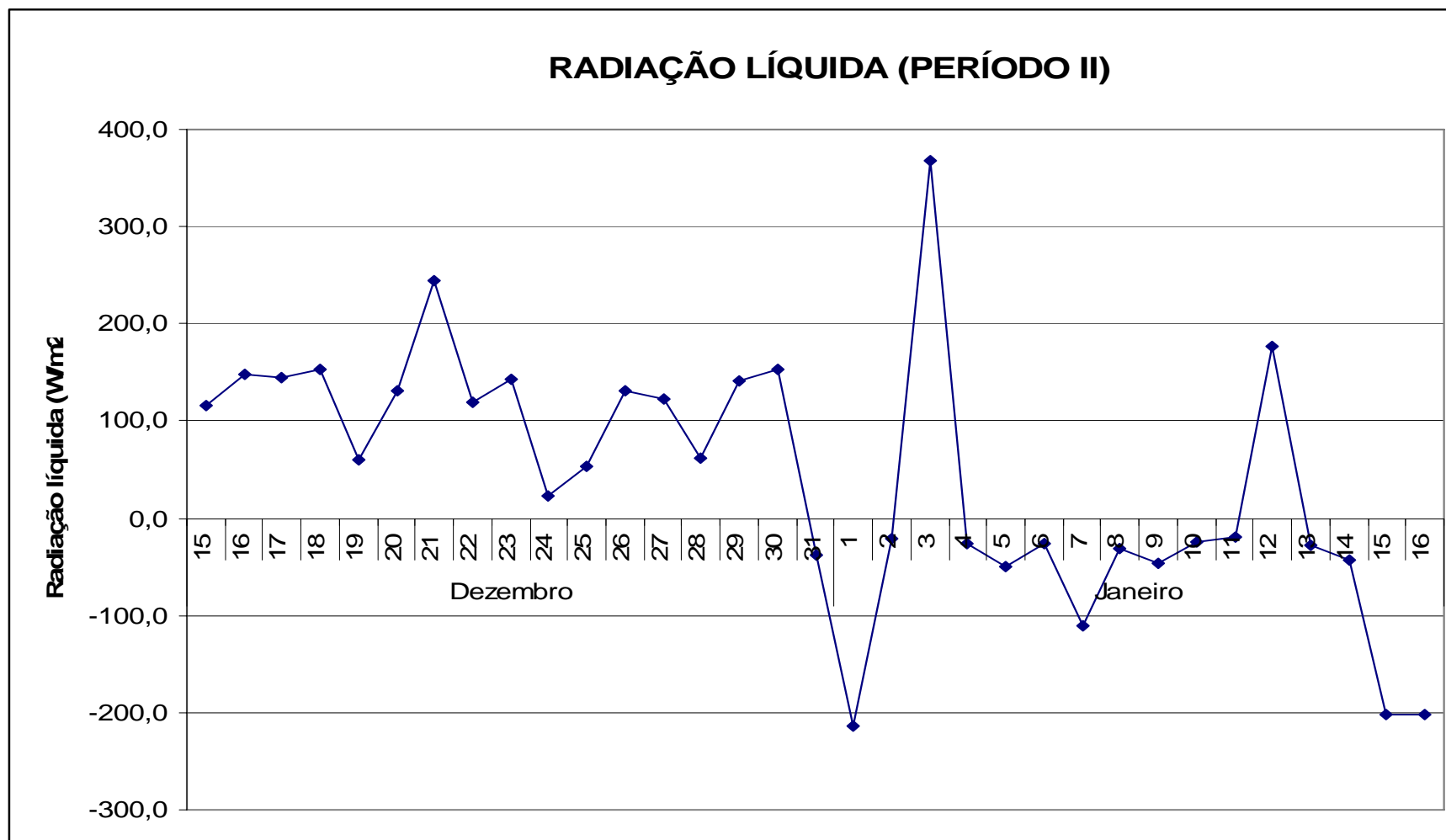


FIGURA A4 – Comportamento da radiação líquida no período II.



## **APÊNDICE B**

### **Parâmetros abióticos e de evaporação no Período II da Fase 02**

TABELA B.1 – Dados abióticos da etapa II para o mês de dezembro de 2005.

Período		Condutividade		Salinidade		pH		Turbidez		Temperatura	
Mês	Dia	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
DEZEMBRO	15	850	943	0,4	0,4	9,5	8,7	5,6	3,3		
	16	856	957	0,4	0,4	9,7	8,9	6,1	3,4	29,9	30,3
	17	874	972	0,4	0,4	9,8	8,9	6,6	3,2	30,1	30,3
	18	887	977	0,4	0,4	10,0	9,2	6,8	3,5	30,5	30,8
	19	886	980	0,4	0,4	10,3	9,3	6,7	3,6	30,9	30,8
	20	885	980	0,4	0,4	10,3	9,3	7,3	3,6	30,2	30,5
	21	887	981	0,4	0,4	10,1	9,1	7,1	3,6	30,2	30,4
	22	891	983	0,4	0,4	10,0	9,1	7,0	3,8	30,1	30,2
	23	896	987	0,4	0,4	10,0	9,1	6,4	3,4	30,3	30,1
	24	894	987	0,4	0,4	9,9	8,9	6,1	3,6	30,2	30,1
	25	906	998	0,4	0,4	10,0	9,1	6,9	4,2	30,1	29,9
	26	905	996	0,4	0,4	10,0	9,1	6,5	3,9	30,6	30,3
	27	901	992	0,4	0,4	10,1	9,1	6,6	3,8	30,6	30,1
	28	904	992	0,4	0,4	10,0	9,2	6,5	3,8	30,1	29,7
	29	905	998	0,4	0,4	10,0	9,2	6,6	3,8	30,2	29,7
	30	907	1004	0,4	0,4	10,0	9,3	6,3	3,9	30,5	30,0
	31	901	997	0,4	0,4	10,1	9,3	6,3	3,9	30,0	29,9

TABELA B.2 – Dados abióticos da etapa II para o mês de janeiro de 2006.

Período		Condutividade		Salinidade		pH		Turbidez		Temperatura	
Mês	Dia	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
JANEIRO	1	909	1006	0,4	0,4	10,0	9,3	6,5	3,9	29,7	29,5
	2	914	1010	0,4	0,4	10,0	9,3	6,2	3,8	30,1	29,9
	3	921	1019	0,4	0,4	10,0	9,3	6,0	3,6	30,2	30,1
	4	914	1024	0,4	0,4	10,0	9,3	6,0	3,8	30,4	30,4
	5	933	1026	0,4	0,4	10,0	9,3	5,6	3,5	30,6	30,4
	6	940	1029	0,4	0,4	10,0	9,3	5,8	3,6	30,8	30,5
	7	938	1030	0,4	0,4	9,9	9,3	5,7	3,6	31,2	30,5
	8	947	1039	0,4	0,4	10,0	9,3	5,8	3,3	30,8	30,4
	9	944	1036	0,4	0,4	10,1	9,4	5,0	4,0	31,2	30,9
	10	947	1035	0,4	0,5	10,1	9,4	5,1	3,5	31,0	30,6
	11	948	1044	0,4	0,5	10,1	9,5	4,7	3,5	30,8	30,6
	12	946	1044	0,4	0,5	10,0	9,4	4,9	4,7	31,0	30,7
	13	943	1042	0,4	0,5	10,1	9,4	4,7	5,1	30,6	30,6
	14	949	1046	0,4	0,5	10,1	9,4	5,2	5,3	30,4	30,4
	15	951	1045	0,4	0,5	10,1	9,4	4,9	4,9	30,5	30,5
	16	939	1030	0,4	0,5	10,1	9,5	5,0	5,0	30,5	30,4
	17	942	1030	0,4	0,5	10,0	9,4	5,0	4,8	30,3	30,2
	18	943	1040	0,4	0,5	10,0	9,5	4,3	4,4	30,5	30,2
	19	943	1041	0,4	0,5	10,1	9,6	5,1	4,8	30,5	30,7
	20	948	1046	0,4	0,5	10,0	9,5	5,9	4,7	30,2	30,6
	21	952	1050	0,4	0,5	10,0	9,5	5,8	5,1	30,3	30,7
	22	951	1048	0,4	0,5	10,0	9,5	5,5	4,7	30,4	30,7
	23			0,4	0,5	10,1	9,6	6,2	5,1	30,0	30,4

**TABELA B.3 – Dados de economia de água (em litros) na etapa II.**

	Data	Nível T1 (mm)	Nível T2 (mm)	Economia (litros)
DEZEMBRO(2005)	15	7,1	7,1	-0,6
	16	15,2	14,1	-21,6
	17	20,1	20,3	3,8
	18	28,3	28,8	8,2
	19	34,9	36,3	28,6
	20	41,9	44,0	42,1
	21	48,3	51,3	60,1
	22	54,8	58,7	78,1
	23	59,6	63,8	84,1
	24	66,0	70,2	84,3
	25	70,4	75,6	103,7
	26	76,2	83,4	143,1
	27	81,1	88,8	153,3
	28	86,4	95,0	171,1
	29	93,1	101,3	162,9
	30	99,7	108,3	171,9
	31	104,4	112,9	169,1
JANEIRO (2005)	1	109,8	118,3	168,9
	2	114,5	124,1	193,1
	3	120,8	129,5	172,5
	4	126,4	136,3	198,0
	5	133,7	143,9	205,1
	6	136,6	147,8	224,6
	7	141,9	154,6	253,8
	8	148,2	161,5	264,5
	9	152,1	166,6	290,7
	10	159,4	173,8	286,8
	11	166,2	180,6	287,0
	12	173,9	188,4	290,0
	13	181,8	197,1	306,2
	14	188,4	203,3	298,5
	15	195,7	209,8	283,4
	16	200,4	217,3	338,4
	17	216,0	230,3	284,4

**TABELA B.4 – Valores brutos dos níveis de cada tanque coletados em duplicata, evaporação e níveis de recarga.**

Data	Tanque 1 - 1	Tanque 1 - 2	Tanque 2 - 1	Tanque 2 - 2	Rec. Tanque 01	Rec. Tanque 02
15/dez	77,8	77,7	68,9	69,1	0,0	0,0
16/dez	70,7	70,6	61,9	61,9	0,0	0,0
17/dez	62,5	62,6	54,9	54,9	0,0	0,0
18/dez	57,6	57,6	48,7	48,7	0,0	0,0
19/dez	49,4	49,3	40,1	40,4	0,0	0,0
20/dez	42,9	42,8	32,7	32,7	0,0	0,0
21/dez	35,9	35,9	25,1	25,0	0,0	0,0
22/dez	23,9	23,9	12,4	12,5	0,0	0,0
23/dez	22,9	23,1	10,2	10,5	82,4	75,8
24/dez	77,6	77,6	70,7	70,7	0,0	0,0
25/dez	77,4	77,3	70,6	70,3	0,0	0,0
26/dez	72,9	73,0	65,6	64,6	0,0	0,0
27/dez	73,1	73,0	63,4	63,0	0,0	0,0
28/dez	68,1	68,2	57,9	57,7	0,0	0,0
29/dez	62,8	62,9	51,7	51,5	0,0	0,0
30/dez	56,0	56,3	45,0	45,6	0,0	0,0
31/dez	49,9	49,2	38,2	38,3	0,0	0,0
1/jan					0,0	0,0
2/jan	46,8	46,5	35,7	35,3	0,0	0,0
3/jan	42,4	41,6	29,5	29,7	0,0	0,0
4/jan	35,5	35,7	24,4	24,2	0,0	0,0
5/jan	30,1	30,0	17,4	17,5	0,0	0,0
6/jan	22,9	22,7	9,8	9,9	69,4	60,7
7/jan	66,6	66,4	56,7	56,8	0,0	0,0
8/jan	61,1	61,2	50,0	49,9	0,0	0,0
9/jan	55,8	55,9	44,1	44,2	0,0	0,0
10/jan	54,2	54,4	41,2	41,3	0,0	0,0
11/jan	53,1	53,2	40,3	40,3	0,0	0,0
12/jan	49,2	49,5	36,4	36,5	0,0	0,0
13/jan	41,7	41,8	28,7	28,7	0,0	0,0
14/jan	33,8	33,8	19,9	20,0	0,0	0,0
15/jan	27,2	27,2	13,9	13,7	0,0	0,0
16/jan	23,3	23,3	10,7	10,6	0,0	0,0
17/jan	18,5	18,7	3,2	3,2	86,1	78,3
18/jan	95,1	95,3	90,1	90,2	0,0	0,0
19/jan	87,2	87,0	82,9	83,1	0,0	0,0
20/jan	85,3	85,2	82,0	82,0	0,0	0,0
21/jan	79,3	79,2	76,7	76,9	0,0	0,0
22/jan	70,4	70,6	68,8	69,0	0,0	0,0
23/jan	64,1	64,1	62,1	62,3	0,0	0,0
25/jan	51,3	51,3	49,3	49,5	0,0	0,0

