

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

**QUALIDADE DE ÁGUA PARA A IRRIGAÇÃO NA MICROBACIA  
DO CÓRREGO TRÊS BARRAS NO MUNICÍPIO DE  
MARINÓPOLIS, SP**

**LUIZ SERGIO VANZELA**  
Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Engenharia da UNESP, Campus de Ilha  
Solteira, para a obtenção do título de Mestre  
em Agronomia – Área de Concentração:  
Sistema de Produção

ILHA SOLTEIRA – SP  
Agosto de 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

**QUALIDADE DE ÁGUA PARA A IRRIGAÇÃO NA MICROBACIA  
DO CÓRREGO TRÊS BARRAS NO MUNICÍPIO DE  
MARINÓPOLIS, SP**

**LUIZ SERGIO VANZELA**  
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Ilha Solteira, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração: Sistema de Produção

ILHA SOLTEIRA – SP  
Agosto de 2004

A **Agricultura Brasileira**

Ofereço

A minha família **Katiane e Pedro**

Dedico esta conquista

## AGRADECIMENTOS

*Primeiramente a “Deus” por me dar saúde, força e conhecimento para superar todas as barreiras impostas sobre o meu objetivo final, a conclusão dessa pesquisa.*

*A minha família, Pedro e Katiane, por enfrentar as mesmas dificuldades que enfrentei, e mesmo assim ter apoiado com a maior força que o homem necessita, o “amor”.*

*Aos meus pais, João e Dulce, pela educação e amor que contribuíram para o meu caráter pessoal e pelo apoio incondicional a minha formação profissional.*

*Aos meus irmãos, João, Carlos, José e suas famílias pelo companheirismo, amizade e incentivo para continuar trilhando o meu caminho.*

*Ao meu Orientador na pós-graduação, Prof. Fernando, pela amizade e conselhos, que contribuíram tanto para a minha pesquisa como para a minha evolução profissional e pessoal.*

*Aos atuais membros da equipe da Área de Hidráulica e Irrigação, Durvalino, Ronaldo Cintra, Celso, Elton, Daniele, Lílian, Pablo, Paulo e Guilherme, e aos que já foram embora, Fernando Mauro, Rodrigo, Renato, Ronaldo A. dos Santos, Marcos, Maurício, Jbsé Alves Junior, pelo apoio a minha pesquisa e pelo companheirismo e amizade, fundamentais em qualquer ambiente de trabalho.*

*Aos Professores Sergio Luis de Carvalho, Tsunao Matsumoto, Laércio Caetano e Walter Veriano Valério Filho, pelo apoio material e técnico, fundamentais para o andamento e conclusão da minha pesquisa.*

*Ao Eng. Agrônomo Nedson e demais membros da casa de agricultura de Marinópolis, pelo total apoio as minhas atividades realizadas na microbacia.*

*A SABESP de Marinópolis pelas informações concedidas e que contribuíram significativamente para os resultados do trabalho.*

*Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Fundo Setorial de Recursos Hídricos do Ministério da Ciência e Tecnologia (CT-Hidro), pelo apoio financeiro imprescindível para a conclusão da dissertação e para a minha pós-graduação.*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	iv
LISTA DE TABELAS .....	vii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Bacia Hidrográfica .....	3
2.2.1. Medição de Água para a Irrigação .....	8
2.3. Degradação de Bacias Hidrográficas .....	11
2.4. Descarga Sólida .....	13
2.5. Qualidade de Água para a Irrigação .....	15
2.5.1. Parâmetros Físicos .....	17
2.5.1.1. Sólidos .....	17
2.5.1.2. Turbidez .....	19
2.5.2. Parâmetros Químicos .....	19
2.5.2.1. Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	19
2.5.2.2. Condutividade Elétrica .....	20
2.5.2.3. Ferro Total .....	21
2.5.2.4. Oxigênio Dissolvido .....	23
2.5.2.5. Dureza Total .....	24
2.5.3. Parâmetros Biológicos .....	25
2.5.3.1. Coliformes .....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.1. Localização da Área de Estudo .....	27
3.2. Características Sócio-Econômicas .....	28
3.3. Geologia, Litoestratigrafia, Pedologia e Uso do Solo .....	29
3.4. Clima .....	30
3.5. Fisiografia e Recursos Hídricos .....	30
3.6. Localização dos Pontos de Avaliação .....	33
3.6.1. Ponto 1 .....	34
3.6.2. Ponto 2 .....	35
3.6.3. Ponto 3 .....	36

3.6.4. Ponto 4 .....	38
3.7. Coleta e Análise da Água .....	39
3.8. Descarga Sólida Total.....	41
3.9. Análise dos Dados .....	42
3.9.1. Vazão e Descarga Sólida Total .....	42
3.9.2. Caracterização da Qualidade de Água .....	42
3.9.3. Variabilidade Espacial e Temporal.....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
4.1. Vazão e Descarga Sólida Total .....	45
4.2. Qualidade de Água para a Irrigação .....	50
4.2.1. Parâmetros Físicos.....	50
4.2.1.1. Sólidos.....	50
4.2.1.2. Turbidez .....	56
4.2.2. Parâmetros Químicos.....	58
4.2.2.1. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	58
4.2.2.2. Condutividade Elétrica.....	60
4.2.2.3. Ferro Total .....	62
4.2.2.4. Oxigênio Dissolvido.....	65
4.2.2.5. Cálcio, Magnésio e Dureza Total .....	67
4.2.3. Parâmetros Biológicos .....	72
4.2.3.1. Coliformes .....	72
4.3. Considerações Finais .....	75
4.3.1. Padrões de Qualidade de Água para a Irrigação .....	75
4.3.2. Disponibilidade Hídrica e Produção de Sedimentos .....	76
4.3.3. Qualidade de Água para a Irrigação.....	77
4.3.4. Desenvolvimento Sócio-Econômico e Recursos Hídricos .....	79
5. CONCLUSÃO.....	80
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	87

## LISTA DE FIGURAS

1 Foto aérea (à esquerda) e detalhe (à direita) da pastagem degradada.....	2
2 Localização da bacia experimental.....	27
3 Uso dos solos da microbacia do córrego Três Barras em Marinópolis.....	29
4 Comportamento das variáveis temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, no decorrer do ano.....	31
5 Comportamento da radiação no decorrer do ano.....	31
6 Comportamento da precipitação e evapotranspiração no decorrer do ano.....	32
7 Pontos de coletas de água e medições de vazão.....	33
8 Local do primeiro ponto de avaliação (duas fotos) e medindo a vazão (à esquerda).....	34
9 Local do segundo do ponto de avaliação (à esquerda) e outro trecho a jusante.....	35
10 Local do terceiro ponto de avaliação (à esquerda) e medindo a vazão (à direita).....	36
11 Estação de tratamento de esgoto (à esquerda) e despejo de efluente (á direita).....	37
12 Quarto ponto de coleta de dados (à esquerda) e medindo vazão (à direita).....	38
13 Detalhe da amostra (à esquerda) e identificação (à direita).....	39
14 Detalhe da coleta de água para a análise de oxigênio dissolvido.....	40
15 Detalhe das colônias de coliformes totais (pontos vermelhos) e fecais (pontos azuis) sobre o petrifilm.....	40
16 Ilustração explicativa de um gráfico boxplot.....	44
17 Variação espacial e temporal da vazão e da chuva acumulada entre os intervalos de avaliação.....	46
18 Variação espacial e temporal da descarga sólida total e da chuva acumulada entre os intervalos de avaliação.....	47
19 Distribuição dos valores de vazão entre os períodos seco e chuvoso.....	48

20	Distribuição dos valores de descarga sólida total entre os períodos seco e chuvoso.....	48
21	Regressão de vazão em descarga sólida no ponto 1.....	49
22	Regressão de vazão em descarga sólida no ponto 3.....	49
23	Regressão de vazão em descarga sólida no ponto 4.....	50
24	Variação espacial e temporal da concentração de sólidos suspensos na água.....	52
25	Distribuição dos resultados da concentração de sólidos suspensos na água entre os períodos, seco e chuvoso.....	53
26	Variação espacial e temporal da concentração de sólidos dissolvidos na água.....	54
27	Distribuição dos resultados da concentração de sólidos dissolvidos na água entre os períodos, seco e chuvoso.....	54
28	Variação espacial e temporal da concentração de sólidos totais na água.....	55
29	Distribuição dos resultados da concentração sólidos totais na água entre os períodos, seco e chuvoso.....	55
30	Variação espacial e temporal da turbidez da água.....	57
31	Distribuição dos resultados de turbidez da água entre os períodos, seco e chuvoso.....	57
32	Variação espacial e temporal do pH da água.....	59
33	Distribuição dos resultados de pH da água entre os períodos, seco e chuvoso.....	59
34	Variação espacial e temporal da condutividade elétrica da água a 25ºC.....	61
35	Distribuição dos resultados de condutividade elétrica da água a 25ºC entre os períodos, seco e chuvoso.....	61
36	Variação espacial e temporal da concentração de ferro total na água.....	64
37	Distribuição dos resultados de concentração de ferro total na água entre os períodos, seco e chuvoso.....	64
38	Variação espacial e temporal da concentração de oxigênio dissolvido na água.....	66

39	Distribuição dos resultados de concentração de oxigênio dissolvido na água entre os períodos, seco e chuvoso.....	67
40	Variação espacial e temporal da concentração de cálcio na água.....	68
41	Distribuição dos resultados da concentração de cálcio na água entre os períodos, seco e chuvoso.....	69
42	Variação espacial e temporal da concentração de magnésio na água.....	69
43	Distribuição dos resultados da concentração de magnésio na água entre os períodos, seco e chuvoso.....	70
44	Variação espacial e temporal da dureza total da água.....	71
45	Distribuição dos resultados de dureza total da água entre os períodos, seco e chuvoso.....	71
46	Variação espacial e temporal da concentração de coliformes totais na água.....	73
47	Variação espacial e temporal da concentração de coliformes fecais na água.....	74
48	Distribuição dos resultados da concentração de coliformes totais na água entre os períodos, seco e chuvoso.....	74
49	Distribuição dos resultados da concentração de coliformes fecais na água entre os períodos, seco e chuvoso.....	75
50	Trecho com mata ciliar e calha profunda (à esquerda) e trecho assoreado (à direita).....	76

## LISTA DE TABELAS

1	Eficiência de irrigação e consumo de energia de diferentes métodos de irrigação.....	8
2	Limites máximos permissíveis de coliformes para as águas destinadas à irrigação, estabelecido pela resolução nº 20/86 do CONAMA.....	26
3	Características da exploração agrícola no município de Marinópolis, SP.....	28
4	Parâmetros climáticos médios anuais para a microbacia do Córrego Três Barras, Marinópolis – SP.....	30
5	Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos para a microbacia.....	32
6	Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 1.....	34
7	Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 2.....	36
8	Características do esfluente da estação de tratamento de esgoto da SABESP do município de Marinópolis – SP e da qualidade da água a montante e a jusante do lançamento.....	37
9	Monitoramento da qualidade do esfluente da estação de tratamento de esgoto da SABESP do município de Marinópolis – SP e da qualidade da água a jusante do lançamento.....	37
10	Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 3.....	38
11	Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 4.....	39
12	Síntese das metodologias e dos equipamentos empregados nas análises dos parâmetros de qualidade de água avaliados.....	41
13	Parâmetros avaliados e limites estabelecidos para a classificação da qualidade de água para a irrigação.....	43
14	Valores mínimos (Mín.), máximos (Máx.), médios (M), médios no período seco (Ms) e no período chuvoso (Mc) e o aumento do período seco para o chuvoso (Dif).....	45

15	Distribuição dos resultados de sólidos suspensos e dissolvidos de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.....	51
16	Distribuição dos resultados de turbidez em relação aos padrões de qualidade de água para a irrigação.....	56
17	Distribuição dos resultados de potencial hidrogeniônico (pH) de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.....	58
18	Distribuição dos resultados de condutividade elétrica (a 25°C) em relação ao potencial de salinização do solo.....	60
19	Distribuição dos resultados da concentração de ferro total em relação aos padrões de qualidade de água para a irrigação.....	63
20	Distribuição dos resultados da concentração de oxigênio dissolvido em relação aos padrões de qualidade de água para a irrigação.....	65
21	Distribuição dos resultados de cálcio e magnésio de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.....	67
22	Distribuição dos resultados da concentração de coliformes de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.....	72
23	Resultado de todas as análises realizadas no ponto 1.....	88
24	Resultado de todas as análises realizadas no ponto 2.....	88
25	Resultado de todas as análises realizadas no ponto 3.....	89
26	Resultado de todas as análises realizadas no ponto 4.....	89
27	Vazões e descargas sólidas para os pontos 1, 3 e 4.....	90
28	Recomendações para a seleção de sistemas de filtragem para sistemas de irrigação localizada.....	91

## **QUALIDADE DE ÁGUA PARA A IRRIGAÇÃO NA MICROBACIA DO CÓRREGO TRÊS BARRAS NO MUNICÍPIO DE MARINÓPOLIS, SP**

Autor: Luiz Sergio Vanzela

Orientador: Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

### **RESUMO**

A erosão dos solos e o lançamento de efluentes tem sido as principais causas da degradação dos mananciais, culminando com o assoreamento e a deterioração da qualidade de água, impossibilitando, entre outras, sua utilização como água de irrigação. Sendo a irrigação uma importante atividade econômica para municípios com aptidão rural, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade de água para a irrigação ao longo do córrego Três Barras, no município de Marinópolis, SP. Os parâmetros avaliados foram: vazão, descarga sólida total, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, turbidez, pH, dureza total, cálcio, magnésio, ferro total, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, coliformes fecais e totais. De acordo com os resultados obtidos verificou-se que as vazões médias nos pontos 1 (1.145 m da nascente), 3 (2.846 m da nascente) e 4 (5.389 m da nascente), foram respectivamente de 9,73, 28,44 e 64,37 m<sup>3</sup>/h. A média de descarga sólida total para os mesmos pontos foram de 28,2, 181,5 e 327,4 kg/dia, o que resulta em uma descarga sólida total anual no ponto 4, de 119,5 t/ano ou 0,091 t/ha.ano. Com relação a qualidade de água verificou-se que durante o período seco, com exceção dos sólidos suspensos e oxigênio dissolvido, houve uma diminuição da qualidade de água para a irrigação. O efluente da estação de tratamento de esgoto, com exceção do pH e da dureza total, promoveu uma significativa redução da qualidade de água para a irrigação, contribuindo para o aumento da concentração de sólidos, ferro total, coliformes, condutividade elétrica e redução da concentração de oxigênio dissolvido, sobretudo durante o período seco. A concentração de ferro total se apresentou limitante para a irrigação localizada, em todos os pontos avaliados e durante todo o período de

avaliação, com uma tendência de aumento em sua concentração, durante o período chuvoso.