## **APÊNDICE C**

### **Parâmetros abióticos e de evaporação no Período III da Fase 02**

**TABELA C.1 – Valores brutos dos níveis de cada tanque coletados em duplicata, evaporação e níveis de recarga.**

<b>Data</b>	<b>Tanque 1 - 1</b>	<b>Tanque 1 - 2</b>	<b>Tanque 2 - 1</b>	<b>Tanque 2 - 2</b>	<b>Rec Tanque 1</b>	<b>Rec Tanque 2</b>
2/fev	78,5	78,7	80,4	80,6	0,0	0,0
3/fev	71,8	71,9	73,9	73,7	0,0	0,0
4/fev	68,7	68,7	70,3	70,4	0,0	0,0
5/fev	61,8	62,0	63,4	63,4	0,0	0,0
6/fev	54,7	54,7	56,1	56,1	84,6	81,1
7/fev	79,8	79,7	76,6	76,4	0,0	0,0
8/fev	74,2	74,3	71,0	70,9	0,0	0,0
9/fev	67,7	67,9	64,4	64,2	0,0	0,0
10/fev	61,3	61,4	58,2	58,1	82,4	75,8
11/fev	55,5	55,5	52,9	53,0	0,0	0,0
12/fev	65,1	65,2	62,6	62,6	0,0	0,0
13/fev	60,3	60,3	58,3	58,4	0,0	0,0
14/fev	55,8	55,9	54,0	54,0	0,0	0,0
15/fev	54,8	54,8	53,1	53,1	0,0	0,0
16/fev	49,2	49,4	47,9	48,0	0,0	0,0
17/fev	60,8	60,9	59,7	59,7	0,0	0,0
18/fev	65,2	65,2	64,3	64,3	0,0	0,0
19/fev	61,2	61,3	61,4	61,4	0,0	0,0
20/fev	58,6	58,6	58,4	58,4	0,0	0,0
21/fev	53,7	53,6	53,8	53,8	0,0	0,0
22/fev	49,7	49,6	49,3	49,3	0,0	0,0
23/fev	58,6	58,6	58,6	58,7	0,0	0,0
24/fev	59,8	59,9	60,5	60,4	0,0	0,0

**TABELA C.2 – Média dos valores de cada parâmetro abiótico em cada tanque.**

Período		Condutividade		Salinidade		pH		Turbidez		Temperatura	
mês	dia	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
FEVEREIRO	1	993,0	989	0,4	0,4	9,0	8,9	4,4	4,3	29,9	29,9
	2	980,0	987	0,4	0,4	9,0	8,9	4,7	4,9	29,6	29,7
	3	988,0	992	0,4	0,4	9,4	9,3	5,3	5,3	30,0	30,1
	4	982,0	989	0,4	0,4	9,5	9,4	6,2	6,5	30,0	30,2
	5	1005,0	1009	0,4	0,4	9,4	9,4	7,2	7,2	30,0	30,0
	6	1001,0	1005	0,4	0,4	9,5	9,4	8,4	8,6	29,5	29,5
	7	996,7	1002	0,4	0,4	8,9	9,0	10,1	10,9	29,2	29,2
	8	1003,3	1009	0,4	0,4	9,1	9,1	12,2	11,8	29,6	29,8
	9	1013,0	1019	0,5	0,5	9,2	9,2	11,2	11,1	29,4	29,8
	10	1017,3	1023	0,5	0,5	9,2	9,2	12,7	12,9	30,2	30,5
	11	1017,0	1024	0,5	0,5	9,6	9,6	14,1	13,7	30,0	30,4
	12	996,3	1003	0,5	0,4	9,6	9,6	12,5	13,9	29,2	29,4
	13	1005,3	1014	0,5	0,5	9,6	9,6	11,4	11,7	29,6	29,9
	14	1011,0	1019	0,5	0,5	9,6	9,6	12,3	15,4	29,8	30,2
	15	1013,7	1020	0,5	0,5	9,6	9,7	12,4	15,6	29,6	29,8
	16	1025,0	1034	0,5	0,5	9,9	9,9	10,0	10,5	30,3	30,6
	17	1012,7	1020	0,5	0,5	10,0	9,9	13,0	15,8	29,9	30,1
	18	1002,0	1008	0,4	0,4	9,9	9,9	12,1	13,5	29,6	30,1
	19	1009,0	1016	0,4	0,4	10,0	9,9	12,4	13,3	29,6	29,6
	20	1009,0	1015	0,5	0,5	10,0	10,0	15,3	15,1	29,6	30,0
	21	1013,3	1021	0,5	0,5	10,0	10,0	15,7	14,0	29,4	29,5
	22	1024,7	1026	0,5	0,5	10,1	10,0	9,6	9,8	30,3	30,5
	23	1018,3	1023	0,5	0,5	10,1	9,9	9,6	9,8	30,0	30,1

**TABELA C.3 – Valores brutos coletados para os parâmetros Condutividade e Salinidade em cada tanque nos pontos de triangulação.**

Condutividade							Salinidade						
Data	T1.1	T1.2	T1.3	T2.1	T2.2	T2.3	Data	T1.1	T1.2	T1.3	T2.1	T2.2	T2.3
1/fev	993			989			1/fev	0,4			0,4		
2/fev	980			987			2/fev	0,4			0,4		
3/fev	988			992			3/fev	0,4			0,4		
4/fev	982			989			4/fev	0,4			0,4		
5/fev	1004	1005	1006	1009	1008	1009	5/fev	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
6/fev	1001	1001	1001	1004	1005	1005	6/fev	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
7/fev	996	997	997	1001	1003	1002	7/fev	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
8/fev	1003	1003	1004	1009	1009	1009	8/fev	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
9/fev	1012	1013	1014	1019	1019	1019	9/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
10/fev	1016	1018	1018	1022	1023	1023	10/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
11/fev	1016	1017	1018	1023	1024	1025	11/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
12/fev	995	997	997	1003	1003	1003	12/fev	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4
13/fev	1004	1006	1006	1013	1014	1014	13/fev	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5
14/fev	1009	1012	1012	1018	1019	1019	14/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
15/fev	1011	1015	1015	1020	1020	1021	15/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
16/fev	1023	1026	1026	1034	1034	1034	16/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
17/fev	1012	1013	1013	1020	1020	1020	17/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
18/fev	1001	1003	1002	1009	1007	1008	18/fev	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
19/fev	1008	1009	1010	1016	1015	1016	19/fev	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
20/fev	1009	1009	1009	1015	1015	1016	20/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
21/fev	1011	1014	1015	1020	1021	1021	21/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
23/fev	1023	1025	1026	1025	1026	1027	23/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
24/fev	1016	1019	1020	1023	1023	1023	24/fev	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

**TABELA C.4 – Valores brutos coletados para os parâmetros Temperatura e pH em cada tanque nos pontos de triangulação.**

pH							Temperatura						
Data	T1.1	T1.2	T1.3	T2.1	T2.2	T2.3	Data	T1.1	T1.2	T1.3	T2.1	T2.2	T2.3
1/fev	9,0			8,9			1/fev	29,9			29,9		
2/fev	9,0			8,9			2/fev	29,6			29,7		
3/fev	9,4			9,3			3/fev	30,0			30,1		
4/fev	9,5			9,4			4/fev	30,0			30,2		
5/fev	9,5	9,4	9,4	9,4	9,5	9,4	5/fev	30,0	30,0	29,9	30,1	30,0	29,8
6/fev	9,5	9,5	9,5	9,4	9,4	9,5	6/fev	29,6	29,5	29,5	29,4	29,7	29,5
7/fev	8,8	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	7/fev	29,1	29,2	29,2	29,0	29,3	29,4
8/fev	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	8/fev	29,6	29,5	29,6	29,8	29,8	29,9
9/fev	9,2	9,2	9,2	9,1	9,2	9,2	9/fev	29,4	29,4	29,5	29,7	29,8	29,9
10/fev	9,2	9,2	9,2	9,1	9,2	9,2	10/fev	30,2	30,2	30,2	30,5	30,4	30,5
11/fev	9,5	9,6	9,7	9,6	9,6	9,6	11/fev	30,0	30,0	30,0	30,4	30,4	30,4
12/fev	9,6	9,6	9,6	9,5	9,6	9,6	12/fev	29,2	29,2	29,2	29,4	29,4	29,4
13/fev	9,6	9,6	9,7	9,6	9,7	9,7	13/fev	29,5	29,6	29,6	29,9	29,9	29,9
14/fev	9,5	9,7	9,7	9,6	9,6	9,7	14/fev	29,8	29,8	29,9	30,2	30,1	30,2
15/fev	9,6	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	15/fev	29,6	29,6	29,7	29,7	29,8	29,8
16/fev	9,9	9,9	9,9	9,9	10,0	9,9	16/fev	30,3	30,3	30,3	30,6	30,6	30,7
17/fev	9,9	9,9	10,0	9,9	10,0	9,9	17/fev	29,9	29,9	29,9	30,1	30,1	30,1
18/fev	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	18/fev	29,5	29,6	29,6	30,1	30,1	30,2
19/fev	9,9	10,0	10,0	9,9	9,9	9,9	19/fev	29,6	29,6	29,5	29,7	29,5	29,7
20/fev	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	20/fev	29,6	29,6	29,6	30,0	30,0	30,0
21/fev	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	21/fev	29,4	29,4	29,4	29,6	29,5	29,5
23/fev	10,1	10,1	10,2	10,0	10,0	10,0	23/fev	30,3	30,3	30,3	30,5	30,5	30,5
24/fev	10,1	10,1	10,1	9,9	9,9	9,9	24/fev	30,1	29,9	29,9	30,1	30,1	30,1

**TABELA C.5 – Valores brutos coletados para o parâmetro Turbidez (e suas duplicatas de análise) em cada tanque nos pontos de triangulação.**

Data	Turbidez											
	T1.1.1	T1.1.2	T1.2.1	T1.2.2	T1.3.1	T1.3.2	T2.1.1	T2.1.2	T2.2.1	T2.2.2	T2.3.1	T2.3.2
1/fev												
2/fev												
3/fev												
4/fev												
5/fev	6,9	7,4	7,3	7,1	7,2	7,3	7,1	7,0	7,1	7,1	7,4	7,3
6/fev	8,7	8,4	8,2	8,4	8,3	8,4	8,6	8,7	8,8	8,8	8,6	8,4
7/fev	9,9	10,3	10,0	10,2	9,9	10,2	10,8	10,9	10,5	10,4	11,2	11,7
8/fev	13,1	12,8	11,9	12,0	11,6	11,6	12,2	12,4	11,0	11,2	11,6	12,3
9/fev	11,3	11,2	11,0	11,1	11,5	11,3	11,6	11,5	10,7	10,7	11,3	11,0
10/fev	13,2	12,9	13,0	13,1	12,0	11,8	13,1	13,1	12,8	12,5	13,2	12,7
11/fev	13,4	13,7	14,1	14,0	14,9	14,7	13,4	13,3	13,3	13,0	14,7	14,6
12/fev	12,7	12,6	12,7	12,3	12,3	12,3	14,2	14,1	13,1	13,6	14,4	14,1
13/fev	11,4	11,3	11,4	11,6	11,5	11,2	13,0	12,7	11,0	11,1	11,4	11,0
14/fev	12,3	12,0	12,5	12,4	12,5	12,2	15,9	15,4	15,0	14,7	15,5	15,6
15/fev	12,0	12,6	12,6	13,0	11,9	12,0	15,8	16,6	15,8	15,3	15,2	15,1
16/fev	9,9	10,0	10,2	9,9	10,1	9,6	10,9	10,5	10,3	10,2	10,6	10,2
17/fev	12,9	12,8	13,2	13,0	13,2	13,0	15,9	15,9	15,5	15,8	16,1	15,7
18/fev	12,0	11,9	12,3	12,2	12,3	12,0	13,1	13,6	13,5	13,5	13,5	13,7
19/fev	12,4	12,4	12,0	12,2	12,6	12,6	13,5	13,6	12,8	12,7	13,6	13,8
20/fev	15,5	15,6	15,0	15,4	15,1	15,1	15,9	15,7	14,7	14,9	14,7	14,4
21/fev	16,4	16,1	14,4	14,2	16,2	16,6	14,5	14,3	13,6	13,4	14,1	14,0
23/fev	9,8	10,0	9,8	9,7	9,3	9,0	10,2	10,3	9,8	9,7	9,4	9,5

**TABELA C.6 – Dados de economia de água (em litros) na etapa III.**

<b>Data</b>	<b>Acumulativo T01</b>	<b>Acumulativo T02</b>	<b>Economia (litros)</b>
2/fev	6,7	6,8	-0,4
3/fev	12,5	12,8	-5,4
4/fev	20,3	20,7	-8,6
5/fev	27,5	28,1	-10,9
6/fev	32,4	32,7	-5,7
7/fev	37,9	38,2	-7,3
8/fev	44,3	44,9	-10,5
9/fev	50,8	51,0	-3,9
10/fev	56,6	56,2	8,9
11/fev	58,6	58,2	7,7
12/fev	63,4	62,4	20,7
13/fev	68,7	67,6	21,8
14/fev	72,8	71,5	26,1
15/fev	78,2	76,6	32,1
16/fev	82,7	80,9	35,8
17/fev	84,8	82,8	40,5
18/fev	88,8	85,7	62,7
19/fev	91,4	88,7	54,8
20/fev	96,4	93,3	62,1
21/fev	100,4	97,8	52,3
22/fev	101,0	97,9	61,1
23/fev	101,7	98,1	71,2

FIGURA C1 - Teste de hipótese para comparação de médias da turbidez nos pontos 1 e 2 do tanque 02 no terceiro período.

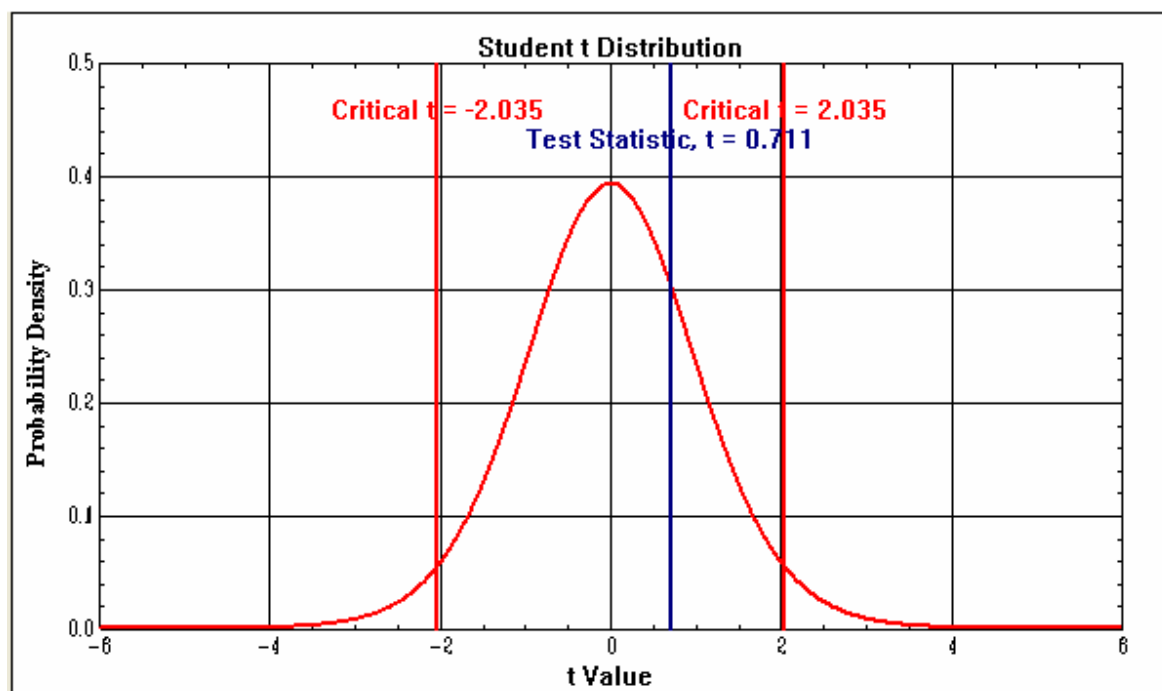
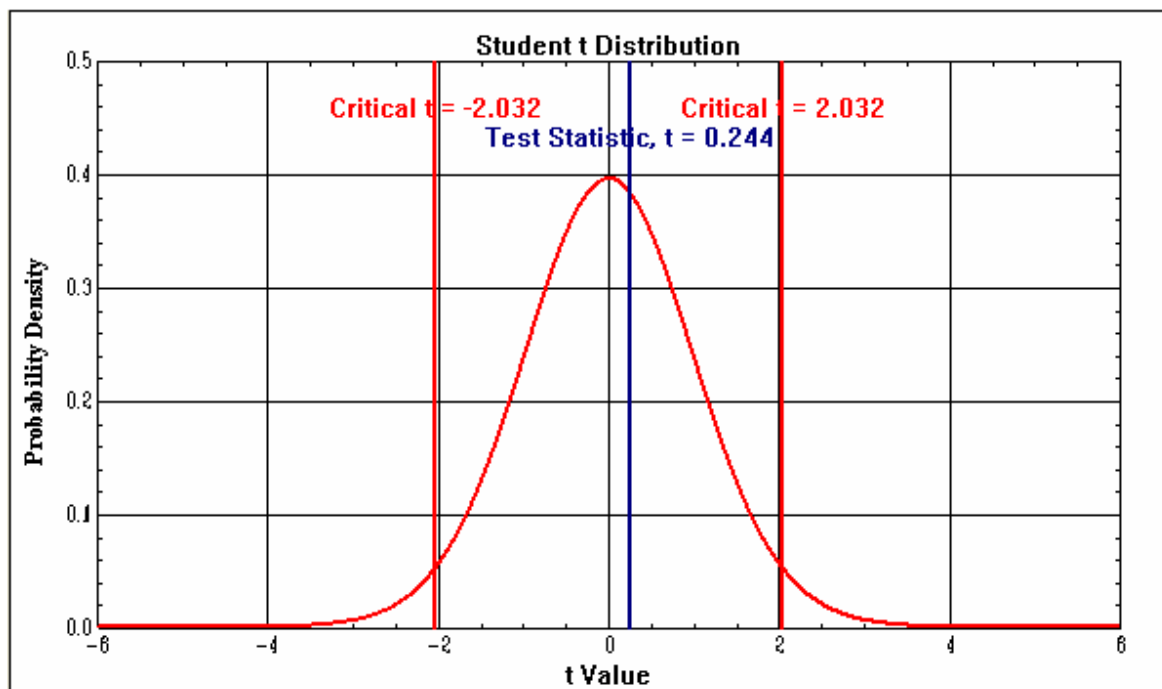
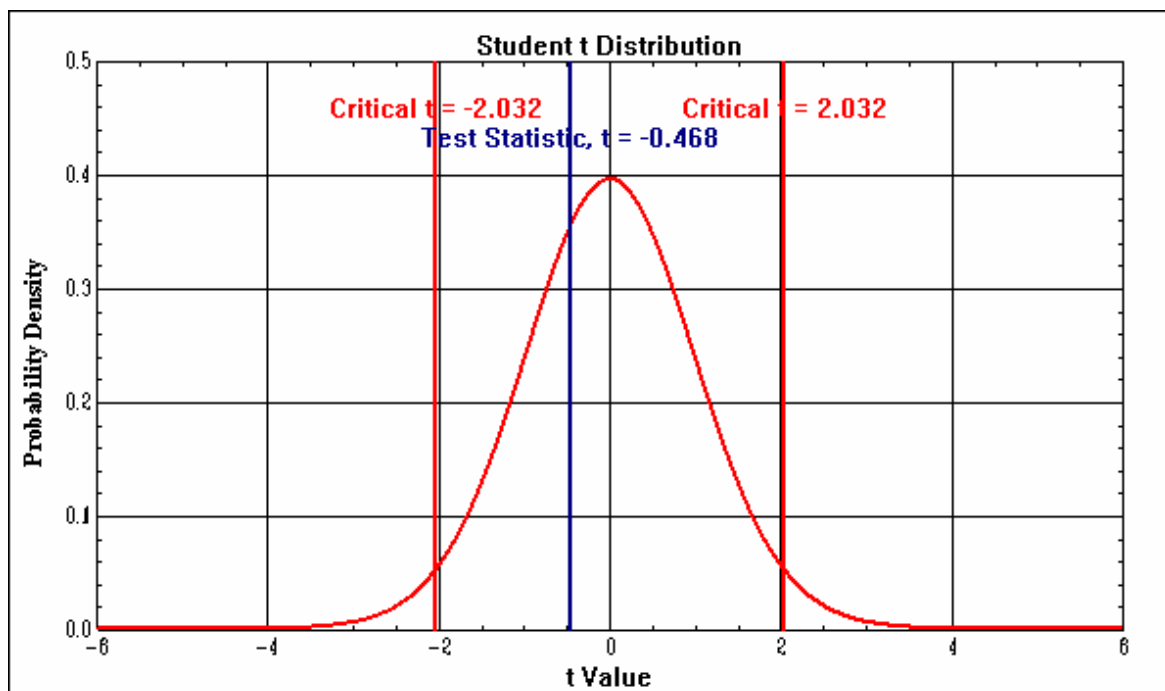


FIGURA C2 - Teste de hipótese para comparação de médias da turbidez nos pontos 1 e 3 do tanque 02 no terceiro período.



**FIGURA C3 - Teste de hipótese para comparação de médias da turbidez nos pontos 2 e 3 do tanque 02 no terceiro período.**



## **APÊNDICE D**

### **Parâmetros microbiológicos**

TABELA D.1 – Lista e características gerais dos táxons encontrados na caracterização do fitoplâncton de cada tanque.

LISTA DE TÁXONS	Valores médios			
	Célula		Colônia	
	Comprimento (µm)	Largura (µm)	Comprimento (µm)	Largura (µm)
<i>Chroococcus</i> cf. <i>obliteratus</i>	4,6	5,6	13,4	15,7
<i>Komvophoron</i> sp	3,1	2,2		
<i>Coelastrum proboscideum</i>	9,1	9,1	23,5	23,5
<b><i>Coelastrum reticulatum</i> var. <i>cubanum</i></b>	8,2	8,2	30,0	30,0
<i>Chamydomonas</i> sp1 (T1)	6,9	5,1		
<i>Chamydomonas</i> sp2 (T1)	8,0	5,8		
<b><i>Ecdysichlamys periphytica</i></b>	9,3	4,6	9,7	8,5
<i>Monoraphidium</i> cf. <i>minutum</i>		1,8		
<i>Oocystis</i> cf. <i>solitaria</i>	20,3	10,0	51,8	23,6
<i>Peridinium umbonatum</i> (T2)	17,0	15,2		
Chlorophyceae 3 (Chorococcales - <i>Chorella</i> ?)	5,2	4,9		
<i>Staurastrum</i> sp	40,0	35,0		

**TABELA D.2 – Contagem (células/mL) dos táxons presentes no tanque 01 nas etapas II e III.**

Células/mL	Contagem de células no tanque 01											
	13-out	17-dez	19-dez	26-dez	2-jan	9-jan	16-jan	23-jan	2-fev	6-fev	13-fev	20-fev
<i>Chroococcus</i> sp	0	0	654	0	0	0	0	0	1.258	2.617	0	0
<i>Komvophorom</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.657	2.617	1.817
<i>Chamydomonas</i> sp1	0	0	0	0	0	0	0	0	314	0	0	0
<i>Chamydomonas</i> sp2	170	0	164	0	0	0	0	0	629	0	0	0
<b><i>Coelastrum reticulatum</i> var. <i>cubanum</i> - CENÓBIOS</b>	75.785	44.977	61.400	29.974	46.230	33.745	24.270	52.299	65.414	28.619	46.171	121.079
<b><i>Coelastrum reticulatum</i> var. <i>cubanum</i> - SINCENÓBIOS</b>	10.262	29.695	1.754	11.622	7.705	14.623	10.618	5.364	13.083	24.040	130.269	282.603
<b><i>Coelastrum reticulatum</i> var. <i>cubanum</i> (totais)</b>	<b>86.047</b>	<b>74.673</b>	<b>63.154</b>	<b>41.596</b>	<b>53.935</b>	<b>48.368</b>	<b>34.887</b>	<b>57.662</b>	<b>78.497</b>	<b>52.658</b>	<b>176.441</b>	<b>403.682</b>
<b>cf. <i>Ecdysichlamys</i> - 1c</b>	170	57.738	69.339	70.013	73.276	50.813	59.015	25.511	37.110	31.072	55.275	36.481
<b>cf. <i>Ecdysichlamys</i> - 2c</b>	0	40.049	34.997	16.694	16.354	9.345	5.688	5.233	137.118	193.626	125.595	51.576
<b><i>Monoraphidium</i> sp</b>	0	0	164	0	0	292	0	0	0	0	2.944	9.435
<i>Oocystis</i> cf. <i>marssonii</i>	511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chlorophyceae 3	3.066	3.671	0	1.363	0	876	0	0	3.774	654	0	314
<i>Staurastrum</i> sp	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>176.182</b>	<b>250.804</b>	<b>231.625</b>	<b>171.263</b>	<b>197.500</b>	<b>158.062</b>	<b>134.478</b>	<b>146.070</b>	<b>337.197</b>	<b>334.942</b>	<b>539.311</b>	<b>906.987</b>