**Palavras-chave:** qualidade da água, irrigação, degradação

**WATER QUALITY IN THE MICROWATERSHED OF THE CREEK TRÊS  
BARRAS (MARINÓPOLIS, SÃO PAULO STATE, BRAZIL)  
USED FOR IRRIGATION**

**ABSTRACT**

The erosion of the soils and the wastewater discharge has been the mean causes of the degradation of the water sources, resulting soil sedimentation and deterioration of the water quality and availability, and disabling, it to be used as irrigation water. The irrigation is an important economical activity for rural municipal districts. The objective of the present research was to evaluate the water quality for irrigation along the Três Barras creek, within the limits for Marinópolis. This research was accomplished in the microwatershed of the Três Barras creek, in the rural perimeter into a municipal district of Marinópolis (São Paulo State). For the evaluation of the water quality were analyzed: discharge, sediment discharge, total solids, suspended solids, dissolved sediments, turbidity, pH, electric conductivity, total iron, dissolved oxygen, hardness, calcium, magnesium, total and fecal coliforms. Results indicated the average of the discharge of the points 1 (1,145 m from the headwater), 3 (2,846 m from the headwater), 4 (5,389 m from the headwater) were respectively 9.73, 28.44 and 64.37 m<sup>3</sup>/h. The average of the sediment discharge of the same points were 28.2, 181.5 and 327.4 kg/day, resulting an annual sediment discharge in the point 4, of 119,5 t/year. Related to the water quality it was verified that during the dry period, except for the suspended solids and dissolved oxygen, there was a decrease of quality of water for the irrigation. The wastewater spilled the upstream of the point 3, except for the hardness and pH, it promoted a significant reduction of the water quality for the irrigation, contributing to the increase of the solids, total iron, electric conductivity,

coliforms and reduction of the dissolved oxygen, above all during the dry period. The total iron in the water was the only critical factor for the microirrigation use, during the whole evaluation period and in all the appraised points, with an increase tendency in your concentration, during the rainy period.

**Key-words:** water quality, irrigation, degradation

## 1. INTRODUÇÃO

A região noroeste do Estado de São Paulo, com economia essencialmente agrícola - baseada principalmente na cafeicultura e bovinocultura - vem paulatinamente substituindo estas atividades por outras de maior interesse econômico, com destaque para a fruticultura (viticultura, anonáceas, abacaxizeiro, bananeira, coqueiro, citros, goiabeira, mangueira e maracujazeiro). Em função das condições climáticas locais (inverno ameno e seco e verão chuvoso) torna-se imprescindível a utilização da irrigação para garantir altas produtividades com qualidade, possibilitando inclusive, colheitas fora da época normal.

No entanto, a agricultura convencional, ainda praticada nessa região, tem se caracterizado por utilizar os solos de maneira intensiva e sem o devido cuidado com sua conservação, bem como das matas ciliares, resultando na maioria das vezes, em degradação das microbacias hidrográficas, caracterizadas principalmente pelo assoreamento e a deterioração da qualidade da água dos mananciais, reduzindo seu potencial quantitativo e qualitativo de uso para a irrigação.

Especificamente o município de Marinópolis – SP, com uma área total de 77,428 km<sup>2</sup>, com uma população de 2.195 habitantes (IBGE, 2000) e que tem como principal fonte de renda a agricultura, depende muito dos recursos hídricos superficiais para a irrigação de videiras. A importância dessa atividade para o município pode ser claramente verificada pelo valor total da produção de uva na última safra (2002/03), estimada em cerca de R\$ 1.111.680,00, o que representa 19% do valor total da produção agrícola do município. A produtividade média de uva fina de mesa no município (principal variedade cultivada na região), na mesma safra, foi de 23,3 t/ha, dentro da produtividade média nacional de 20 a 30 t/ha (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 1998, p. 162).

Porém à presença de pastagens degradadas (Figura 1) aliada a reduzida preservação das matas ciliares (somente 1,37% da área da microbacia ainda

apresenta vegetação nativa) ao longo do córrego Três Barras (principal fonte de água superficial no município) tem ocasionado sérios problemas de erosão e assoreamento. As consequências desse manejo não sustentável podem acarretar, dentre outros problemas, redução na disponibilidade e qualidade de água do córrego.



**Figura 1.** Foto aérea (à esquerda) e detalhe (à direita) da pastagem degradada.

Outro agravante, decorrente da área urbana, é a presença de uma estação de tratamento de esgoto que despeja seu efluente na parte intermediária do córrego, podendo comprometer, além da vida aquática, a qualidade de água utilizada para a irrigação de áreas localizadas a jusante deste ponto.

Para a irrigação, a deterioração da qualidade de água pode resultar em um ou mais problemas, como o comprometimento ou aumento dos custos de operacionalização de sistemas de irrigação, a inviabilização da adoção de culturas irrigadas em que o uso da água pode implicar em contaminação dos alimentos e risco a saúde humana e animal, além do risco de tornar o solo improdutivo devido ao excesso de sais na água.

Sendo a irrigação uma importante atividade econômica para esse município, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade de água para a irrigação ao longo da microbacia hidrográfica do córrego Três Barras no município de Marinópolis, SP.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Bacia Hidrográfica

A água do planeta, elemento essencial a vida, está em constante movimento, alternando-se por diversos habitat's e sob diferentes estados físicos, sendo este processo conhecido como ciclo hidrológico. De acordo com Righetto (1998, p. 5) a água está distribuída no globo terrestre da seguinte maneira: lagos de água doce ( $125.100\text{ km}^3$ ), lagos salinos ( $104.300\text{ km}^3$ ), meio poroso e aquíferos ( $9.048.500\text{ km}^3$ ), geleiras ( $29.199.700\text{ km}^3$ ), atmosfera ( $12.900\text{ km}^3$ ) e oceanos ( $1.322.330.600\text{ km}^3$ ).

Na fase do ciclo hidrológico que ocorre nos continentes, a água percorre um caminho que inicia com a infiltração da água precipitada no solo, que ao escoar por gravidade ao longo da declividade natural da área, originam ou reforçam nascentes, formando pequenos córregos. Esses córregos convergem para um único ponto originando os rios mais caudalosos que terminam por desaguar nos oceanos. Este processo dinâmico associado a formação dos solos ao longo do tempo nos continentes, acabam originando uma bacia hidrográfica.

Segundo Ramos (1989) uma bacia hidrográfica pode ser entendida como uma área onde a precipitação é coletada e conduzida para seu sistema de drenagem natural, isto é, uma área composta de um inter-relacionado sistema de drenagem natural onde o movimento de água superficial inclui todos os usos da água e do solo existentes na localidade.

Sendo assim, uma bacia hidrográfica pode ser considerada um ecossistema dinâmico, onde sua formação ao longo do tempo envolve aspectos relativos ao ciclo hidrológico (evaporação, evapotranspiração, condensação, percolação profunda, escoamento superficial, subterrâneos e fluvial, etc), ao processo de formação dos solos e transformações de seus materiais de origem (rochas), a evolução da

biodiversidade (animais e plantas), e até a ocupação antrópica (relativos a atividades econômicas exercidas).

A dinâmica da água em uma bacia é definida de acordo com as características físicas da mesma e com o clima predominante, e por isso são informações imprescindíveis em qualquer estudo hidrológico. A declividade, os tipos de solos, suas ocupações e a geologia, determinarão a capacidade de armazenamento no solo, velocidade de infiltração e a recarga subterrânea, influenciando diretamente o escoamento superficial e subterrâneo da bacia. O clima é o elemento que fornece a energia para o sistema, através da radiação solar, exercendo influência direta na evaporação, evapotranspiração e precipitação, definindo assim, as oscilações da vazão no exutório com o decorrer do ano.

As características físicas mais utilizadas nos estudos hidrológicos são as características fisiográficas da bacia, que são aquelas que podem ser obtidas através de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite, como áreas, comprimentos, declividades e coberturas de solo (TUCCI, 1993, p. 45-46). Porém outras características físicas indispensáveis, como tipo de solo e outras informações importantes para o gerenciamento da bacia, como atividades econômicas e características sociais, só podem ser obtidas por levantamentos de campo.

O estudo do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica deve ser realizado quantificando-se as entradas e saídas de água do sistema, considerando-se as perdas que ocorrem no decorrer do percurso, até o exutório. As entradas de água são representadas pelas precipitações, as saídas pela vazão no talvegue e as perdas são decorrentes da evaporação, evapotranspiração, percolação e a retirada artificial (irrigação, indústria, etc).

Para Righetto (1998, p. 5), qualquer sistema hidrológico pode ser analisado pelas entradas de água (vazões afluentes,  $Q_a$ ) e saídas de água (vazões efluentes,  $Q_e$ ) através de algum processo físico determinístico ou probabilístico, expresso matematicamente por uma ou mais funções de transferência. Sendo assim, a transformação de chuva em vazão pode ser obtida por meio de modelos determinísticos e probabilísticos, que representam os fenômenos e/ou os processos que ocorrem na realidade.

Dependendo do modelo escolhido para a análise hidrológica, existe a necessidade de uma infra-estrutura de estações meteorológicas e fluviométricas, além de mão de obra capacitada, o que na maioria das vezes é a principal barreira

na obtenção de dados hidrometeorológicos. Quando isso não é possível, devem-se buscar alternativas de se obter dados necessários e confiáveis, para o estudo desejado.

Nesses casos a regionalização de vazões é uma boa alternativa, pois permite obter informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma informação. O princípio da regionalização de vazões se baseia na similaridade espacial de algumas funções, variáveis e parâmetros que permitem transferir as informações de um local para o outro (TUCCI, 2002, p. 14).

Segundo Góes e Campana (2001, p. 2), os modelos de regionalização são modelos de base matemática que utilizam equações de regressão para relacionar a variável dependente, por exemplo, a vazão, com variáveis independentes que podem ser as características fisiográficas, climáticas ou de uso/ocupação do solo de uma bacia hidrográfica.

Atualmente o Estado de São Paulo dispõe de uma rede de monitoramento conhecida como Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, 2000), capaz de fornecer dados hidrológicos, através da regionalização hidrológica, para qualquer local do Estado.

No entanto, independente do modelo utilizado na análise hidrológica, os novos conceitos de gerenciamento dos recursos hídricos devem partir do princípio de que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 1997), pois a disponibilidade e a qualidade da água na saída da bacia será o reflexo de como os recursos naturais de água e solo estão sendo utilizados dentro da mesma, seja de forma sustentável ou não.

De acordo com Cunha e Guerra (2003, p. 353), sob o ponto de vista do auto-ajuste pode-se deduzir que as bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas uma vez que, mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podem gerar alterações, efeitos e/ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída (descarga, cargas sólidas e dissolvida).

Com isso, para que ocorra o avanço no sistema de planejamento e gerenciamento das águas, segundo Tundisi (2003, p. 107), devem se considerar

processos conceituais (a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento e a integração econômica e social), processos tecnológicos (o uso adequado de tecnologias de proteção, conservação, recuperação e tratamento) e processos institucionais (a integração institucional em uma unidade fisiográfica, a bacia hidrográfica, é fundamental).