**TABELA D.3 – Contagem (células/mL) dos táxons presentes no tanque 02 nas etapas II e III.**

<b>Contagem de células no tanque T2</b>												
<b>Células/mL</b>	<b>13-out</b>	<b>17-dez</b>	<b>19-dez</b>	<b>26-dez</b>	<b>2-jan</b>	<b>9-jan</b>	<b>16-jan</b>	<b>23-jan</b>	<b>2-fev</b>	<b>6-fev</b>	<b>13-fev</b>	<b>20-fev</b>
<i>Chroococcus cf. obliteratus</i>	0	0	0	0	0	0	419	0	0	0	981	0
<i>Komvophorum</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.129
<i>Peridinium cf. umbonatum</i>	0	167	0	248	467	372	0	256	0	962	0	0
<i>Coelastrum proboscideum</i>	0	0	0	0	0	1.487	0	0	0	0	0	0
<b><i>Coelastrum reticulatum</i> var. <i>cubanum</i> - CENÓBIOS</b>	7.495	18.330	22.847	26.123	16.566	29.238	34.787	30.313	55.751	45.790	68.685	153.119
<b><i>Coelastrum reticulatum</i> var. <i>cubanum</i> - SINCENÓBIOS</b>	0	9.311	0	7.256	0	3.655	8.185	9.226	66.901	112.713	88.922	278.399
<b><i>Coelastrum reticulatum</i> var. <i>cubanum</i> - TOTAL</b>	<b>7.495</b>	<b>27.641</b>	<b>22.847</b>	<b>33.380</b>	<b>16.566</b>	<b>32.893</b>	<b>42.972</b>	<b>39.539</b>	<b>122.651</b>	<b>158.503</b>	<b>157.607</b>	<b>431.519</b>
<b><i>Ecdysichlamys</i> - 1c</b>	27.426	15.352	7.696	8.672	4.439	2.973	6.919	2.811	23.622	23.087	50.984	15.445
<b><i>Ecdysichlamys</i> - 2c</b>	9.540	16.020	8.177	991	4.672	2.602	1.677	0	148.999	186.622	132.752	9.085
<b><i>Ecdysichlamys cf. periphytica</i></b>	<b>36.966</b>	<b>31.372</b>	<b>15.873</b>	<b>9.663</b>	<b>9.111</b>	<b>5.575</b>	<b>8.596</b>	<b>2.811</b>	<b>172.620</b>	<b>209.710</b>	<b>183.736</b>	<b>24.530</b>
<b><i>Monoraphidium</i> sp</b>	1.192	10.513	13.949	13.628	44.388	17.654	23.482	49.061	0	962	962	909
<i>Oocystis cf. marssonii</i>	170	501	240	496	467	0	1.468	767	0	0	0	0
Chlorophyceae 3	2.044	7.176	9.860	3.964	1.869	2.602	419	1.789	0	0	0	0
<i>Staurastrum</i> sp	0	0	0	0	0	186	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>92.329</b>	<b>136.382</b>	<b>101.488</b>	<b>104.422</b>	<b>98.546</b>	<b>99.236</b>	<b>128.924</b>	<b>136.571</b>	<b>590.543</b>	<b>738.350</b>	<b>684.630</b>	<b>916.135</b>

**TABELA D.4 – Totais em células/mL e indivíduos/mL nos tanques para as etapas II e III**

Indivíduos/mL	13-out	17-dez	19-dez	26-dez	2-jan	9-jan	16-jan	23-jan	2-fev	6-fev	13-fev	20-fev
TOTAL - T1	20.953	94.617	104.662	89.093	95.291	66.290	68.258	41.538	124.224	139.659	141.948	111.644
TOTAL - T2	36.795	45.890	40.403	32.211	57.004	31.592	40.884	60.815	111.749	136.119	136.927	67.685

Células/mL	13-out	17-dez	19-dez	26-dez	2-jan	9-jan	16-jan	23-jan	2-fev	6-fev	13-fev	20-fev
TOTAL - T1	89.624	176.131	168.471	129.667	143.565	109.694	99.591	88.407	258.700	282.283	362.871	503.305
TOTAL - T2	47.868	77.369	62.769	61.379	72.869	60.768	77.356	94.221	295.272	370.137	343.287	460.087

**TABELA D.5 – Contagem da espécie *Ecdysichlamys periphytica* com determinação das margens de erro para um intervalo de confiança de 95% na etapa I.**

Intervalos com 95% de confiança	13-out		17-dez		19-dez		26-dez		2-jan		9-jan		16-jan		23-jan	
1 cél.	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Limite superior	511	31.749	63.946	18.553	76.074	10.417	76.920	11.604	82.877	6.475	58.517	4.460	68.176	9.328	31.289	4.506
Limite inferior	0	23.103	51.530	12.151	62.604	4.975	63.106	5.741	63.675	2.402	43.108	1.487	49.854	4.510	19.734	1.116
Estimativa do nº de células	170	27.426	57.738	15.352	69.339	7.696	70.013	8.672	73.276	4.439	50.813	2.973	59.015	6.919	25.511	2.811
Contados	1	161	346	92	424	32	411	35	233	19	174	16	166	33	78	11
ERRO	2,00	0,16	0,11	0,21	0,10	0,35	0,10	0,34	0,13	0,46	0,15	0,50	0,16	0,35	0,23	0,60

Intervalos com 95% de confiança	13-out		17-dez		19-dez		26-dez		2-jan		9-jan		16-jan		23-jan	
2 cél.	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Limite superior	0	13.145	47.361	20.644	41.763	12.143	21.464	2.393	22.768	7.628	14.017	4.568	9.710	3.355	8.933	0
Limite inferior	0	5.934	32.737	11.395	28.230	4.210	11.924	-411	9.939	1.717	4.672	635	1.666	0	1.533	0
Estimativa do nº de células	0	9.540	40.049	16.020	34.997	8.177	16.694	991	16.354	4.672	9.345	2.602	5.688	1.677	5.233	0
Contados	0	28	120	48	107	17	49	2	26	10	16	7	8	4	8	0
ERRO	0,00	0,38	0,18	0,29	0,19	0,49	0,29	1,41	0,39	0,63	0,50	0,76	0,71	1,00	0,71	0,00

Intervalos com 95% de confiança	13-out		17-dez		19-dez		26-dez		2-jan		9-jan		16-jan		23-jan	
SOMA	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Limite superior	511	42.343	106.847	36.675	113.391	20.408	94.793	12.841	100.768	12.495	68.886	7.900	74.513	11.422	37.375	4.506
Limite inferior	0	31.588	88.727	26.069	95.280	11.338	78.622	6.486	78.491	5.727	51.429	3.250	54.893	5.770	24.114	1.116
Estimativa do nº de células	170	36.966	97.787	31.372	104.335	15.873	86.708	9.663	89.630	9.111	60.158	5.575	64.703	8.596	30.745	2.811
Contados	1	189	466	140	531	49	460	37	259	29	190	23	174	37	86	11
ERRO	2,00	0,15	0,09	0,17	0,09	0,29	0,09	0,33	0,12	0,37	0,15	0,42	0,15	0,33	0,22	0,60

TABELA D.6 – Contagem da espécie *Ecdysichlamys periphytica* com determinação das margens de erro para um intervalo de confiança de 95% na etapa II.

Intervalos com 95% de confiança	2-fev		6-fev		13-fev		20-fev	
1 cél.	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Limite superior	43.942	30.173	37.447	29.752	63.779	60.889	43.255	20.743
Limite inferior	30.277	17.070	24.696	16.423	46.771	41.080	29.707	10.147
Estimativa do nº de células	37.110	23.622	31.072	23.087	55.275	50.984	36.481	15.445
Contados	118	52	95	48	169	106	116	34
ERRO	0,18	0,28	0,21	0,29	0,15	0,19	0,19	0,34

Intervalos com 95% de confiança	2-fev		6-fev		13-fev		20-fev	
2 cél.	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Limite superior	155.691	172.268	216.134	213.420	143.723	155.353	62.968	14.831
Limite inferior	118.544	125.729	171.117	159.825	107.467	110.151	40.185	3.339
Estimativa do nº de células	137.118	148.999	193.626	186.622	125.595	132.752	51.576	9.085
Contados	218	164	296	194	192	138	82	10
ERRO	0,14	0,16	0,12	0,14	0,14	0,17	0,22	0,63

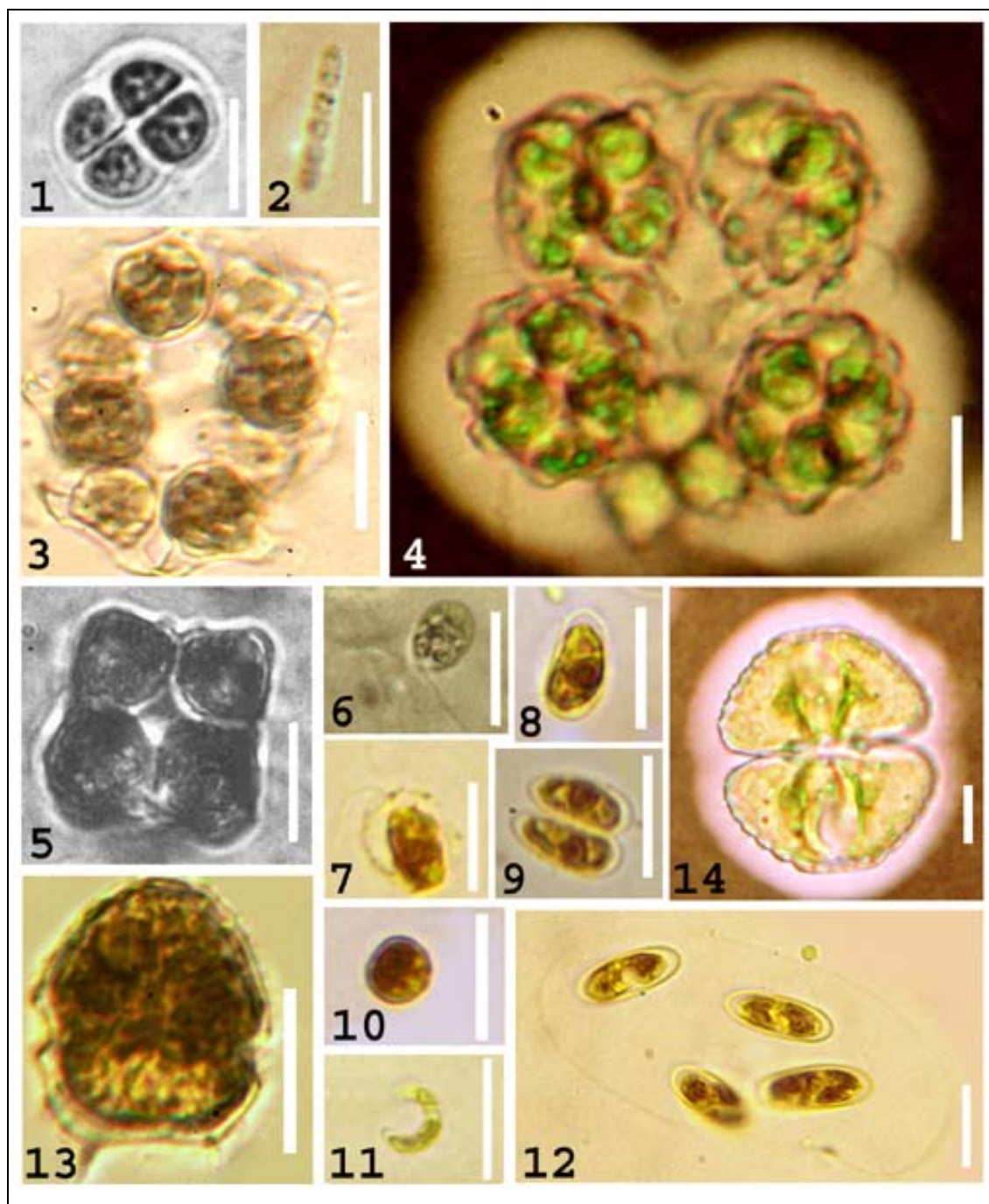
Intervalos com 95% de confiança	2-fev		6-fev		13-fev		20-fev	
SOMA	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Limite superior	193.238	196.111	247.424	236.671	199.909	207.262	100.573	31.926
Limite inferior	155.218	149.130	201.970	182.748	161.831	160.211	75.541	17.134
Estimativa do nº de células	174.228	172.620	224.697	209.710	180.870	183.736	88.057	24.530
Contados	336	216	391	242	361	244	198	44
ERRO	0,11	0,14	0,10	0,13	0,11	0,13	0,14	0,30

**TABELA D.7 – Contagem da espécie *Coelastrum reticulatum* var. *cubanum* com determinação das margens de erro para um intervalo de confiança de 95% nas etapas II e III.**

Intervalos com 95% de confiança	17-dez		19-dez		26-dez		2-jan		9-jan		16-jan		23-jan	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Limite superior	91.475	38.697	75.422	33.330	52.814	48.695	70.197	25.755	65.208	44.175	51.334	57.296	75.673	55.681
Limite inferior	57.870	16.585	50.886	12.364	30.378	18.064	37.673	7.377	31.529	21.611	18.441	28.648	39.652	23.397
Estimativa do nº de células	74.673	27.641	63.154	22.847	41.596	33.380	53.935	16.566	48.368	32.893	34.887	42.972	57.662	39.539
Contados	79	25	106	19	55	19	44	13	33	34	18	36	41	24
ERRO	0,2	0,4	0,2	0,5	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4

Intervalos com 95% de confiança	2-fev		6-fev		13-fev		20-fev	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Limite superior	102.438	167.437	71.574	212.087	221.998	208.741	476.479	517.822
Limite inferior	54.556	77.865	33.743	104.919	130.884	106.473	330.884	345.215
Estimativa do nº de células	78.497	122.651	52.658	158.503	176.441	157.607	403.682	431.519
Contados	43	30	31	35	60	38	123	100
ERRO	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2

FIGURA D1 - Imagens dos táxons encontrados no estudo do fitoplâncton.



Prancha I: Fig. 1 - *Chroococcus* cf. *obliteratus*; Fig. 2 - *Komvophorom* sp; Figs. 3 e 4 - *Coelastrum reticulatum* var. *cubanum* – cenóbio e sincenóbio, respectivamente; Fig. 5 - *Coelastrum proboscideum*; Fig. 6 - *Chamydomonas* sp1; Fig. 7 - *Chamydomonas* sp2; Fig. 8 e 9 - *Ecdysichlamys periphytica*, forma solitária e colonial, respectivamente; Fig. 10 - *Chorella* sp.; Fig. 11 - *Monoraphidium* cf. *minutum*; Fig. 12 - *Oocystis* cf. *solitária*; Fig. 13 - *Peridinium* cf. *umbonatum*; Fig. 14 - *Staurastrum* sp.

**TABELA D8 - Resumo dos táxons encontrados durante a quantificação.**

<b><i>Chroococcus cf. obliteratus</i></b>	
<b><i>Komvophorom sp</i></b>	
<b><i>Coelastrum proboscideum</i></b>	Espécie tropical, compõe o plancton ou perifiton de reservatórios meso a eutróficos e alcalinos.
<b><i>Coelastrum reticulatum var. cubanum</i></b>	Ocorre nos trópicos, em reservatórios de meso a eutróficos.
<b><i>Chamydomonas sp1 (só T1*)</i></b>	
<b><i>Chamydomonas sp2 (só T1)</i></b>	
<b><i>Chorella sp. (Chlorophyceae 3)</i></b>	
<b><i>Ecdysichlamys periphytica</i></b>	Primeiro registro de ocorrência em Cuba.
<b><i>Monoraphidium cf. minutum</i></b>	Táxon cosmopolita, mas freqüente nos trópicos, tanto no plancton quanto no perifiton e em reservatórios alcalinos.
<b><i>Oocystis cf. solitaria</i></b>	
<b><i>Peridinium cf. umbonatum (só T2*)</i></b>	
<b><i>Staurastrum sp</i></b>	

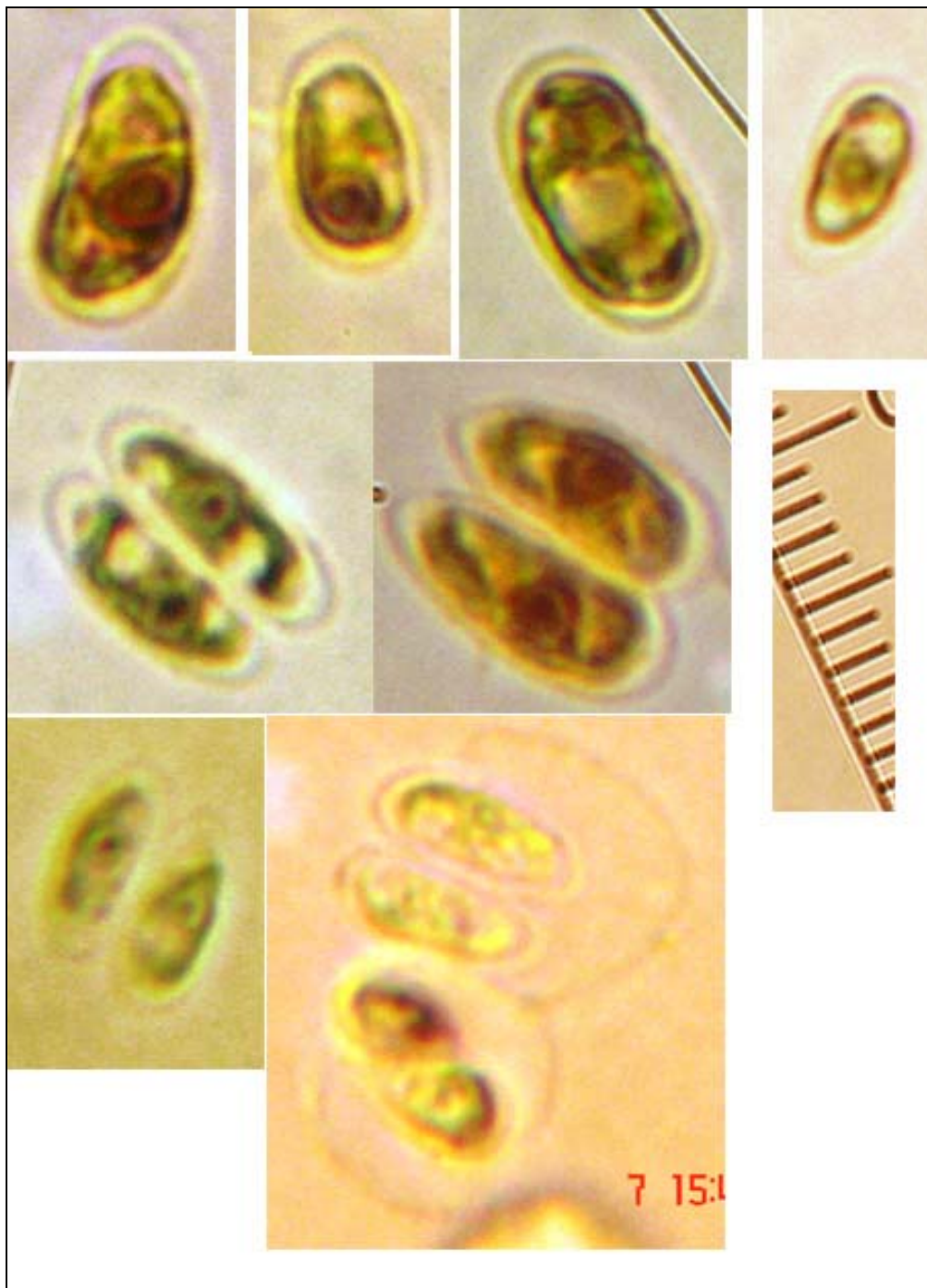
Obs.: T1 e T2 referem-se, respectivamente, aos tanques de evaporação 1 e 2.

**Tabela D9 - Valores médios para as medidas aferidas para cada população.**

	Célula Comprimento (µm)	Largura (µm)	Colônia Comprimento (µm)	Largura (µm)	Estruturas especiais	
Valores médios						
<i>Chroococcus cf. obliteratus</i>	4,6	5,6	13,4	15,7		
<i>Komvophorom sp</i>	3,1	2,2				
<i>Coelastrum proboscideum</i>	9,1	9,1	23,5	23,5	9,9	Altura
<b><i>Coelastrum reticulatum var. cubanum</i></b>	<b>8,2</b>	<b>8,2</b>	<b>30,0</b>	<b>30,0</b>	<b>7,6</b>	<b>Altura</b>
<i>Chamydomonas sp1 (T1)</i>	6,9	5,1				
<i>Chamydomonas sp2 (T1)</i>	8,0	5,8				
<b><i>Ecdysichlamys periphytica</i></b>	<b>9,3</b>	<b>4,6</b>	<b>9,7</b>	<b>8,5</b>		
<i>Monoraphidium cf. minutum</i>		1,8			5,9	Espiral
<i>Oocystis cf. solitaria</i>	20,3	10,0	51,8	23,6		
<i>Peridinium cf. umbonatum (T2)</i>	17,0	15,2			3,0	Espinho > e espinho <
Chlorophyceae 3 - <i>Chorella</i> ?	5,2	4,9				
<i>Staurastrum sp</i>	40,0	35,0				

***Ecdysichlamys periphytica*** – Células principalmente solitárias na primeira fase do experimento e principalmente em colônias de duas células, na segunda fase do experimento (ver Tabelas 3 e 4). Células elipsoidais a ovais, quase sempre assimétricas; com espessamentos em ambos os ápices; sem mucilagem; cloroplasto parietal lobado, com pirenóide. Sempre dois autósporos, liberando-se por rompimento da parede celular materna, a qual alarga-se antes de romper. Dimensões celulares: 8,3-9,8µm comp. X 4,2-5,0µm larg (n=5). Encontrado compondo o plâncton de tanques artificiais com ca. de 3m de diâmetro e 2m de profundidade.

FIGURA D2 - Fotos de *Ecdysichlamys periphytica*.



## **APÊNDICE E**

### **Valores críticos do coeficiente de correlação de Pearson**

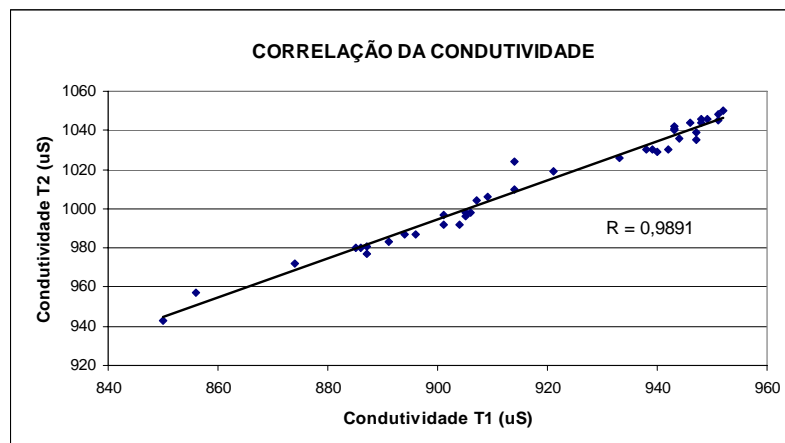
**TABELA E1 - Valores críticos do coeficiente de correlação de Pearson R.**

<b>n</b>	<b><math>\alpha = 0,05</math></b>	<b><math>\alpha = 0,01</math></b>
4	0,950	0,999
5	0,878	0,959
6	0,811	0,917
7	0,754	0,875
8	0,707	0,834
9	0,666	0,798
10	0,632	0,765
11	0,602	0,735
12	0,576	0,708
13	0,553	0,684
14	0,532	0,661
15	0,514	0,641
16	0,497	0,623
17	0,482	0,606
18	0,468	0,590
19	0,456	0,575
20	0,444	0,561
25	0,396	0,505
30	0,361	0,463
35	0,335	0,430
40	0,312	0,402
45	0,294	0,378
50	0,279	0,361
60	0,254	0,330
70	0,236	0,305
80	0,220	0,286
90	0,207	0,269
100	0,196	0,256

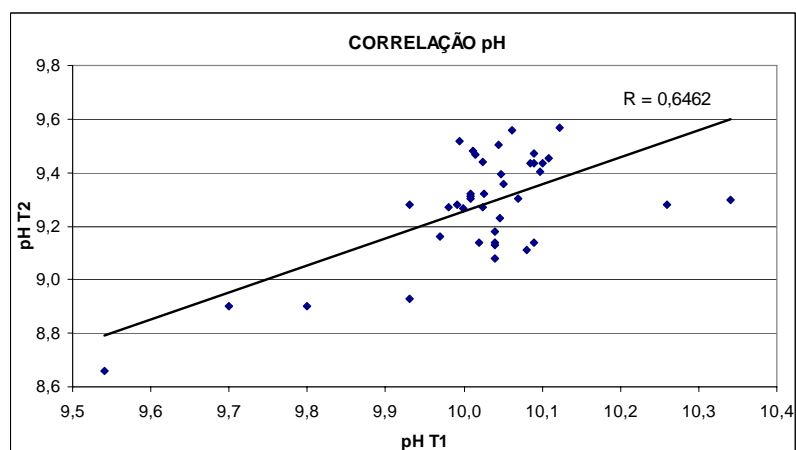
## **APÊNDICE F**

**Correlações entre os fatores bióticos e abióticos nos dois períodos.**

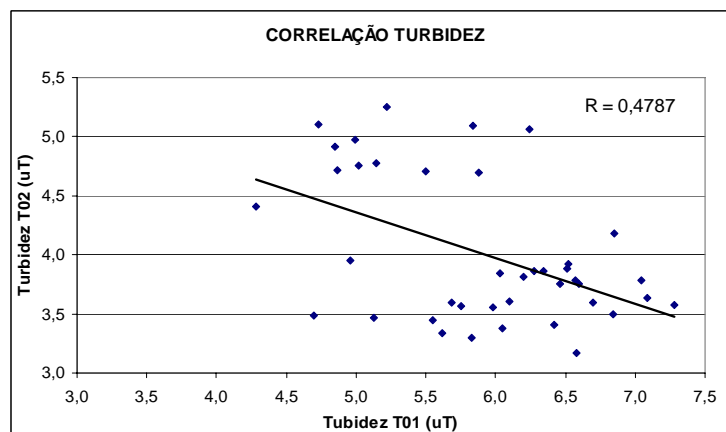
**FIGURA F1 - Correlação entre as condutividades dos tanques no período II.**



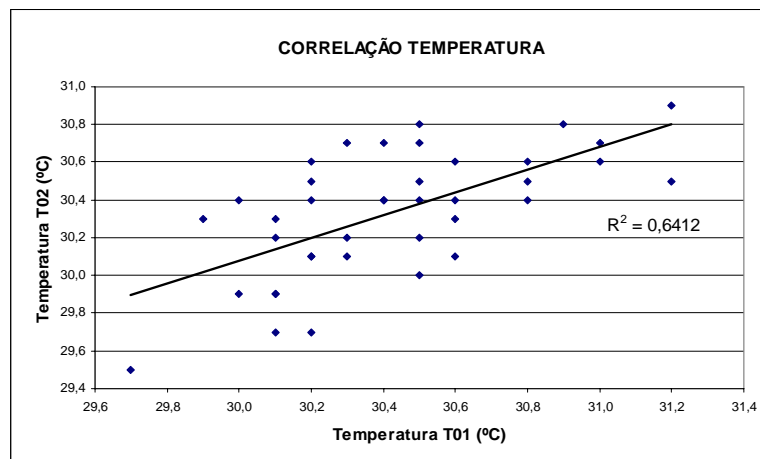
**FIGURA F2 - Correlação entre o pH dos tanques no período II.**