## 2.2. Água para a Irrigação

O consumo mundial de água nas últimas décadas tem se intensificado drasticamente, pois o crescimento populacional acelerado impulsionou o desenvolvimento industrial e a necessidade do aumento na produção de alimentos. Segundo Tundisi (2003, p. 27), os vários usos múltiplos da água e as permanentes necessidades de água para fazer frente ao crescimento populacional e as demandas industriais e agrícolas têm gerado permanente pressão sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Como resultado desse processo a disponibilidade de água no mundo tem diminuído com o tempo. Algumas estimativas realizadas por vários autores, constataram que a disponibilidade potencial de água per capita por ano no mundo caiu de 12.900 m<sup>3</sup> em 1970, para menos de 7.000 m<sup>3</sup> em 2000 (redução de 47,2%), sendo que projeções para o ano de 2025 estimam uma queda para menos de 5.100 m<sup>3</sup> (redução de 62,4%) (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2004).

A produção de alimentos, principalmente devido a irrigação, é a atividade que mais utiliza água no mundo, sendo responsável por 68,3% do consumo, seguido da indústria com 23,1% e do uso doméstico com 8,6% (TUNDISI, 2003, P. 30). No Brasil a demanda estimada de água pelo setor agrícola é semelhante a do mundo, sendo a atividade que mais utiliza os recursos hídricos, com 72,3% do volume captado, seguido do abastecimento com 18,0% e do uso industrial com 9,5% (SETTI et al, 2001, p. 87). No estado de São Paulo, somente a irrigação, consome cerca de 41% dos recursos hídricos, seguidos do uso doméstico com 32% e da indústria com 27% (DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, 2002, p. 5–7).

A alta demanda de água para a produção de alimentos, está ligada ao fato de que as plantas perdem muita água por evapotranspiração, exigindo consideráveis quantidades para a reposição hídrica. Outro fato é que na produção de carne, além da água consumida diretamente na dessedentação dos animais, há também o

consumo indireto, para a produção das forragens, silagens e rações. De acordo com Rijsberman e Molden (2001, p. 2), na Califórnia (USA), para produzir um quilograma de grãos são necessários 1.000 litros de água, no entanto, para produzir um quilograma de carne bovina são necessários 13.500 litros de água, evidenciando a alta demanda hídrica do setor.

Embora seja a atividade econômica que mais consome água, a suficiência mundial de produção de alimentos, depende da agricultura irrigada, porque embora ocupe somente 16% da área produtiva, é responsável por 40% da produção total de alimentos (ITURRI, 1999, citado por SETTI et al, 2001, p. 74).

A alta demanda hídrica pela irrigação, embora esteja relacionada ao alto consumo das plantas, muitas vezes, também se deve a baixa eficiência no uso da água, devido ao emprego incorreto dos métodos ou a falta de técnicas de manejo da irrigação. Estima-se que no Brasil as perdas de água pela irrigação estejam na ordem de 37,7%, o que representa 12.734.040.969 m<sup>3</sup>/ano (CHRISTOFIDIS, 1999, p. 24).

A eficiência de irrigação representa a relação entre a quantidade de água conduzida pelos sistemas de irrigação às culturas e a quantidade que efetivamente chega ao sistema radicular das mesmas, que varia de acordo com fatores ligados a própria operacionalização dos equipamentos, como vazamentos nas redes de distribuição, uniformidade de irrigação, tamanho de gotas, etc, e fatores externos, como características edafoclimáticas e das culturas.

As perdas por vazamentos nas redes de distribuição podem variar de 1 a 10%, dependendo das condições de conservação dos equipamentos (GOMES, 1997, p. 99-100). Quanto aos métodos de irrigação, cabe ressaltar que embora existem limites preestabelecidos para os diferentes tipos de equipamentos, a eficiência está mais relacionada com a correta operacionalização, do que com a maneira de como a água atinge o seu objetivo final.

Na Tabela 1 estão apresentados, de acordo com Marouelli e Silva (1998) citados por Lima et al (2004), a eficiência de irrigação e o consumo de energia elétrica dos diferentes tipos de sistemas de irrigação.

**Tabela 1.** Eficiência de irrigação e consumo de energia de diferentes métodos de irrigação.

Método de Irrigação	Eficiência de Irrigação (%)	Uso de Energia (kWh/m <sup>3</sup> )
Superfície	40 a 75	0,03 a 0,3
Aspersão	60 a 85	0,2 a 0,6
Localizada	80 a 95	0,1 a 0,4

Sendo assim, medidas de controle da quantidade de água aplicada através de técnicas que melhoram a eficiência da aplicação de água pela irrigação são imprescindíveis para reduzir os impactos sobre os recursos hídricos. Também são importantes, antes da implantação de novos perímetros irrigados, estabelecer limites sustentáveis para a utilização da água, através da determinação dos aspectos quantitativos dos recursos hídricos (vazões médias e mínimas) e o monitoramento da sazonalidade da disponibilidade hídrica ao longo do ano.

No estado de São Paulo, o Plano Estadual dos Recursos Hídricos, de acordo com os artigos 13 e 14 da lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994, estabelece que a soma das vazões captadas em uma bacia hidrográfica, ou parte desta, não poderá superar 50% da  $Q_{7,10}$ , (vazão mínima de sete dias consecutivos e dez anos de período de retorno) e nas vazões regularizadas por reservatórios, descontadas as perdas por infiltração, evaporação ou por outros processos físicos, decorrentes da utilização das águas e as reversões de bacias hidrográficas (DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, 2004).

### 2.2.1. Medição de Água para a Irrigação

Na execução de um projeto de irrigação, a primeira informação necessária é a quantidade de água disponível, ou seja, a disponibilidade hídrica da fonte de água (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, 1990, p. 5), obtida através da determinação da vazão da mesma.

A vazão ou descarga líquida pode ser definida como a quantidade de água que passa por uma seção (seção molhada no caso dos cursos d'água) dentro de um intervalo de tempo definido, envolvendo uma série de grandezas, como as geométricas (largura, profundidade, etc) e as referentes ao fluxo de água (velocidade média e vazão).

Em termos gerais, a descarga líquida  $dQ$  que atravessa uma área infinitamente pequena  $dS$  pode ser escrita na seguinte forma, onde  $v$  é a velocidade do fluxo (TUCCI, 1993, p. 502):

$$dQ = v \cdot dS$$

Existem diferentes métodos para se determinar a vazão de um curso d'água, sendo que para Bernardo (1989, p. 113), o melhor método para cada condição dependerá do volume d'água a ser medido, das condições onde serão realizadas estas medidas e da precisão desejada.

De acordo com Santos et al (2001, p. 120), os principais métodos de medição de vazão podem ser resumidos em: medição e integração da distribuição de velocidade, método acústico, método volumétrico, método químico, uso de dispositivos de geometria regular (vertedores e calhas Parshall) e medição com flutuadores.

Para pequenos cursos d'água e canais de condução de água, e se tratando de medição de água para a irrigação, os métodos mais recomendados são os do flutuador, molinetes, vertedores e calhas (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, 1990, p. 7-12). Quando for possível canalizar pequenas vazões, o método volumétrico direto, também é recomendado (BERNARDO, 1989, p. 127).

O método do flutuador se baseia na integração da distribuição de velocidade. A velocidade média do fluxo é determinada a partir do tempo gasto para que um objeto flutuante percorra uma distância conhecida. Sendo assim, a vazão é obtida da seguinte expressão:

$$Q = \frac{\Delta L}{\Delta t} \cdot S, \text{ onde:}$$

?L – distância percorrida pelo flutuador (m);

?t – tempo gasto para percorrer ?L (s);

S – seção molhada ( $m^2$ ).

Embora este método seja simples e necessite de poucos equipamentos, quando se quer precisão, o flutuador, não é recomendável (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, 1990, p. 7).

O método do molinete se baseia no mesmo princípio do flutuador, porém as grandezas são obtidas com maior precisão (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, 1990, p. 8). Por este método determinam-se as velocidades do fluxo em diversas seções molhadas ao longo da largura do curso d' água. Finalmente a vazão total é determinada por:

$$Q = v_1 \cdot S_1 + v_2 \cdot S_2 + \dots + v_n \cdot S_n, \text{ onde:}$$

$Q$  – vazão do curso d'água ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$v_1$  – velocidade do fluxo de água na seção molhada 1 ( $\text{m/s}$ );

$S_1$  – área da seção 1 ( $\text{m}^2$ );

$v_2$  – velocidade do fluxo de água na seção molhada 2 ( $\text{m/s}$ );

$S_2$  – área da seção 2 ( $\text{m}^2$ );

$v_n$  – velocidade do fluxo de água na seção molhada  $n$  ( $\text{m/s}$ );

$S_n$  – área da seção  $n$  ( $\text{m}^2$ );

A determinação da vazão por meio vertedores e calhas, se baseia no princípio da relação cota-vazão, permitindo transformar diretamente o nível da água em vazão. Um dos mais utilizados e mais precisos para medições de pequenas vazões é o vertedor triangular de soleira delgada de  $90^\circ$  (BERNARDO, 1989, p. 114), no qual a vazão é obtida da seguinte expressão:

$$Q = 1,42 \cdot H^{2,5}, \text{ onde:}$$

$Q$  – vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$H$  – altura do nível de água a montante do vertedor (m).

O método volumétrico direto consiste em determinar o tempo em que a água leva para encher um recipiente de volume conhecido, sendo a vazão obtida da razão entre o volume coletado pelo tempo decorrido. Embora tenha algumas limitações, principalmente com relação a quantidade de água a ser medida, este método tem uma ótima precisão (TUCCI, 1993, p. 502), sendo a vazão determinada pela seguinte expressão:

$$Q = \frac{V}{\Delta t}, \text{ onde:}$$

Q – vazão (l/s);

V – volume do recipiente (l);

?t – tempo para encher o recipiente (s).

### 2.3. Degradação de Bacias Hidrográficas

A degradação das bacias hidrográficas pode ser caracterizada como qualquer alteração artificial e acelerada, nas características físicas, químicas e biológicas da mesma, podendo resultar em modificações na geomorfologia, biodiversidade e aspectos quantitativos e qualitativos dos cursos d'água. Para Cunha e Guerra (2003, p. 355), somente as características naturais das bacias hidrográficas, através da topografia, geologia, solos e clima, já podem contribuir para a erosão potencial das encostas e para os desequilíbrios ambientais.

No entanto, este processo natural tem-se acelerado pela ação de diversos problemas decorrentes do desenvolvimento urbano e rural, impulsionado pelo crescimento populacional e pela falta de planejamento na utilização dos recursos naturais.

No meio rural brasileiro, o contexto do desenvolvimento econômico nas últimas décadas, tem-se caracterizado pela falta de planejamento no que diz respeito ao uso sustentável dos recursos naturais de água e solo. Estudos indicam que para cada quilograma de grão produzido, o país perde entre 6 a 10 quilogramas de solo por erosão (SANTOS et al, 2001, p. 231), com prejuízos estimados em 13 bilhões de reais por ano (IRRIGAÇÃO E TECNOLOGIA MODERNA, 2003, p. 53). Nas condições de parcela padrão (BERTONI, 1999) e considerando a produtividade média de grãos no Brasil (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 1998), a perda média é de 7 quilogramas de solo por quilograma de grão produzido, que comparado com a situação anterior, evidencia os altos valores de solos perdidos por erosão.

Este quadro se deve principalmente a integração de um conjunto de fatores. De acordo com o Departamento de Águas e Energia Elétrica (1999a, p. 23), no estado de São Paulo, 80% dos solos são classificados como de alto potencial de

erosão e somente 13,69% da área do estado ainda tem preservado a vegetação nativa. Essas condições aliadas a falta de técnicas adequadas de preparo e conservação do solo, constituem-se nas principais causas dos processos erosivos.

Como consequência, durante o período chuvoso, grandes quantidades de solos, matéria orgânica e insumos agrícolas são carreados para o leito dos cursos d'água, contribuindo para o aumento da concentração de sólidos, nutrientes e da descarga sólida total. Sem a preservação adequada das matas ciliares este processo torna-se acelerado, pois vários autores têm demonstrado a eficiência das matas ciliares em reter nutrientes, herbicidas e sedimentos, decorrentes do processo de erosão (LIMA e ZAKIA, 2000, p. 37), evitando que os mesmos cheguem ao leito do manancial.

Com o aumento excessivo da concentração de sólidos e da descarga sólida dos mananciais, pode ocorrer com o tempo, o assoreamento, que além modificar ou deteriorar a qualidade da água, a fauna e a flora (CARVALHO et al, 2000, p. 101–104), provoca o decréscimo da velocidade da água (CURI et al, 1993, p. 10), resultando, também, em redução da disponibilidade hídrica. Já o aumento da concentração de nutrientes na água pode resultar em eutrofização, que segundo Tundisi (2003, p.67), é o resultado do enriquecimento com nutrientes de plantas, principalmente o fósforo e nitrogênio, que são despejados de forma dissolvida ou particulada em lagos, represas e rios e são transformados em partículas orgânicas, matéria viva vegetal, pelo metabolismo das plantas.

No meio urbano, outro fator agravante para deterioração das bacias hidrográficas, é o despejo de efluentes. Segundo o Departamento de Águas e Energia Elétrica (1999a, p. 15), despejam-se grandes quantidades de efluentes de origem doméstica e industrial nos cursos d'água do estado de São Paulo. A carga poluidora orgânica biodegradável potencial e remanescente é de, respectivamente, 11.023.681 e 1.684.769 kg DBO<sub>5</sub>/dia e a carga poluidora inorgânica potencial e remanescente é de, respectivamente, 13.552 e 1.572 t/ano.