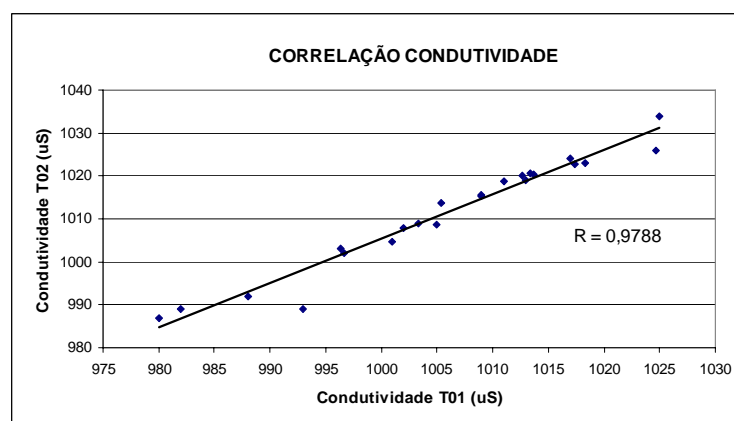
**FIGURA F3 - Correlação entre a turbidez dos tanques no período II.**



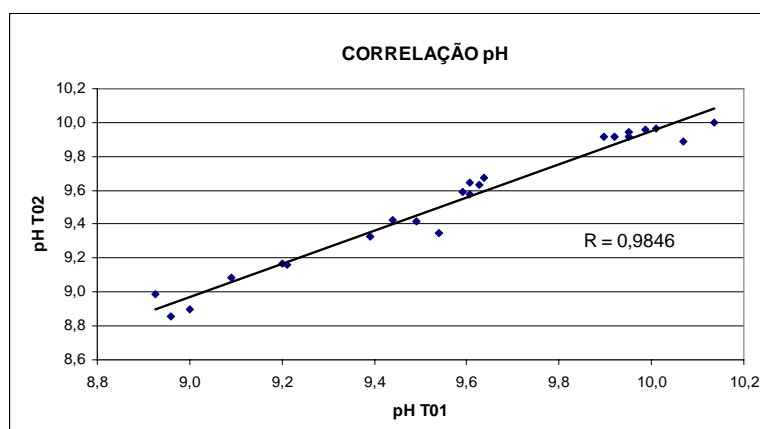
**FIGURA F4 - Correlação entre a temperatura dos tanques no período II.**



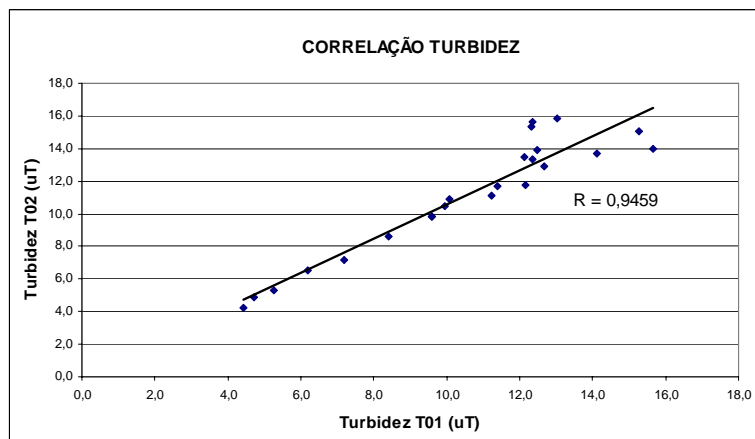
**FIGURA F5 - Correlação entre a condutividade dos tanques no período III.**



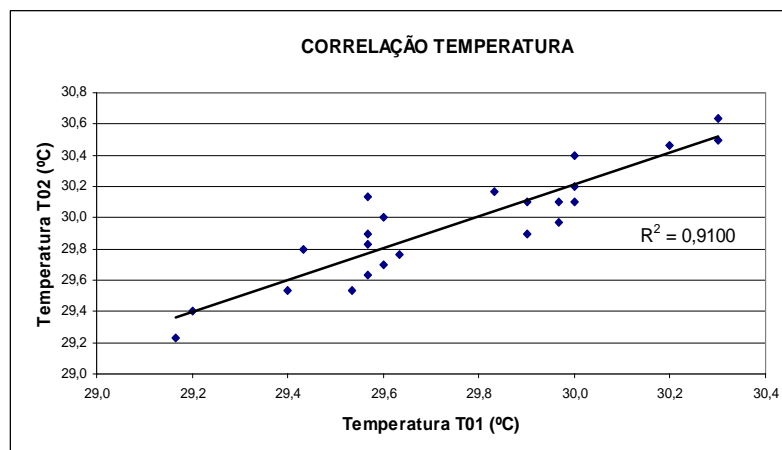
**FIGURA F6 - Correlação entre o pH dos tanques no período III.**



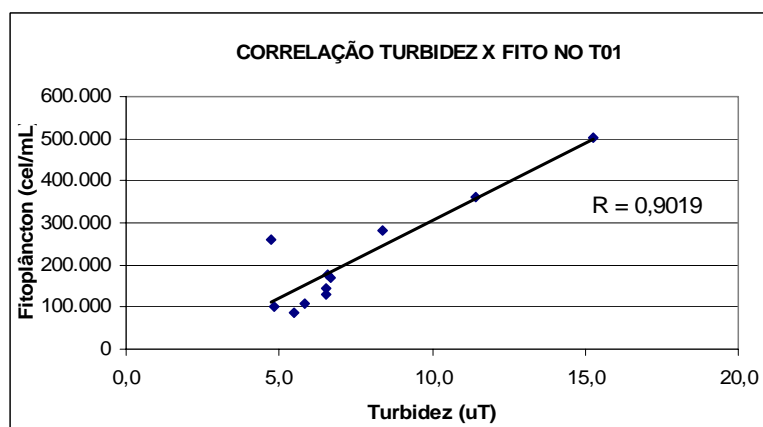
**FIGURA F7 - Correlação entre a Turbidez dos tanques no período III.**



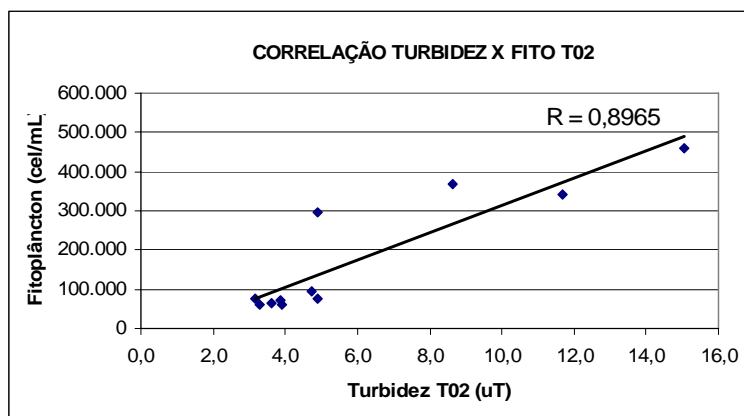
**FIGURA F8 - Correlação entre a Temperatura dos tanques no período III.**



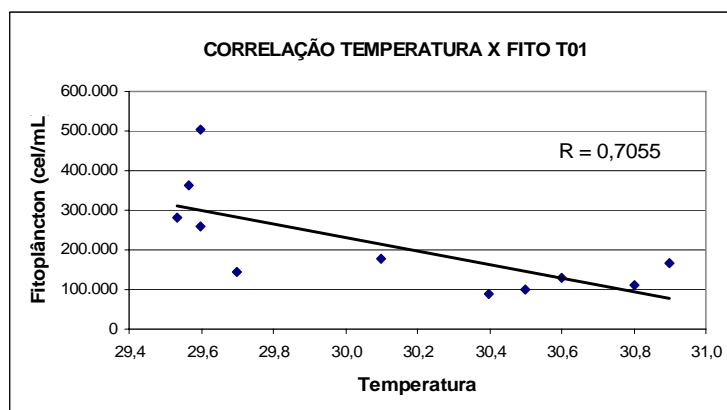
**FIGURA F9 - Correlação entre a Turbidez e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 01.**



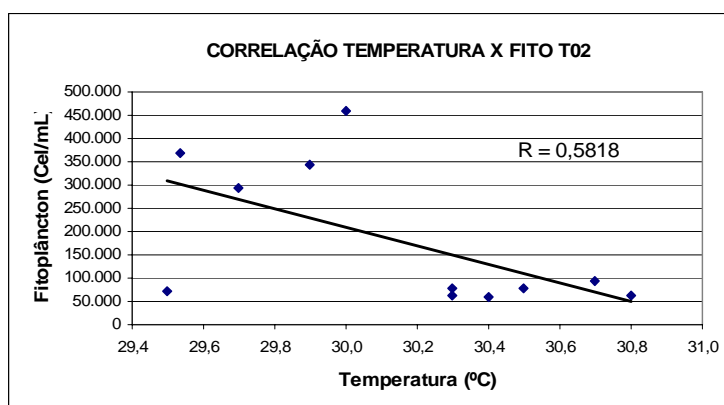
**FIGURA F10 - Correlação entre a Turbidez e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 02.**



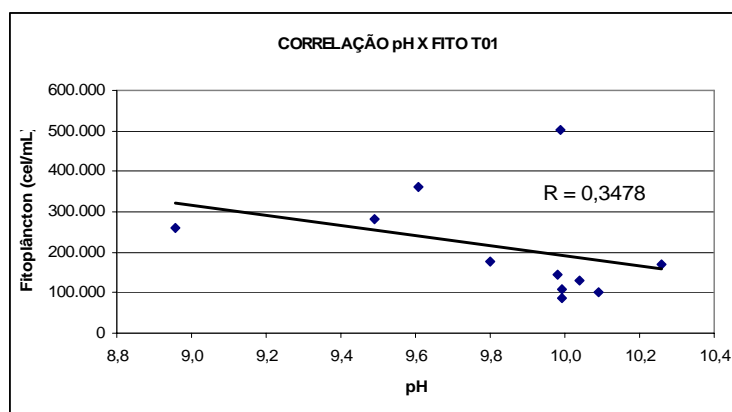
**FIGURA F11 - Correlação entre a Temperatura e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 01.**



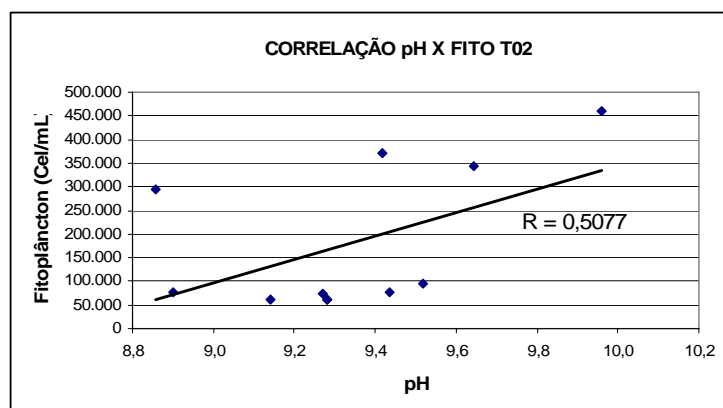
**FIGURA F12 - Correlação entre a Temperatura e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 02.**



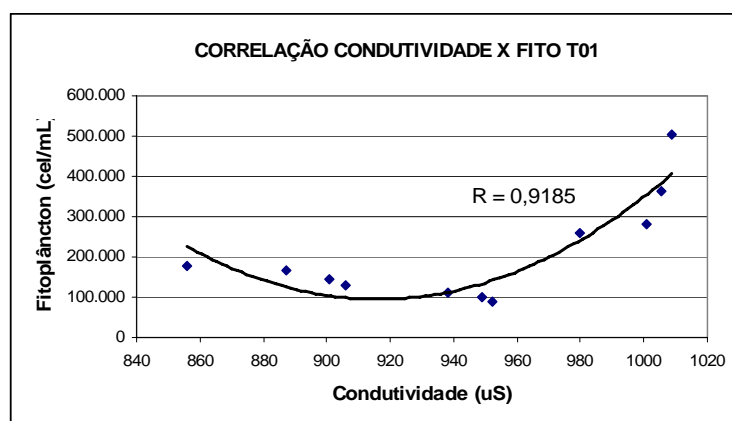
**FIGURA F13 - Correlação o pH e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 01.**



**FIGURA F14 - Correlação o pH e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 02.**



**FIGURA F15 - Correlação entre a condutividade e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 01.**



**FIGURA F16 - Correlação entre a condutividade e a contagem de fitoplâncton (cel/mL) no Tanque 02.**

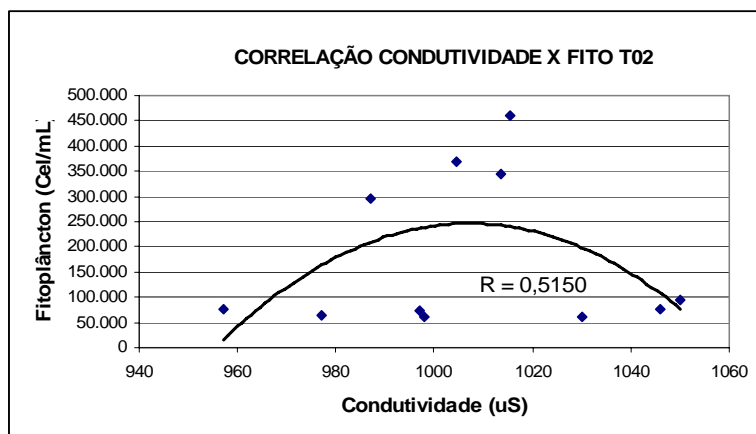


FIGURA F17 - Relação entre a turbidez (uT) e o fitoplâncton (cel/mL) para os dois tanques.