O efluente de estação de tratamento de esgoto possui grande quantidade de resíduos sólidos (orgânicos e inorgânicos) e microorganismos patogênicos, sendo que o seu lançamento em águas superficiais pode provocar o aumento na concentração desses parâmetros em níveis considerados inadequados para a vida aquática e para os usos múltiplos.

Com isso, a cada ano, a qualidade de água dos mananciais vem reduzindo, afetando a biodiversidade aquática e inviabilizando sua utilização para o consumo humano e outras finalidades. De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2003) citado por Vanzela e Hernandez (2004, p. 1-2), o percentual de fontes de água para o abastecimento no Estado São Paulo, classificadas como ruim ou péssima, subiu de 27% em 2002 para 32% em 2003, evidenciando essa evolução.

Todos condicionantes citados contribuem para a degradação das bacias hidrográficas e para a deterioração da qualidade da água dos mananciais, reduzindo o seu potencial quantitativo e qualitativo de uso econômico.

#### **2.4. Descarga Sólida**

Nas bacias hidrográficas, paralelamente ao ciclo hidrológico, ocorre o ciclo hidrossedimentológico, que é totalmente dependente deste, pois envolve os processos de deslocamento, transporte e depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia (TUCCI, 1993, p. 915). O ciclo hidrossedimentológico é um processo que ocorre naturalmente ao longo do tempo, podendo, no entanto, ser acelerado em consequência da ação antrópica, aumentando a produção de sedimentos de uma bacia.

Segundo Icold (1989) citado por Carvalho et al (2000, p. 23), os principais fatores que afetam a produção de sedimentos na área de drenagem são: a precipitação (quantidade, duração e freqüência), tipo de solo e formação geológica, cobertura do solo, uso do solo, topografia, natureza da rede de drenagem, escoamento superficial, características dos sedimentos e hidráulica dos canais.

A quantidade de sólidos que passam pela seção transversal de um curso de água em um intervalo de tempo, isto é, a descarga sólida total, é composta por dois componentes principais: a descarga sólida em suspensão (sólidos dissolvidos e/ou de pequena granulometria que são transportados em suspensão na água) e a descarga sólida do leito (partículas de maior granulometria que são transportadas por arraste ou saltação no leito do curso d' água).

Para a determinação da descarga sólida em suspensão, são necessários os conhecimentos da concentração de sólidos em suspensão e da vazão do curso d'água. A concentração de sólidos em suspensão pode ser determinada através de

métodos diretos, *in situ*, e indiretos. Nos métodos diretos, utilizam-se equipamentos que medem o volume direto de sedimentos. Na medição direta *in situ*, os equipamentos medem a concentração de sólidos ou a turbidez da água, que após calibração adequada, pode ser relacionada com a concentração de sólidos. Nos métodos indiretos, coletam-se amostras por ponto ou integrando-se a seção, para posterior determinação em laboratório.

A determinação da descarga sólida do leito é mais complexa, pois de acordo com Carvalho (1994, p. 63), este tipo de sedimento não se move na mesma velocidade que o sedimento em suspensão, sendo dependente de diversas grandezas como granulometria do material, velocidade da corrente, declividade do leito, força de atrito entre partículas, profundidade do curso d'água, dentre outros.

Esse tipo de descarga também pode ser medido por métodos diretos, *in situ* ou indiretos. Nos métodos diretos, a descarga sólida do leito é obtida por amostradores móveis colocados no leito, ou por meio de amostradores fixos, construídos no fundo do canal. Pelos métodos indiretos, os mais conhecidos, utilizam-se equações que levam em consideração algumas grandezas relativas ao sedimento e ao fluxo de água (granulometria, velocidade do fluxo, profundidade do canal, etc).

Uma das equações mais utilizadas para determinar indiretamente a descarga sólida total é a equação de Colby (1957) (CARVALHO, 1994, p. 201):

$$Q_{st} = q_{sl} \cdot L \cdot K + 0,0864 \cdot C_s \cdot Q_l, \text{ onde:}$$

$Q_{st}$  - descarga sólida total (t/dia);

$q_{sl} = 39 \cdot V^{3,36}$  - descarga sólida do leito por unidade de largura (t/dia.m);

$V$  - velocidade média do fluxo (m/s);

$L$  - largura da seção (m);

$K = 1,18 \cdot \sqrt{C_s / C_r}$  - fator de correção;

$C_s$  – concentração de sedimentos em suspensão (mg/l);

$C_r$  – concentração relativa, obtida graficamente em função da velocidade do fluxo e profundidade da seção;

$Q_l$  – vazão líquida ( $m^3/s$ ).

O conhecimento da descarga sólida dos mananciais é de extrema importância para a implantação de perímetros irrigados, tanto no que diz respeito a qualidade quanto a disponibilidade de água para a irrigação. Para Santos et al (2001, p. 233), os mecanismos determinantes dos processos sedimentológicos fluviais estão relacionados as condições ecológicas reinantes nas bacias hidrográficas e em muitos aspectos podem derivar de ações antrópicas, causando entre outros, prejuízos relacionados ao assoreamento e a deterioração de sistemas de irrigação e de drenagem.

## **2.5. Qualidade de Água para a Irrigação**

Além de água em quantidade, a qualidade é um outro aspecto muito importante a se considerar na irrigação (AYERS e WESTCOT, 1984, p. 2-3), pois dependendo das suas características físicas, químicas e biológicas, o seu uso pode se tornar limitado ou inviabilizado.

Setti et al (2001, p. 42) afirmaram que uma análise completa da água natural indicaria a presença de mais de cinqüenta constituintes nela dissolvidos ou em suspensão. Esses elementos, em geral, são sólidos dissolvidos ionizados, gases, compostos orgânicos, matéria em suspensão, incluindo microorganismos e matéria coloidal. No entanto, as variações quantitativas desses elementos em águas superficiais, dependem do clima e da litologia da região, da vegetação circundante, do ecossistema aquático e da influência do homem, sendo este último o maior responsável pelas alterações na composição da água (PORTO et al, 1991, v. 3, p. 33).

Os constituintes da água, sejam de origem natural ou antrópica, conferem características qualitativas que podem influenciar o dimensionamento e escolha do tipo de sistema de irrigação, a necessidade de filtragem (TOMPSON e KRIDER, 1983, citado por SOCCOL, 2003, p. 4), o tipo de cultura a ser irrigada (AYERS e WESTCOT, 1991, p. 38) e a necessidade ou não de um pré-tratamento da água (PESCOD, 1992).

Um dos principais problemas de qualidade de água para a irrigação, e que estão relacionados com a operação dos equipamentos, é a obstrução física de tubulações e emissores, sobretudo em sistemas de irrigação localizada, onde os orifícios de passagem são de pequenos diâmetros (NAKAYAMA & BUCKS, 1986, p.

142). Outro problema, é que quando a água da irrigação é retirada de um manancial que recebe esfluente de estação de tratamento de esgoto, dependendo do tipo de cultura a ser irrigada, a possibilidade de transmissão de doenças por microorganismos patogênicos, de intoxicação por químicos prejudiciais a saúde, as plantas e ao solo, e de salinização do solo, devem ser considerados (VON SPERLING, 1996, p. 41).

Deste modo, a avaliação da qualidade de água para a irrigação deve integrar três fatores: (1) se a qualidade de água pode comprometer a operacionalização do sistema de irrigação; (2) se há risco de contaminação dos alimentos irrigados ou (3) se há risco de salinização do solo.

Os parâmetros físico-químico-biológicos de qualidade de água que, diretamente ou indiretamente, estão relacionados com a obstrução física dos sistemas de irrigação são: os sólidos suspensos e dissolvidos, pH, ferro total, manganês, sulfito de hidrogênio e população de bactérias (NAKAYAMA e BUCKS, 1986, p. 142-143).

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabeleceu por meio da resolução nº 20 de 18 de junho de 1996, a classificação das águas e seus respectivos padrões de qualidade (VON SPERLING, 1996, p. 43). De acordo com a resolução nº 20/86 do CONAMA, as águas doces se dividem em cinco classes:

**I. Classe Especial**

- a) ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

**II. Classe 1 – águas destinadas:**

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

III. Classe 2 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho);
- d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
- e) à criação natural e/ou intensiva (aqüicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

IV. Classe 3 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à dessedentação de animais.

V. Classe 4 - águas destinadas:

- a) à navegação;
- b) à harmonia paisagística;
- c) aos usos menos exigentes.

Com isso, para se estabelecer a caracterização da qualidade de água para a irrigação são necessários a definição, determinação e interpretação dos parâmetros físico-químico-biológicos que interferem de alguma forma na técnica da irrigação, pois segundo Santos et al (2001, p. 299), a seleção dos parâmetros de interesse deve levar em consideração os usos previstos para o corpo de água e as fontes potenciais de poluição existentes na bacia hidrográfica. Sendo assim, a seguir, alguns parâmetros de importância para a irrigação, serão discutidos com mais detalhes.

### **2.5.1. Parâmetros Físicos**

#### **2.5.1.1. Sólidos**

Todas as impurezas presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos, correspondem aos sólidos (PORTO et al, 1991, p. 40), que em águas naturais, origina-se, do processo de erosão natural dos solos e do intemperismo das rochas (CARVALHO, 1994, p. 4).

No entanto, o despejo de esgotos e o uso dos solos para a agricultura constituem-se nas principais contribuições antrópicas de sólidos na água dos mananciais. Os esgotos domésticos não tratados podem contribuir com uma variação típica de 700 – 1.350 mg/l de sólidos totais (VON SPERLING, 1996, p. 79). As perdas de solos por erosão, que, por exemplo, em plantios de grãos (feijão, arroz, soja e milho) no Brasil, chega em média a 23,8 t/ha.ano (BRAGA et al, 2001, p.137), constituem-se nas principais contribuições de sólidos do meio rural.

Os sólidos presentes na água, segundo von Sperling (1996, p. 63), podem ser classificados de acordo com o seu estado e tamanho (em suspensão ou dissolvidos), com as características químicas (voláteis e fixos) e decantabilidade (sedimentáveis e não sedimentáveis).

Em relação ao diâmetro, os sólidos se dividem em: sólidos dissolvidos (sais e matéria orgânica, com diâmetro inferior a  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$ ), coloidais (argilas, vírus e algumas bactérias, com diâmetro entre  $10^{-3}$  e  $10$   $\mu\text{m}$ ) e suspensos (areias, siltes, microorganismos e restos de pequenos animais e vegetais, com diâmetro superior a  $10$   $\mu\text{m}$ ). Os sólidos sedimentáveis correspondem a fração dos sólidos que se sedimentam após uma hora de repouso e os sólidos voláteis correspondem a fração que se volatilizam a temperaturas elevadas ( $550^\circ\text{C}$ ).

Os sólidos suspensos, em altas concentrações constituem-se em um dos principais problemas de qualidade de água para a irrigação, pois pode ocasionar sérios problemas de obstrução física em sistemas de irrigação localizada. Esse problema ainda pode ser agravado pela presença de bactérias do gênero *Pseudomonas sp* e *Enterobacter sp*, que combinadas com partículas em suspensão, podem ocasionar um tipo de entupimento não controlável pelos sistemas de filtragem (NAKAYAMA e BUCKS, 1986, p. 142–143).

Com relação aos sólidos dissolvidos, dificilmente ocasionam obstrução física nos equipamentos, no entanto, havendo interação com outros sais formando precipitados ou favorecendo o crescimento de lodo, pode ocorrer obstrução de emissores (NAKAYAMA e BUCKS, 1986, p. 142–143). Além disso, como os sais fazem parte dos sólidos dissolvidos (PORTO et al, 1991, p. 42), o seu excesso na água de irrigação pode provocar salinização do solo, dificultando ou impedindo a absorção de água pelas plantas (AYERS e WESTCOT, 1991, P. 3).

Para Nakayama e Bucks (1986, p. 142–143), se a água apresentar valores acima de 50 mg/l de sólidos suspensos e 500 mg/l de sólidos dissolvidos, já pode ocorrer danos moderados, por entupimento de emissores, em sistemas localizados.

### 2.5.1.2. Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (e esta redução se dá por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2003, p. 9).

No entanto, a turbidez não depende estritamente da concentração de sedimentos em suspensão, mas também de outras características do sedimento tais como tamanho, composição mineral, cor e quantidade de matéria orgânica (SANTOS et al, 2001, p. 285). Esse parâmetro é de extrema importância para a vida aquática, pois segundo Braga et al (2002, p. 84), com o aumento da turbidez, e consequentemente a redução da transparência da água, ocorre redução nas taxas fotossintéticas, prejudicando a procura de alimento para algumas espécies, o que leva a desequilíbrios ambientais.

Esse parâmetro físico é bastante utilizado na caracterização de águas para o abastecimento urbano, não influenciando diretamente a qualidade de água para a irrigação. Porém pode ser utilizado para medir a concentração de sedimentos em suspensão (CARVALHO, 1994, p. 88), que é de grande importância para a qualidade de água de irrigação. Segundo os padrões de qualidade de água estabelecidos pela resolução nº 20/86 do CONAMA, a turbidez para as águas de classes 1, 2 e 3, não devem exceder 40, 100 e 100 NTU, respectivamente.