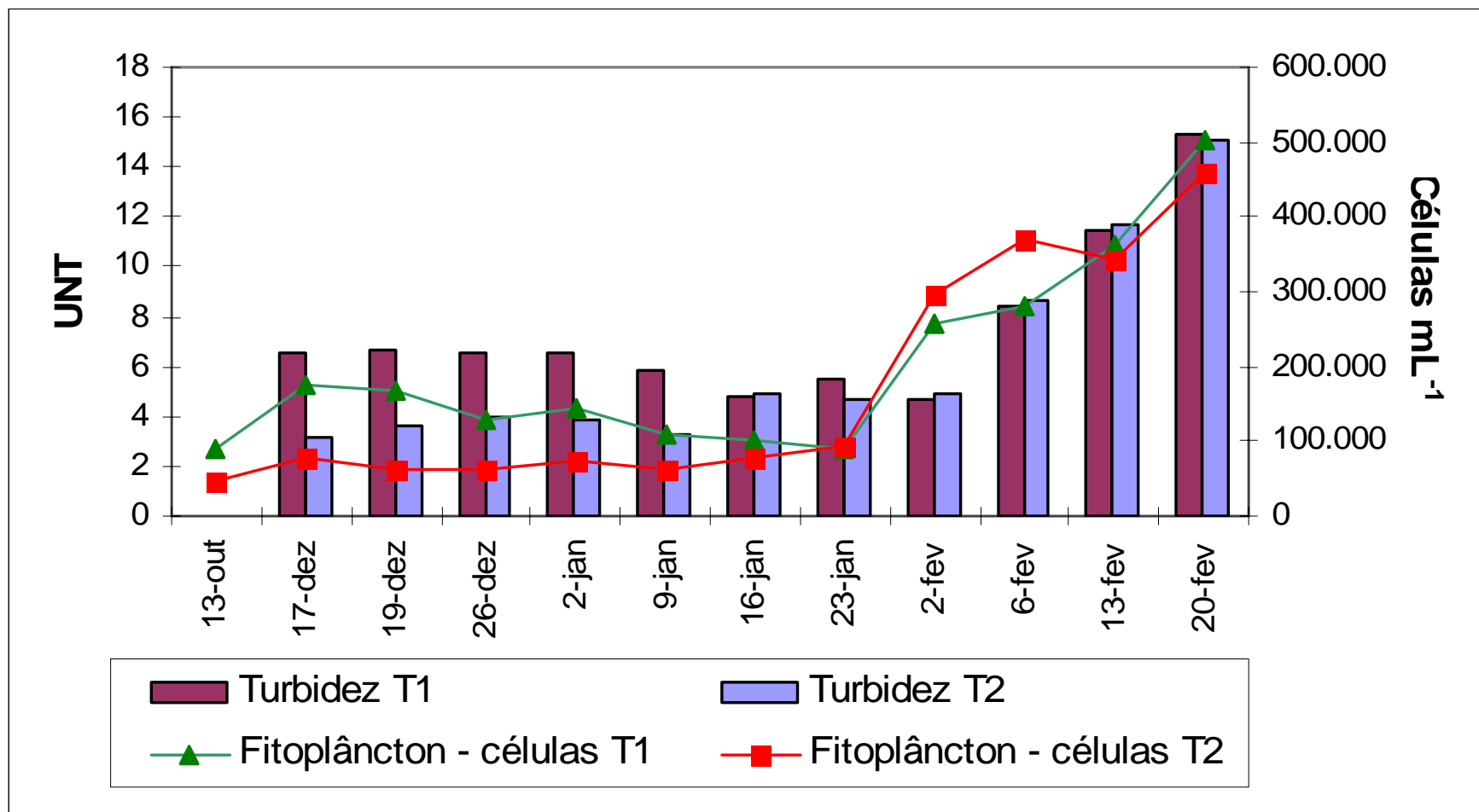


FIGURA F18 - Relação entre o pH e o fitoplâncton (cel/mL) para os dois tanques.

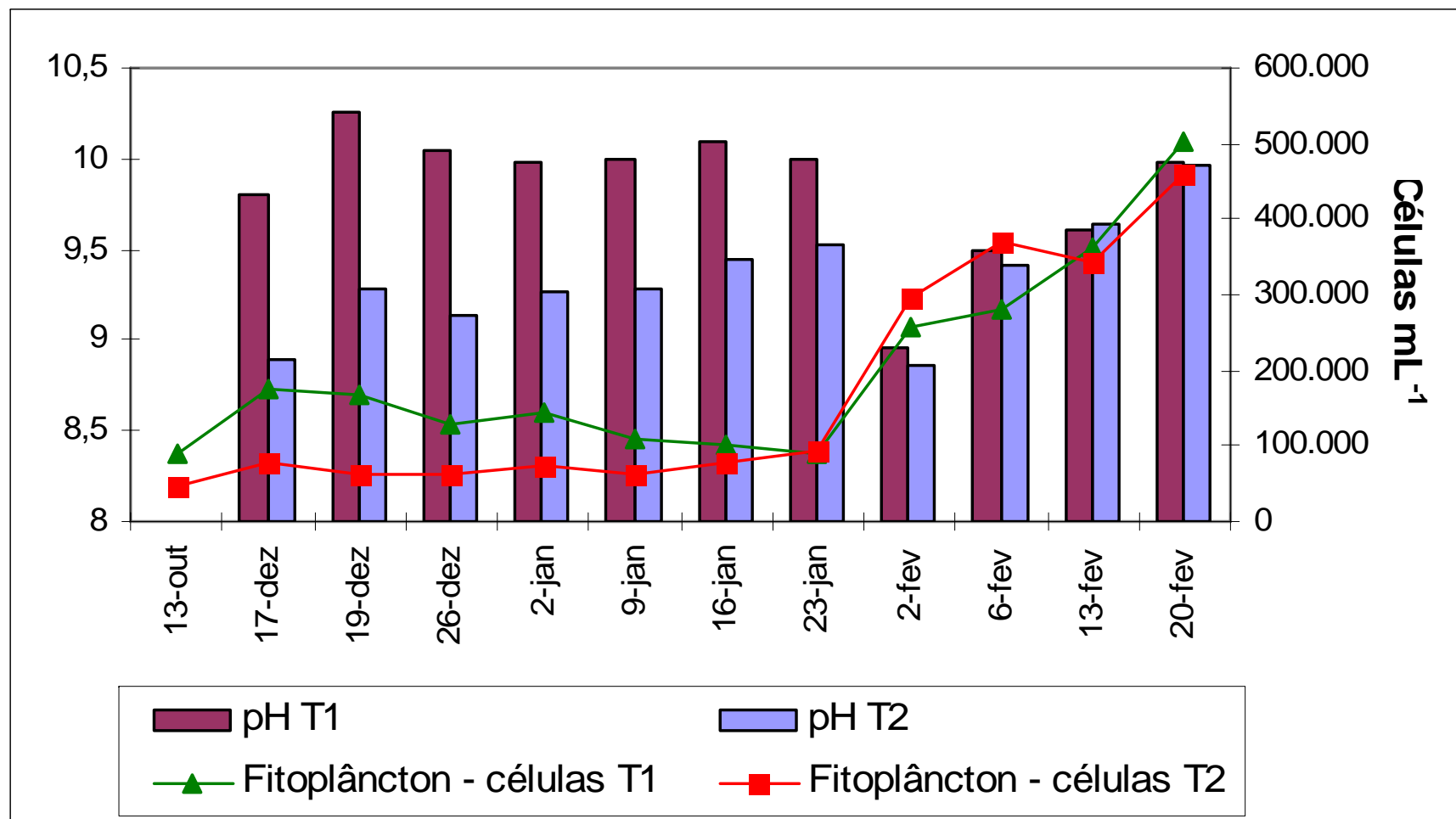


FIGURA F19 - Relação entre a condutividade (uS) e o fitoplâncton (cel/mL) para os dois tanques.

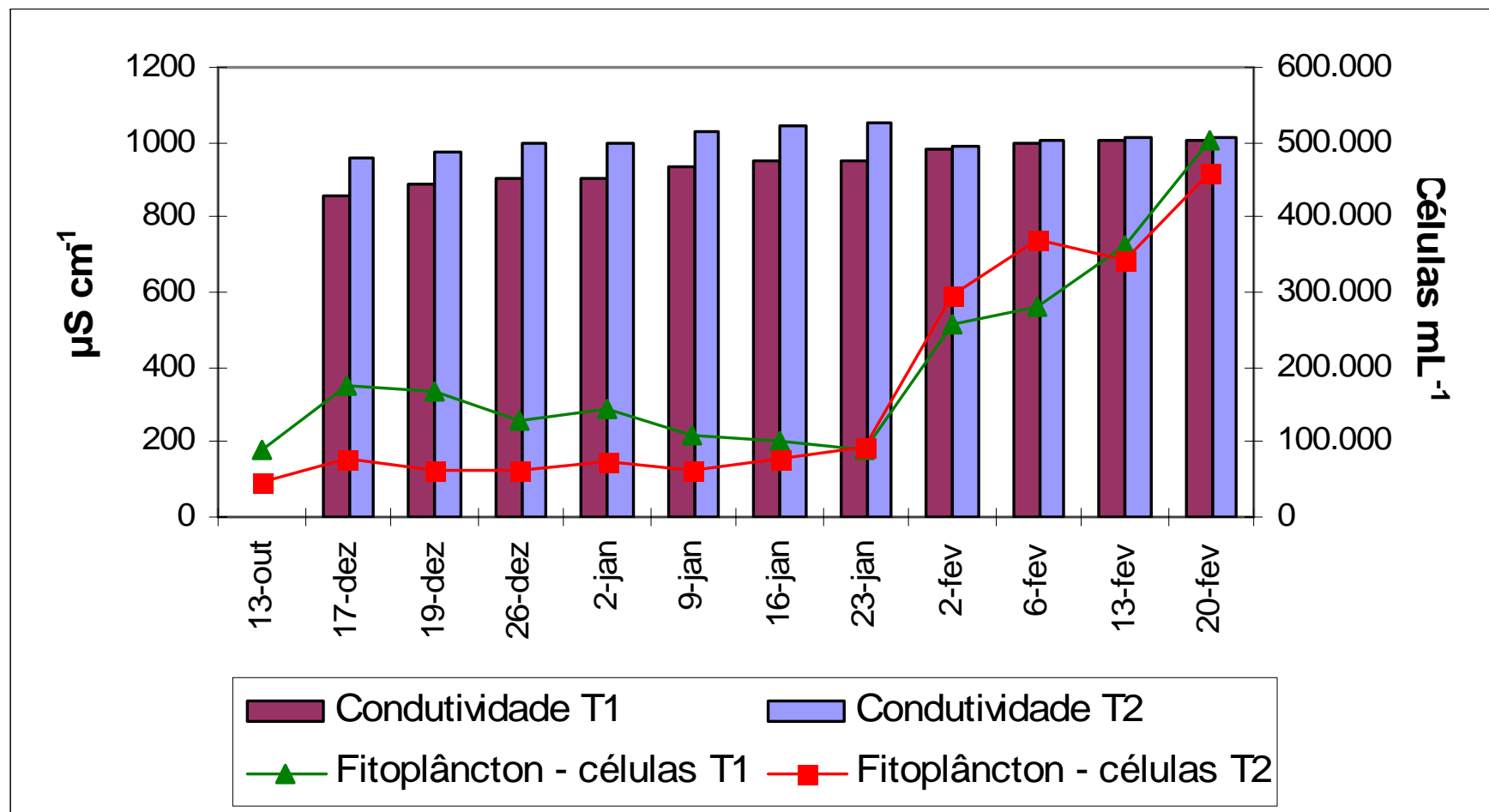
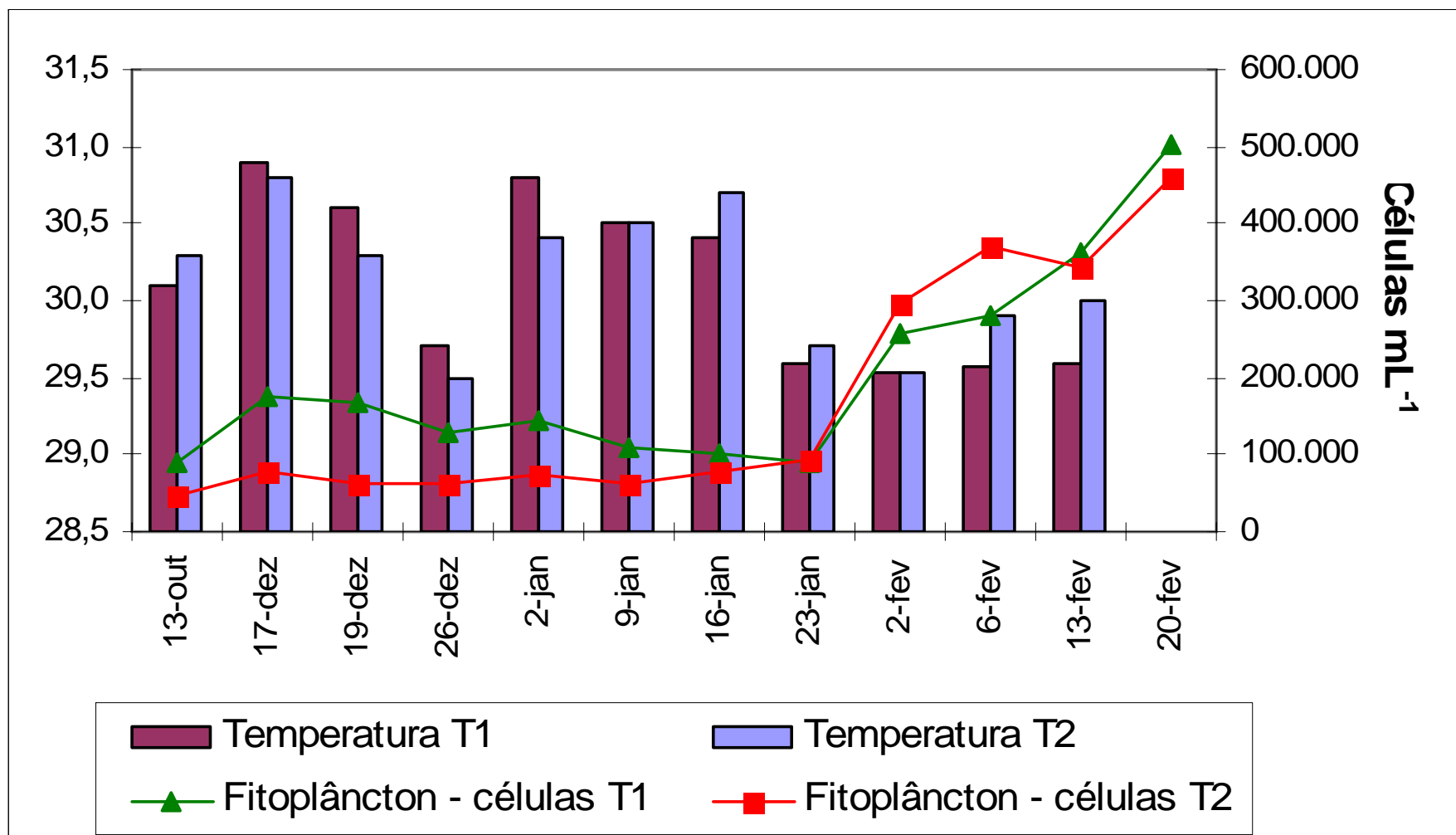