### 2.5.2. Parâmetros Químicos

#### 2.5.2.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é um valor que representa a concentração de íons de hidrogênio  $H^+$  (em escala logarítmica), dando uma indicação sobre a

condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água (VON SPERLING, 1996, p. 26).

A biota aquática exerce influencia marcante sobre o pH da água, pois de acordo com Moraes (2001, p. 19), o consumo de CO<sub>2</sub> durante o dia, pelo processo fotossintético, a partir das macrófitas aquáticas e algas, pode elevar o pH do meio. Por outro lado, a liberação e dissolução de gás carbônico na água pela respiração, resultarão em ácido carbônico, promovendo a redução do pH (BRAGA et al, 2002, p. 76).

O pH é um parâmetro químico que pode contribuir para a obstrução de tubulações e emissores em sistemas localizados. Águas com valores de pH acima de 7 podem favorecer a precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio em águas com alta dureza (NAKAYAMA e BUCKS, 1986, p. 143) e a precipitação de alguns fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade, quando utilizados para a fertirrigação (COELHO et al, 2002, p. 13).

Outros fatores que podem influenciar os valores de pH da água são os despejos domésticos e industriais, através da oxidação da matéria orgânica e despejo de químicos (VON SPERLING, 1996, p. 26), e as chuvas ácidas provenientes da poluição atmosférica (PORTO et al, 1991, p. 31).

#### **2.5.2.2. Condutividade Elétrica**

A condutividade elétrica da água é a sua capacidade de transmitir a corrente elétrica, devido a presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions (PORTO et al, 1991, p. 43), sendo por isso, um parâmetro químico indicativo da quantidade de sais dissolvidos na água. Os sais presentes na água, segundo Ayers e Westcot (1991, p. 2), originam-se da dissolução ou intemperização das rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, do gesso e de outros minerais. O lançamento de esgotos não tratados, também podem contribuir com até 550 mg/l de sólidos dissolvidos fixos (VON SPERLING, 1996, p. 79), dentre os quais, grande parte, corresponde aos sais dissolvidos.

Para a irrigação, o principal problema do excesso de sais na água, é que após a sua deposição no solo, se acumula a medida em que a água é evaporada ou consumida pelas culturas (AYERS e WESTCOT, 1991, p. 2), podendo resultar em salinização do solo. O aumento da salinidade do solo pode promover redução nos

rendimentos das plantas, provocar morte em plantas sensíveis aos sais e inviabilizar áreas para a agricultura (WATER RESEARCH COUNCIL, 1989, p. 38-39).

Segundo a classificação proposta pelo U. S. Salinity Laboratory Staff – U. S. D. A. Agriculture Handbook nº 60 (BERNARDO, 1989, p. 95–96), o risco de salinização do solo pode ser: baixo (condutividade elétrica entre 0 e 250 µS/cm a 25°C), médio (condutividade elétrica entre 250 e 750 µS/cm a 25°C), alto (condutividade elétrica entre 750 e 2.250 µS/cm a 25°C) e muito alto (condutividade elétrica entre 2.250 e 5.000 µS/cm a 25°C).

Em certas situações, o excesso de sais na água, também pode causar a obstrução física em sistemas de irrigação. A precipitação de sais nas tubulações é favorecida, sobretudo em águas básicas (NAKAYAMA & BUCKS, 1986, p. 145) ou por meio de reações com fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade utilizados em fertirrigação (COELHO et al, 2002, p. 13).

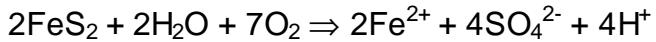
A análise desse parâmetro também permite verificar a influência direta e indireta das atividades desenvolvidas nas bacias sobre os recursos hídricos (lagos, reservatórios, rios), como lançamentos de efluentes domésticos e industriais e atividades agropastoris, pois segundo Moraes (2001, p. 23), o resultado da poluição pode ser detectado pelo aumento da condutividade elétrica no curso d'água.

#### **2.5.2.3. Ferro Total**

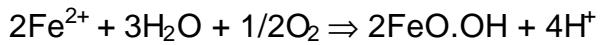
Segundo Lima (1993, p. 176), nas águas naturais o ferro pode ser encontrado sob as formas de  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$  (bicarbonato ferroso),  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (hidróxido férreo) e  $\text{FeSO}_4$  (sulfato ferroso).

O ferro na água origina-se, naturalmente, do contato constante entre a água e os solos e seus materiais de origem, formados a base de sesquióxidos de ferro, que por reações de redução (comum no processo de intemperismo) transformam o ferro da forma  $\text{Fe}^{3+}$  (insolúvel) para a forma  $\text{Fe}^{+2}$ , tornando-se solúvel na água. O  $\text{Fe}^{+2}$  ao entrar novamente em contato com o oxigênio perde elétrons por reações de oxidação (CURI et al, 1993, p. 60), tornando-se novamente insolúvel.

As reações descritas anteriormente foram elucidadas por Porto (2003, p. 31), em duas etapas. Na primeira, o  $\text{Fe}^{+2}$  é liberado por hidrólise na seguinte reação:



Ao entrar em contato com o oxigênio, dá-se a reação de oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$ :



Além da origem natural, as altas concentrações de ferro encontradas em fontes superficiais de água, também podem ocorrer, em função das ações antrópicas, decorrentes das atividades desenvolvidas nas bacias hidrográficas.

Com a precária conservação dos solos no meio rural, os processos de erosão e assoreamento em solos formados a base de sesquióxidos de ferro, aumenta consideravelmente a quantidade de solo em contato com a água, resultando assim, no aumento da concentração de ferro, tanto solúvel como em suspensão na água. O efeito desse processo na redução da qualidade da água de irrigação, já foi evidenciado (VANZELA et al, 2003; MAURO, 2003, p. 52–54). No meio urbano, os despejos industriais, constituem-se nas principais fontes de poluição que podem contribuir com incrementos significativos de ferro na água (VON SPRELING, 1996, p. 30).

O ferro, atualmente, é um dos principais problemas na água de irrigação, devido a sua capacidade de obstruir fisicamente as tubulações e emissores dos sistemas localizados. Isto ocorre porque o ferro reduzido ( $\text{Fe}^{2+}$ ), e, portanto solúvel, ao atravessar o sistema de filtragem, pode se oxidar, tornando-se insolúvel ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Após a oxidação, ferro fica retido nas paredes do tubo, provocando o aumento nas perdas de carga, comprometendo o projeto de irrigação (HERNANDEZ et al, 2001). Segundo Nakayama e Bucks (1986, p. 143), o ferro total em concentrações acima de 0,2 mg/l na água de irrigação, já pode precipitar e ocasionar danos moderados pela obstrução de tubulação e emissores.

A capacidade de oxidação e redução do ferro em água pode ser influenciada por outros parâmetros, como o pH, concentração de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ , presença de ferrobactérias, compostos orgânicos e concentração de fósforo. De acordo com Lima (1993, p. 176), o  $\text{CO}_2$  favorece a dissolução do ferro em água, exceto na presença do oxigênio, mesmo em elevadas concentrações. No caso do pH, Marques Junior (1998) citado por Hernandez et al (2001), verificou que a produção de complexos de ferro são especialmente graves quando o pH da água se encontra entre 7,0 e 7,8.

Em relação as ferrobactérias, Nakayama e Bucks (1986, p. 146), constataram que a precipitação do ferro é favorecida pela presença de bactérias dos gêneros *Gallionella*, *Leptothrix*, *Toxothrix*, *Crenothrix*, e *Sphaerotilus*.

Alguns compostos orgânicos também podem favorecer a precipitação natural de ferro como os taninos, compostos fenólicos e ácidos húmicos (NACKAYAMA e BUCKS, 1986, p. 146-147), originados da decomposição de plantas e animais e a partir de produtos de excreção destes organismos (ESTEVES, 1988, p. 168). Outro fato que pode contribuir para a precipitação de ferro é o excesso de fósforo, pois segundo Esteves (1988, p. 221-223), em condições menos ácidas, como é a maioria das águas continentais, a maior parte do íon férrico ( $Fe^{3+}$ ) encontra-se precipitado ou complexado na forma de hidróxido de ferro hidratado ( $Fe^{3+} + 6H_2O \rightarrow [Fe.6H_2O]^{3+} \rightarrow [Fe(OH).5H_2O]^{2+} + H^+$ ), podendo adsorver espécies fosfatadas ( $H_2PO_4^{2-}$  e  $HPO_4^{2-}$ ) em sua superfície, precipitando-as principalmente no sedimento.

Além desses condicionantes já citados, as próprias situações transitórias do escoamento no interior das tubulações podem favorecer a oxigenação da água, e consequentemente, a precipitação do ferro. Para Gomes (1997, p. 110), essas situações transitórias podem ser provocadas por abertura e fechamento de válvulas, pela evacuação de ar dos condutos, nas manobras de arranque e parada do bombeamento, etc.

#### **2.5.2.4. Oxigênio Dissolvido**

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização dos ecossistemas aquáticos (MORAES, 2001, p. 33), sendo originado, naturalmente, da dissolução do oxigênio atmosférico e da produção por organismos fotossintéticos (VON SPERLING, 1996, p. 33).

A dinâmica do oxigênio dissolvido na água está intimamente relacionada com a biota aquática, pois faz parte dos processos de fotossíntese e respiração ou decomposição, que, por sua vez estão diretamente relacionados ao fotoperíodo, à intensidade luminosa e à temperatura (MORAES, 2001, p. 34). Através da fotossíntese, o oxigênio é liberado, aumentando a sua concentração na água durante o dia, sendo que o inverso ocorre durante a noite, devido a predominância da respiração (LARCHER, 2000, p. 6).

A concentração de gases em água depende da sua solubilidade, que por sua vez, varia de acordo com a sua composição, aumentando com a pressão parcial do gás no meio adjacente (a atmosfera, por exemplo) e diminuindo com a temperatura e com a concentração de substâncias dissolvidas ou a salinidade (BRAGA et al, 2002, p. 75). Segundo Porto et al (1991, p. 49), a solubilidade do oxigênio pode variar de 14,6 mg/l a 0°C até 7,6 mg/l a 30°C, dependendo da pressão (altitude) e sais dissolvidos.

A ação antrópica, por meio de lançamentos de efluentes domésticos ou industriais, pode alterar o curso natural da dinâmica do oxigênio na água, pois de acordo com von Sperling (1996, p. 93), as bactérias decompositoras, consomem oxigênio disponível no processo de estabilização da matéria orgânica, reduzindo significativamente sua concentração na água. No entanto, os corpos d'água têm a capacidade de recuperar as condições naturais de oxigênio dissolvido por meio da autodepuração, que é o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, após alterações induzidas pelos despejos afluentes (VON SPERLING, 1996, p. 93).

A resolução nº 20/86 do CONAMA, de acordo com os padrões de qualidade de água, estabelece que em qualquer amostra coletada, os valores de oxigênio dissolvido para as águas de classes 1, 2 e 3, não podem ser inferior a 6, 5 e 4 mg/l, respectivamente.

O oxigênio dissolvido, embora na prática, não seja um parâmetro utilizado na caracterização da qualidade de água para a irrigação, pode ser um indicativo da poluição (MORAES, 2001, p. 34), da concentração de sólidos dissolvidos (LARCHER, 2000, p. 5) e de matéria orgânica (VON SPERLING, 1996, p. 93) na água. Outro fato a se considerar, é que a concentração de oxigênio dissolvido influencia diretamente a oxidação de ferro na água, pois em pH igual a 7, meio miligrama por litro de O<sub>2</sub> já é o suficiente para precipitar íons ferrosos (LIMA, 1993, p. 176).

#### **2.5.2.5. Dureza Total**

A dureza da água pode ser definida como a concentração de sais solúveis, geralmente associada ao cálcio (Ca<sup>+2</sup>) e magnésio (Mg<sup>+2</sup>), embora estejam presentes outras substâncias como os cátions ferrosos e manganosos (LIMA, 1993,

p. 167). A origem natural desses elementos na água ocorre através da dissolução de minerais, solos e rochas (PORTO et al, 1991, p. 29), como por exemplo, a calcita e a dolomita (CAPUTO, 1974, v. 1, p. 19), ou por despejos industriais (VON SPERLING, 1996, p. 29).

O principal problema de qualidade de água para a irrigação em relação a dureza, segundo Nakayama e Bucks (1986, p. 142), é a precipitação dos carbonatos de cálcio e magnésio, que pode ocorrer, principalmente, se a água apresentar elevada dureza e valores de pH acima de 7,5. Para Ayers e Westcot (1991, p. 14), os valores normais de cálcio e magnésio na água de irrigação, devem ser de 0 a 20 meq/l de  $\text{Ca}^{2+}$  (400 mg/l de  $\text{Ca}^{2+}$ ) e 5 meq/l de  $\text{Mg}^{2+}$  (60 mg/l  $\text{Mg}^{2+}$ ).

A alta dureza da água também pode ser limitante para a fertirrigação, pois valores acima de 100 mg/l de cálcio e de 43 mg/l de magnésio aumentam consideravelmente o risco de precipitação de fertilizantes fosfatados no interior das tubulações (COELHO et al, 2002, p. 12).