FIGURA F20 - Relação entre a temperatura (°C) e o fitoplâncton (cel/mL) para os dois tanques.



## **APÊNDICE G**

**Dados abióticos coletados em perfis diferenciados e tabelas da avaliação fúngica e bacteriológica.**

**TABELA G1 - Dados abióticos coletados em diferentes perfis nos dois tanques.**

Coleta realizada dia 04 de outubro as 10:00

**Tanque 01**

Salinidade	0,2	ppm
Temperatura	30,34	°C
Condutividade	361	µS
Turbidez	0,9	uT

Coluna (cm)	OD (%)	OD (mg/L)	T (°C)	pH
Superfície	111,1	8,33	30,4	9,27
50	109,2	8,19	30,4	9,26
100	110,3	8,26	30,3	9,18
150	110	8,25	30,3	9,08
200	110,5	8,32	30,3	9,08

**Tanque 02**

Salinidade	0,2	ppm
Temperatura	29,94	°C
Condutividade	354	µS
Turbidez	0,9	uT

Coluna (cm)	OD (%)	OD (mg/L)	T (°C)	pH
Superfície	119,2	9	30	9,37
50	118,1	8,89	30	9,34
100	120,5	9,07	29,9	9,28
150	120,3	9,09	29,9	9,18
200	118,5	8,98	29,9	9,1

Coleta realizada dia 11 de outubro as 08:00

**Tanque 01**

Salinidade	0,2	ppm
Temperatura	30,58	°C
Condutividade	354	µS
Turbidez	0,6	uT

Coluna (cm)	OD (%)	OD (mg/L)	T (°C)	pH
Superfície	122,2	9,13	30,6	9,39
50	121,8	9,1	30,6	9,4
100	121,8	9,07	30,6	9,38
150	120,4	8,89	30,5	9,35
200	120,2	8,97	30,6	9,32

**Tanque 02**

Salinidade	0,2	ppm
Temperatura	30,04	°C
Condutividade	377	µS
Turbidez	0,9	uT

Coluna (cm)	OD (%)	OD (mg/L)	T (°C)	pH
Superfície	121,7	9,17	30,1	9,2
50	120,4	9,08	30,1	9,07
100	119,5	9	30	9,11
150	120	9,04	30	9,1
200	119,2	8,99	30	9,09

Coleta realizada dia 20 de outubro as 08:00

**Tanque 01**

Salinidade	0,2	ppm
Temperatura	30,88	°C
Condutividade	328	µS
Turbidez	1,1	uT

Coluna (cm)	OD (%)	OD (mg/L)	T (°C)	pH
Superfície	128,5	9,55	30,8	9,33
50	129,2	9,62	30,9	9,35
100	129,5	9,67	30,9	9,34
150	129,1	9,63	30,9	9,31
200	130,2	9,73	30,9	9,31

**Tanque 02**

Salinidade	0,2	ppm
Temperatura	30,22	°C
Condutividade	404	µS
Turbidez	1,2	uT

Coluna (cm)	OD (%)	OD (mg/L)	T (°C)	pH
Superfície	109,4	8,23	30,3	9,16
50	112,2	8,46	30,2	9,17
100	111,7	8,42	30,2	9,14
150	112,2	8,46	30,2	9,1
200	111,6	8,43	30,2	9,08

TABELA G2 - Avaliação qualitativa para fungos e bactérias.

Pontos	CPP(UFC/100mL)	CTT(NMP/100mL)	Local	Organismos
P01	5,00E+01	<2	MS-T1	Levedura/Bac
P02	2,20E+01	<2	SC	Levedura/Bac
P03	1,40E+01	<2	SMD	Lev/FF
P04	1,60E+01	<2	MF	Levedura
P05	3,20E+01	<2	CF	Lev/FF
P06	1,70E+01	<2	MDF	FF/Bac
P07	3,10E+01	<2	MS- T-2	Levedura
P08	1,00E+02	4,00E+00	SC	Lev/FF
P09	2,50E+01	2,00E+00	SMD	Levedura/Bac
P10	2,70E+02	4,00E+00	MF	Levedura
P11	7,90E+01	4,00E+00	CF	Lev/FF/Bac
P12	3,90E+01	<2	MDF	Lev/FF
P13	6,00E+00	<2	poço	Levedura

01 Coleta				02 Coleta			
Pontos	CPP (UFC/100mL)	Local	Organismos	Pontos	CPP (UFC/100mL)	Local	Organismos
1	Nresceu	T1-CS	O	1	Nresceu	t1-CS	O
2	Nresceu	CF	O	2	Nresceu	CF	O
3	2,10E+01	T2-CS	FF	3	Nresceu	T2-CS	O
4	1,50E+01	CF	FF/Bac	4	Nresceu	CF	O

03 Coleta				04 Coleta			
Pontos	CPP (UFC/100mL)	Local	Organismos	Pontos	CPP (UFC/100mL)	Local	Organismos
1	Nresceu	T1-CS	O	1	Nresceu	t1-CS	O
2	Nresceu	CF	O	2	Nresceu	CF	O
3	2,10E+01	T2-CS	FF	3	Nresceu	T2-CS	O
4	1,50E+01	CF	FF/Bac	4	Nresceu	CF	O

05 Coleta			06 Coleta		
Pontos	CPP (UFC/100mL)	Local	Pontos	CPP (UFC/100mL)	Local
1	2,00E+01	T1-CS	1	3,00E+01	T1-CS
2	2,50E+01	CF	2	2,00E+01	CF
3	1,00E+01	T2-CS	3	1,00E+01	T2-CS
4	1,20E+01	CF	4	1,30E+01	CF

## **ANEXOS**

**FIGURA 63 (A) – Processo construtivo dos Tanques Russos.**



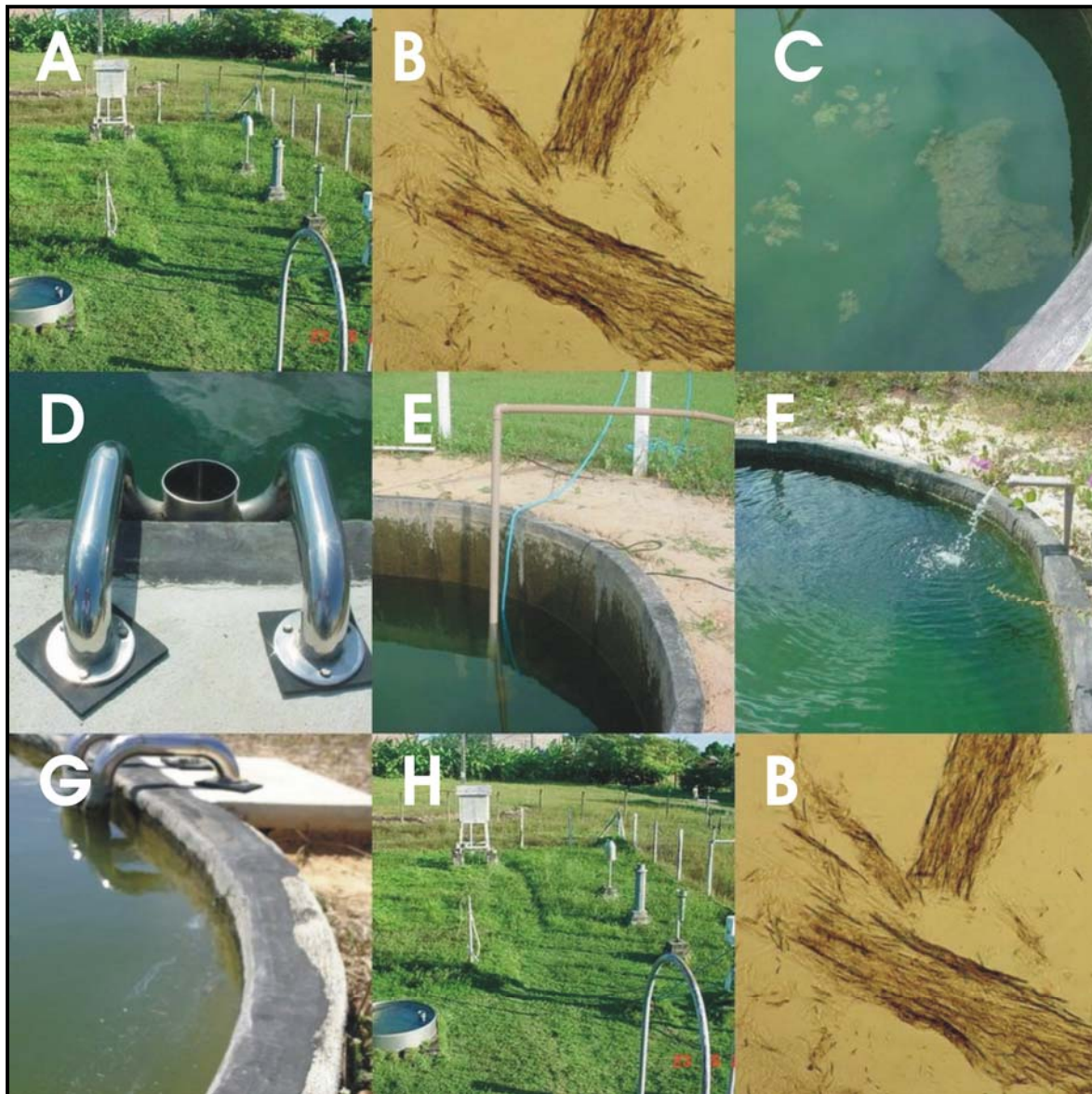
**FIGURA 64 (A) – Pontos de coleta da triangulação aplicada no período III / fase 02.**



**FIGURA 65 (A) – Dispersão da monocamada após aplicação e visualização do efeito de atenuação.**



**FIGURA 66 (A) – Situações diferenciadas nos tanques durante o período do experimento.**



**(A) e (H) Estação Agrometeorológica. (B) Hexadecanol no microscópio. (C) Bloom fitoplanctônico nas etapas iniciais da pesquisa. (D) Poço tranquilizador. (E) Processo de esvaziamento do tanque. (F) Processo de recarga do tanque. (G) Aparecimento de “strings”.**