### **2.5.3. Parâmetros Biológicos**

#### **2.5.3.1. Coliformes**

A maioria das bactérias encontradas na água são provenientes do solo, sendo a maior parte composta de bactérias saprófitas, nitrificadoras e fixadoras de nitrogênio, responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. No entanto, existem bactérias presentes na água, que podem ser patogênicas, como as do grupo coliformes, que segundo Soares e Maia (1999, p. 63), são em sua maioria bactérias intestinais, excretadas pelas fezes e não são geralmente patogênicas, embora que sua presença nas águas, indicam a probabilidade de ocorrência de germes patogênicos.

As bactérias do grupo coliformes podem se dividir em coliformes totais e coliformes fecais. Os coliformes totais constituem-se em um grande grupo de bactérias que tem sido isoladas de amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, bem como de fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente. Já os coliformes fecais, são bactérias indicadoras de organismos originários do trato intestinal humano e de outros animais (VON SPERLING, 1996, p. 75).

Sendo assim, se a água utilizada para a irrigação, é proveniente de um manancial que recebe esgoto doméstico, a determinação dos coliformes totais e fecais, são imprescindíveis, pois de acordo com von Sperling (1996, p. 75), são os principais indicadores de contaminação fecal.

Pela resolução nº 20/86 do CONAMA, os limites máximos permissíveis de coliformes totais e fecais para as águas de classes 1, 2 e 3, destinadas a irrigação, estão apresentadas na tabela 2.

**Tabela 2.** Limites máximos permissíveis de coliformes para as águas destinadas à irrigação, de acordo com a resolução nº 20/86 do CONAMA.

Classificação das Águas	Coliformes Totais*	Coliformes Fecais*
Classe Especial	Ausente	Ausente
Classe 1	Ausente	Ausente
Classe 2	5.000/100 ml	1.000/100 ml
Classe 3	20.000/100 ml	4.000/100 ml

\*Para se tornar inapta, os limites devem ser excedidos em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais, colhidas em qualquer mês.

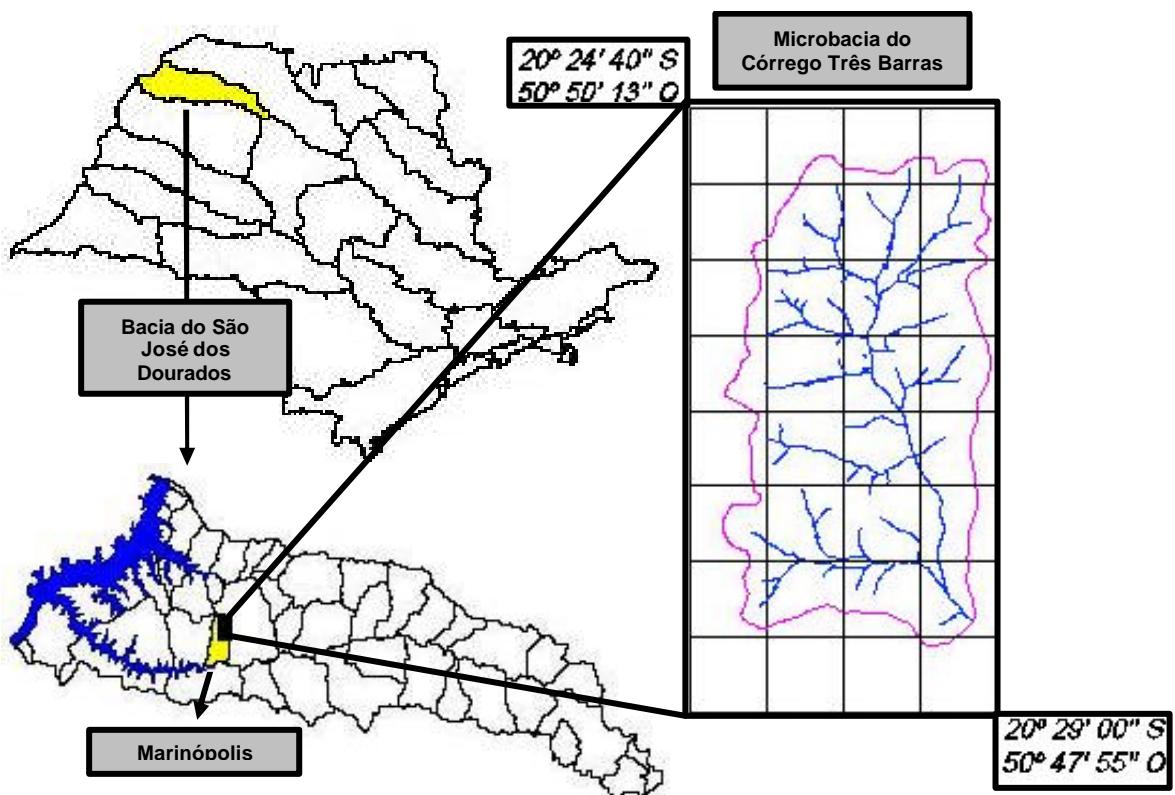
O problema dos coliformes na água da irrigação, principalmente os fecais, é a presença da *Escherichia coli*, que poderá representar um sério risco à saúde, uma vez que existem algumas linhagens que são capazes de provocar distúrbios gastrintestinais em crianças e adultos (SOARES e MAIA, 1999, p. 63).

As doenças de veiculação hídrica podem resultar em sérios problemas de saúde da população. De acordo com Tundisi (2003, p. 43), a falta de água de boa qualidade e ao saneamento resulta em centenas de milhões de casos de doenças de veiculação hídrica e mais de 5 milhões de mortes a cada ano. Estima-se que entre 10.000 a 20.000 crianças morrem todo dia vítimas de doenças de veiculação hídrica.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização da Área de Estudo

Este trabalho foi conduzido na microbacia do córrego Três Barras, localizada no perímetro rural do município de Marinópolis - SP, nos domínios da bacia do São José dos Dourados, entre as coordenadas geográficas de 20°24'40" Sul e 50°50'13" Oeste e 20°29'00" Sul e 50°47'55" Oeste (Figura 2).



**Figura 2.** Localização da bacia experimental.

O município tem uma área total de 77,4 km<sup>2</sup>, da qual parte localiza-se na sub-bacia do Baixo São José dos Dourados, com 40,03 km<sup>2</sup> de áreas emersas e 0,35 km<sup>2</sup> de áreas submersas (2,2% da área da sub-bacia) e parte na sub-bacia do

Ribeirão Coqueiro /São José dos Dourados, com 37,05 km<sup>2</sup> de terras emersas (5,8% da área total da sub-bacia).

As vias de acesso ao município e a microbacia são as Rodovias Euphly Jales (SP-563), Vicinal José Marin Toledo e pela Estrada Fazenda do Baiano e Estrada Velha para Palmeira d'Oeste.

### 3.2. Características Sócio-Econômicas

O município de Marinópolis - SP tem uma população total de 2.195 habitantes, sendo 1.647 residentes na área urbana e 548 na área rural (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2004), com uma densidade demográfica de 28,35 hab/km<sup>2</sup>.

A principal fonte de renda do município vem da agricultura, representada principalmente pela pecuária e frutíferas (citros, uva e anonáceas) (Tabela 3). Na safra 1999/2000, estima-se que o valor da produção agrícola do município chegou a aproximadamente R\$ 5.847.176,68 (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2003).

**Tabela 3.** Características da exploração agrícola no município de Marinópolis, SP.

Exploração Agropecuária	Área (ha)	Nº de Upas	Produção	Produtividade
Bovinocultura de corte	3.800	36	16.000 @/ano	16 @/cabeça
Bovinocultura de leite	600	15	500.000 litros/ano	6 litros/vaca/dia
Bovinocultura mista	1.900	90	300.000 litros/ano	3 litros/vaca/dia
Laranja	800	93	350.000 cxs	2 cx/pé
Limão	110	57	64.000 cxs	4 cx/pé
Banana	270	35	1.700 t	10 t/ha
Uva de Mesa	36	24	120.000 cxs	5 cx/pés
Café	85	20	900 sc	15 sc/1000 pérs
Seringueira	35	2	32.200 Kg	2,5 Kg/pé
Algodão	80	8	10.400 @	130 @/ha
Milho	130	15	6.500 sc	50 sc/ha
Anona	45	24	600.000 frutos	60 fruto/pé

**Fonte:** Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (2003).

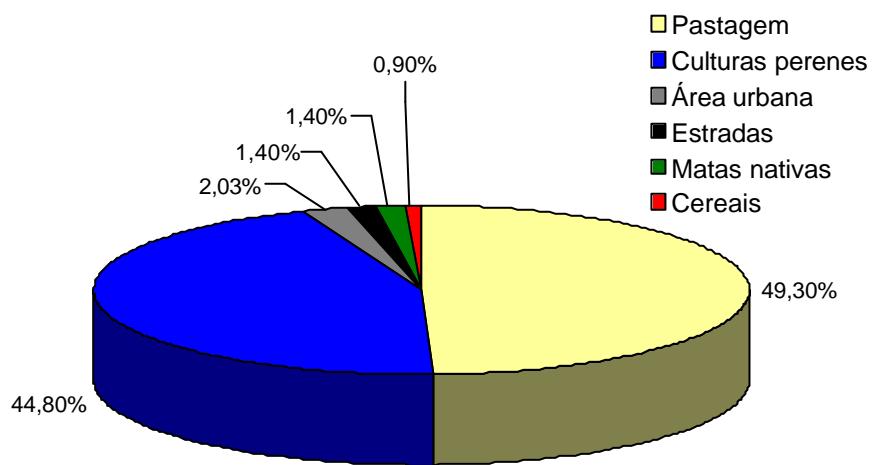
Segundo a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (2003, p. 2) a maior parte da área da microbacia é ocupada por pequenos produtores (54% dos produtores), que tem como base de produção a fruticultura, com destaque para Citros e Uva e uma considerável área de pastagens, onde se desenvolve a pecuária de corte e leite.

### 3.3. Geologia, Litoestratigrafia, Pedologia e Uso do Solo

De acordo com o Comitê da Bacia do São José dos Dourados (2003, p. 17), as unidades geológicas que afloram nesta bacia são as rochas ígneas basálticas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral e as rochas sedimentares do Grupo Bauru, Formação Caiuá.

Abaixo das rochas basálticas localizam-se as Formações de arenito, Botucatu e Pirambóia, que formam em conjunto com a Formação Serra Geral, o Grupo São Bento (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1981, v. 1, p. 62). Essas formações são responsáveis pelos aquíferos confinados Botucatu e Pirambóia, atualmente denominado de aquífero Guarani, constituindo-se em uma das maiores reservas subterrâneas de água doce do planeta (DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, 1999b).

Segundo a CATI (2003, p. 9), 97% dos solos da microbacia foram classificados como ARGISOLLO VERMELHO, de alta susceptibilidade a erosão e 3% de um Saprolito. Da área total da microbacia (1.776,5 ha) a ocupação dos solos segue a seguinte distribuição: 876,26 ha (49,32%) de pastagem, 795,86 ha (44,8%) de culturas perenes, 36,11 ha (2,03%) de área urbana, 24,82 ha (1,4%) de estradas, 24,25 ha (1,37%) de matas nativas e 19,22 ha (0,89%) de cereais (Figura 3).



**Figura 3.** Uso dos solos da microbacia do córrego Três Barras em Marinópolis.

### 3.4. Clima

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é o subtropical úmido, Cwa, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso (PEREIRA, 2002, p. 304-308).

Os parâmetros climáticos médios determinados para a microbacia, foram obtidos com a coleta de seis anos de dados, por meio de um datalogger Campbell CR-10X localizado dentro da microbacia. Os valores médios de 1998 a 2002 e em 2003, determinados para a microbacia do córrego Três Barras, estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Parâmetros climáticos médios anuais para a microbacia do Córrego Três Barras, Marinópolis – SP.

Parâmetro	1998-2002	2003
Temperatura <sup>1</sup>	23,9 °C	24,0 °C
Umidade relativa <sup>1</sup>	71,5 %	75,9 %
Velocidade do vento <sup>1</sup>	1,4 m/s	1,5 m/s
Direção do vento <sup>1</sup>	122º (Sudoeste)	-
Radiação global <sup>1</sup>	18,1 MJ/m <sup>2</sup> .d	18,7 MJ/m <sup>2</sup> .d
Radiação líquida <sup>1</sup>	11,7 MJ/m <sup>2</sup> .d	12,2 MJ/m <sup>2</sup> .d
Evapotranspiração de referência <sup>2,3</sup>	1.276,6 mm	1.376,6 mm
Precipitação <sup>2</sup>	1.142,5 mm	977,6 mm

<sup>1</sup> Média diária; <sup>2</sup> Média anual acumulada; <sup>3</sup> Penman-Monteith (ALLEN et al, 1998).

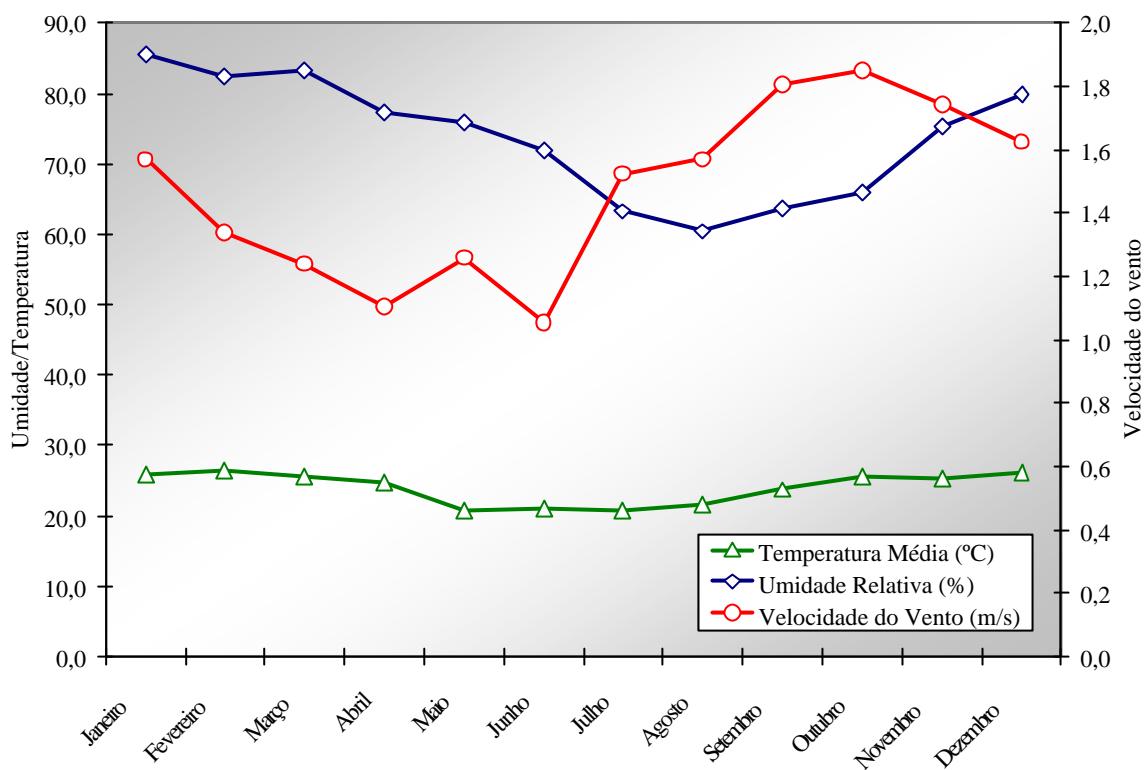
**Fonte:** Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP – Ilha Solteira.

A partir dos dados climáticos, determinou-se o comportamento das variáveis climáticas no decorrer do ano, na microbacia, os quais estão apresentados nas Figuras 4, 5 e 6.

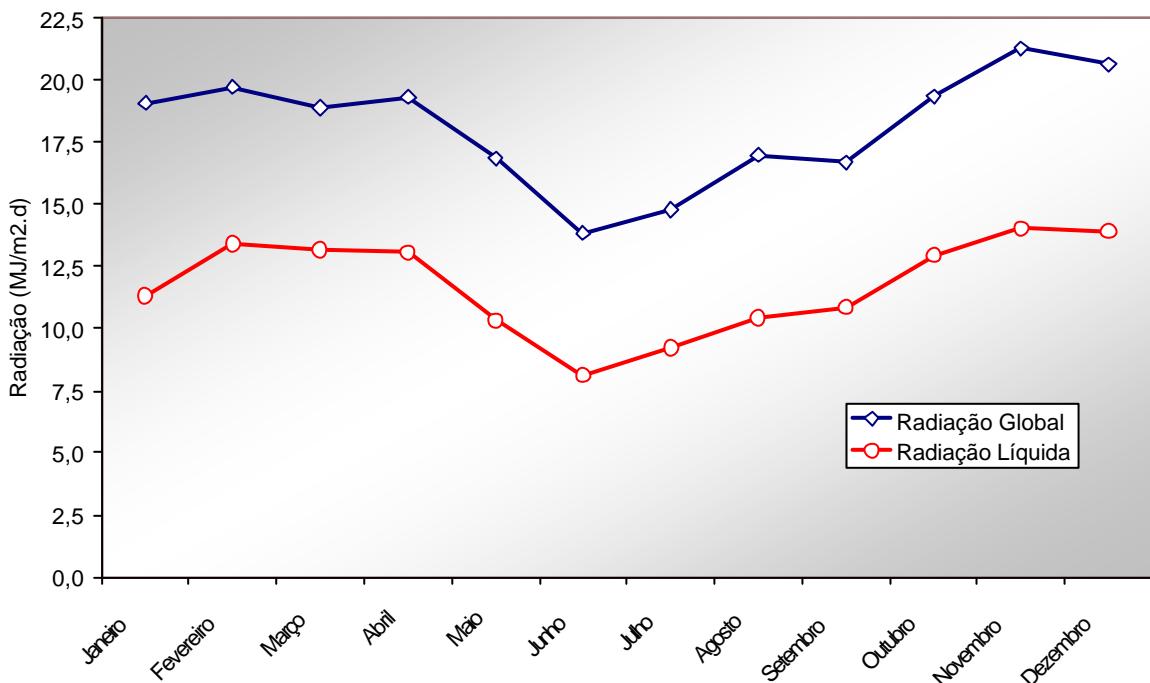
### 3.5. Fisiografia e Recursos Hídricos

A base cartográfica utilizada no levantamento dos recursos hídricos da microbacia foi o mapa planialtimétrico da microbacia do córrego Três Barras em escala de 1:10.000, elaborado por fotogrametria pela equipe de Engenharia do Escritório de Desenvolvimento Rural de Jales, CATI.

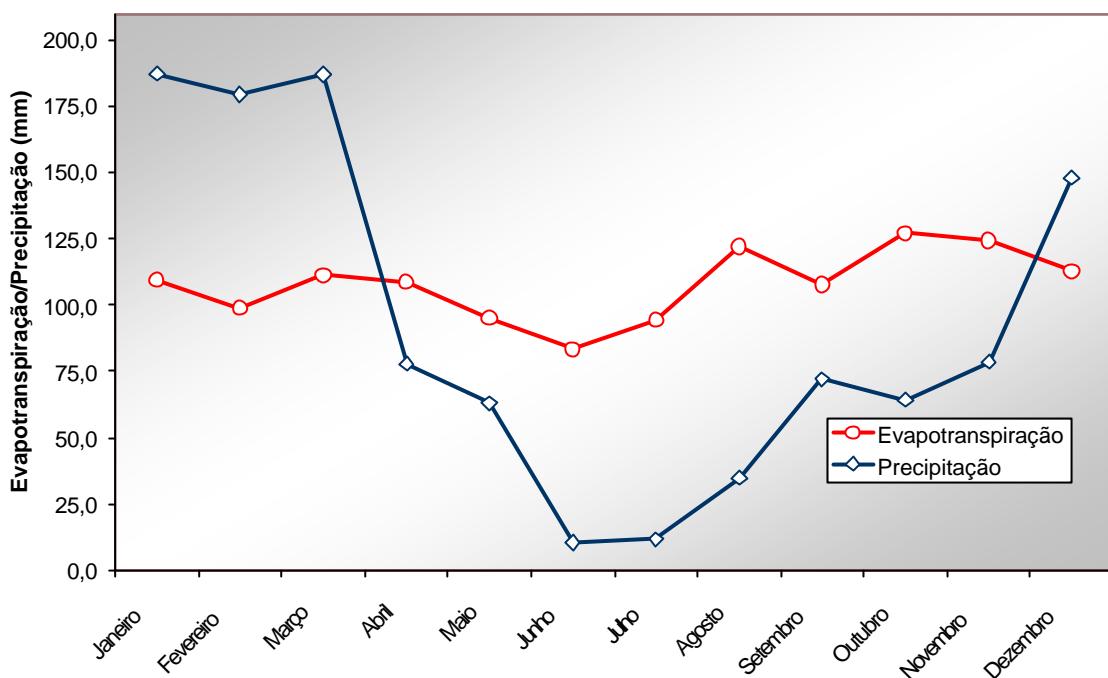
Com o auxílio dos softwares ARCVIEW 3.2 e SIGRH (Sistema de Informações para Gerenciamento dos Recursos Hídricos), determinaram-se as características fisiográficas e os aspectos quantitativos dos recursos hídricos da microbacia (Tabela 5).



**Figura 4.** Comportamento das variáveis temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, no decorrer do ano.



**Figura 5.** Comportamento da radiação no decorrer do ano.



**Figura 6.** Balanço entre precipitação e evapotranspiração no decorrer do ano.

**Tabela 5.** Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos para a microbacia.

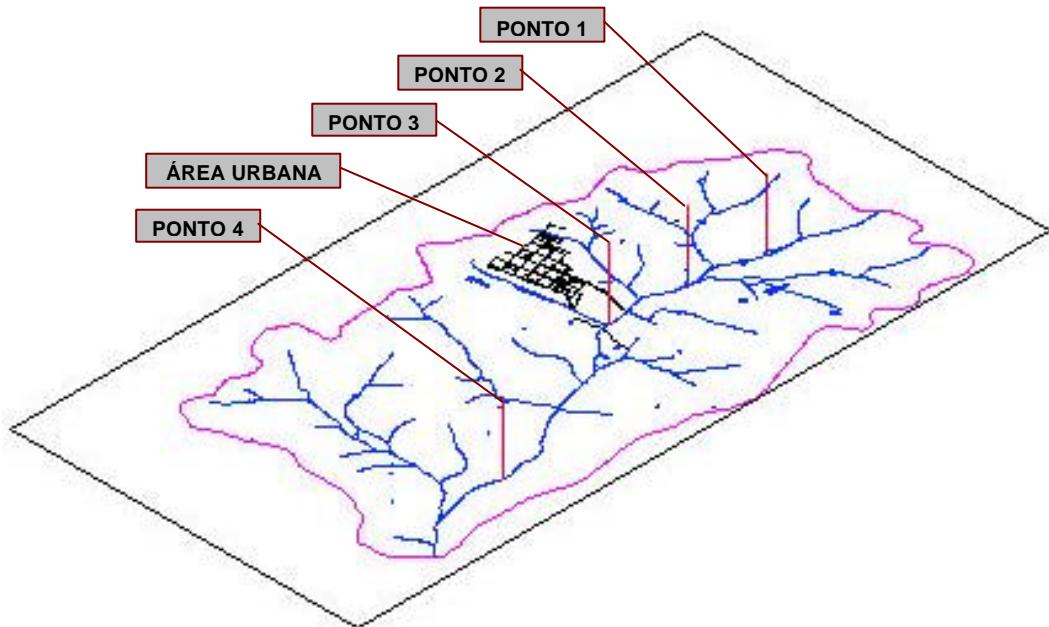
Área de Drenagem	17,77 km <sup>2</sup>
Perímetro	20,04 km
Comprimento Leito Principal	6,61 km
Elevação média	393 m
Declividade Equivalente	0,009 m/m
Fator de Forma	0,41
Coeficiente de Compacidade	1,33
Densidade de Drenagem	2,1 km/km <sup>2</sup>
Tempo de Concentração	105 minutos
Vazão média plurianual	392,4 m <sup>3</sup> /h
Vazão de permanência com 95 % de probabilidade	122,4 m <sup>3</sup> /h
Vazão mínima de 1 mês consecutivo com período de retorno de 10 anos	115,2 m <sup>3</sup> /h
Vazão mínima de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos	90,0 m <sup>3</sup> /h

Para fins de classificação das águas segundo os padrões de qualidade exigidos pela Resolução nº 20/86 (CONAMA, 1986), o córrego Três Barras é considerado de Classe 2, destinado a irrigação de hortaliças e frutas.

### 3.6. Localização dos Pontos de Avaliação

Para as avaliações de qualidade de água e vazão, ao longo do leito principal do córrego, foram georreferenciados com o auxílio de um GPS, quatro pontos para amostragens de água, dentre os quais, em três desses pontos, também foram efetuadas medições de vazão (Figura 7). As coletas de amostras e tomadas de vazão foram realizadas simultaneamente, em intervalos de aproximadamente um mês, entre o período de 20/12/2002 e 10/12/2003, totalizando doze amostras de água e medidas de vazão por ponto avaliado. Para evitar o efeito imediato das chuvas sobre a vazão e qualidade da água, as avaliações foram realizadas com pelo menos 24 horas da última chuva.

Para escolher os locais de avaliação, procurou-se seguir os seguintes critérios: (1) influência das características baciais sobre a qualidade da água; (2) otimização dos métodos de medição de vazão; (3) e a subdivisão da microbacia em pontos eqüidistantes. A localização dos pontos de avaliação, bem como as características locais e os dados coletados em cada um serão descritos a seguir.



**Figura 7.** Pontos de coletas de água e medições de vazão.

### 3.6.1. Ponto 1

Este ponto, sendo o ponto mais próximo da nascente, localiza-se a uma distância de 1.145 metros da mesma, com coordenadas geográficas de 20°25'41,2" Sul e 50°48'53,5" Oeste (Figura 8).



**Figura 8.** Local do primeiro ponto de avaliação (duas fotos) e medindo a vazão (à esquerda).

Neste ponto, as amostragens de água foram realizadas na represa e as vazões foram determinadas a jusante da mesma, pelo método volumétrico direto, devido a possibilidade de captar os volumes escoados pelos dois estravazadores da barragem. As características fisiográficas e os aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 1, estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 1.

Área de Drenagem	0,90 km <sup>2</sup>
Perímetro	3,85 km
Comprimento Leito Principal	1,145 km
Elevação média	409 m
Declividade Equivalente	0,019 m/m
Fator de Forma	0,68
Coeficiente de Compacidade	1,14
Densidade de Drenagem	1,91 km/km <sup>2</sup>
Tempo de Concentração	20 minutos
Vazão média plurianual	21,6 m <sup>3</sup> /h
Vazão de permanência com 95 % de probabilidade	7,2 m <sup>3</sup> /h
Vazão mínima de 1 mês consecutivo com período de retorno de 10 anos	7,2 m <sup>3</sup> /h
Vazão mínima de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos	3,6 m <sup>3</sup> /h

### 3.6.2. Ponto 2

Este ponto está localizado a jusante da união dos três afluentes que originam o córrego Três Barras (ver Figura 7), na parte intermediária da microbacia, a uma distância de 1.908 metros da nascente, com coordenadas geográficas de 20°26'06,8" Sul e 50°48'49" Oeste (Figura 9).



**Figura 9.** Local do segundo do ponto de avaliação (à esquerda) e outro trecho a jusante (à direita).

Neste trecho, o córrego é caracterizado pela ausência de matas ciliares e pelo processo avançado de assoreamento, sendo o leito raso e alargado, e quase todo ocupado por macrófitas aquáticas. As avaliações neste ponto restringiram-se somente as análises de água, não sendo possível, devido as características da calha, medir a vazão por nenhum dos métodos disponíveis. As características fisiográficas e os aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 2, estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 2.

Área de Drenagem	4,62 km <sup>2</sup>
Perímetro	9,33 km
Comprimento Leito Principal	1,908 km
Elevação média	402 m
Declividade Equivalente	0,019 m/m
Fator de Forma	1,27
Coeficiente de Compacidade	1,22
Densidade de Drenagem	2,14 km/km <sup>2</sup>
Tempo de Concentração	30 minutos
Vazão média plurianual	108 m <sup>3</sup> /h
Vazão de permanência com 95 % de probabilidade	36 m <sup>3</sup> /h
Vazão mínima de 1 mês consecutivo com período de retorno de 10 anos	32,4 m <sup>3</sup> /h
Vazão mínima de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos	25,2 m <sup>3</sup> /h

### 3.6.3. Ponto 3

Este ponto localiza-se a jusante da cidade, a uma distância de 2.846 metros da nascente, com coordenadas geográficas de 20°26'32,6" Sul e 50°48'51,2" Oeste (Figura 10). Neste ponto foram realizadas as análises da água e medidas de vazões pelo método do vertedor triangular de soleira delgada de 90°.



**Figura 10.** Local do terceiro ponto de avaliação (à esquerda) e medindo a vazão (à direita).

A cerca de trinta metros a montante desse ponto é lançado o esgoto proveniente da estação de tratamento da Sabesp do tipo lagoa de estabilização facultativa (Figura 11), dotada de um sistema de tratamento com floculadores e decantadores, cujas características qualitativas e quantitativas do efluente estão apresentadas nas Tabelas 8 e 9.



**Figura 11.** Estação de tratamento de esgoto (á esquerda) e despejo de efluente (á direita).

**Tabela 8.** Características do efluente da estação de tratamento de esgoto da SABESP do município de Marinópolis – SP e da qualidade da água a montante e a jusante do lançamento.

Local de Coleta da Amostra	Temperatura °C	Parâmetro										
		OD	DQO	DBO	ST	STF	STV	SSp	SSF	SSV	N-a	P-t
AT	38	-	1118	432	1015	420	595	392	64	328	38,0	7,57
ET	37	6,0	89	30	485	380	105	44	4	40	28,8	4,48
Lagoa	38	1,8	509	100	835	419	416	336	124	212	35,5	7,40
Qe					10,0 – 11,0	m <sup>3</sup> /h						

**OBS:** AT (Antes do tratamento); ET (Efluente tratado); Qe (Vazão média do esgoto); OD (oxigênio dissolvido); DQO (demanda química de oxigênio); DBO (demanda bioquímica de oxigênio); SS (sólidos suspensos); ST (sólidos totais); F (fixos); V (voláteis); p (em suspensão); N-a (nitrogênio amoniacal); P-t (fósforo total).

**Fonte:** Análise efetuada pela SABESP no dia 08/04/2003.

**Tabela 9.** Monitoramento da qualidade do efluente da estação de tratamento de esgoto da SABESP do município de Marinópolis – SP e da qualidade da água 500 m a jusante do lançamento.

Data da Coleta	Efluente Final			A jusante do lançamento		
	DBO (mg/l)	pH	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	CT (nmp)	E. coli
Quarta-feira - 20/8/1997	76	7,32	3,6	5,60	-	-
Quarta-feira - 10/9/1997	425	-	26,9	2,60	-	-
Quarta-feira - 8/10/1997	91	-	16,0	3,00	-	-
Quarta-feira - 6/1/1999	212	7,20	11,6	5,00	791000	66900
Segunda-feira - 26/6/2000	210	7,90	49,0	0,00	-	-
Domingo - 22/3/2001	17	8,39	32,0	3,00	-	-
Quinta-feira - 7/10/2001	215	7,59	5,5	0,80	25900	86
Segunda-feira - 28/1/2002	139	8,29	21,0	3,02	19900	5200
Quarta-feira - 19/6/2002	146	7,60	22,0	0,10	113000	14300
Sexta-feira - 4/10/2002	125	7,40	70,0	0,24	816000	325000
Segunda-feira - 9/12/2002	26	7,30	3,6	3,50	75400	1000
Terça-feira - 8/4/2003	30	7,50	3,6	5,00	-	-
Média	143	7,65	22,1	2,66	306867	68748

**OBS:** DBO (demanda bioquímica de oxigênio); OD (oxigênio dissolvido); CT (coliformes totais); E. coli (coliformes fecais).

**Fonte:** Análises / SABESP.

As características fisiográficas e os aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 3, estão apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10.** Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 3.

Área de Drenagem	6,76 km <sup>2</sup>
Perímetro	11,78
Comprimento Leito Principal	2,846 km
Elevação média	399 m
Declividade Equivalente	0,013 m/m
Fator de Forma	0,83
Coeficiente de Compacidade	1,27
Densidade de Drenagem	2,33 km/km <sup>2</sup>
Tempo de Concentração	48 minutos
Vazão média plurianual	158,4 m <sup>3</sup> /h
Vazão de permanência com 95 % de probabilidade	50,4 m <sup>3</sup> /h
Vazão mínima de 1 mês consecutivo com período de retorno de 10 anos	46,8 m <sup>3</sup> /h
Vazão mínima de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos	36,0 m <sup>3</sup> /h

### 3.6.4. Ponto 4

O quarto ponto de avaliação e o mais próximo da foz da microbacia, a uma distância de 5.389 metros da nascente e com coordenadas geográficas de 20°27'18,7" Sul e 50°48'27,6" Oeste, caracteriza-se pela presença de mata ciliar nativa e leito rochoso. Neste ponto foram realizadas amostragens de água para análise e medições de vazão pelo método do vertedor triangular de soleira delgada de 90º (Figura 12).



**Figura 12.** Quarto ponto de coleta de dados (à esquerda) e medindo vazão (à direita).

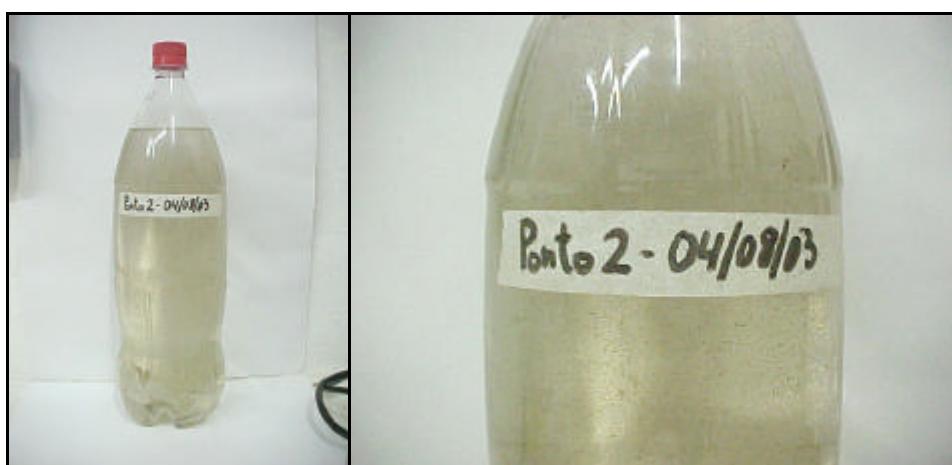
As características fisiográficas e os aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 4, estão apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11.** Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos para o ponto 4.

Área de Drenagem	13,12 km <sup>2</sup>
Perímetro	17,01
Comprimento Leito Principal	5,389 km
Elevação média	395 m
Declividade Equivalente	0,007 m/m
Fator de Forma	0,45
Coeficiente de Compacidade	1,31
Densidade de Drenagem	2,10 km/km <sup>2</sup>
Tempo de Concentração	99 minutos
Vazão média plurianual	309,6 m <sup>3</sup> /h
Vazão de permanência com 95 % de probabilidade	97,2 m <sup>3</sup> /h
Vazão mínima de 1 mês consecutivo com período de retorno de 10 anos	90,0 m <sup>3</sup> /h
Vazão mínima de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos	72,0 m <sup>3</sup> /h

### 3.7. Coleta e Análise da Água

Os parâmetros físico-químico-biológicos de qualidade da água avaliados foram sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, turbidez, pH, dureza total, cálcio, magnésio, ferro total, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, coliformes fecais e totais. As amostras de água foram coletadas em garrafas de polietileno de dois litros bem higienizadas e acondicionadas em caixas de isopor com gelo, sendo posteriormente levadas a laboratório (Figura 13).



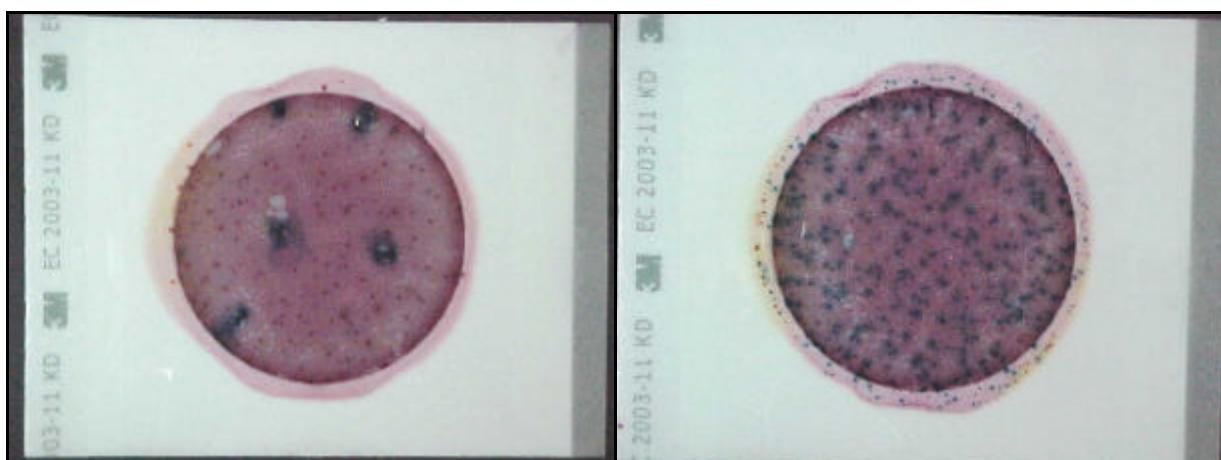
**Figura 13.** Detalhe da amostra (à esquerda) e identificação (à direita).

Para as análises de oxigênio dissolvido, as amostras foram coletadas em garrafas de Van Dorn, onde simultaneamente, adicionavam-se os reagentes para a complexação do oxigênio ainda no campo, evitando assim, a desoxigenação durante o transporte das amostras (Figura 14).



**Figura 14.** Detalhe da coleta de água para a análise de oxigênio dissolvido.

As análises laboratoriais de sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos foram realizadas de acordo com o método gravimétrico. O pH, turbidez e condutividade elétrica foram determinados diretamente por pH-metro, turbidímetro e condutivímetro respectivamente. A dureza total, cálcio e magnésio, foram determinados por titulação. O oxigênio dissolvido foi determinado pelo método de Winkler modificado e os coliformes totais e fecais foram determinados pelo método do petrifilm (Figura 15).



**Figura 15.** Detalhe das colônias de coliformes totais (pontos vermelhos) e fecais (pontos azuis) sobre o petrifilm.

A síntese dos parâmetros avaliados, bem como os métodos e equipamentos empregados nas análises, estão apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12.** Síntese das metodologias e dos equipamentos empregados nas análises dos parâmetros de qualidade de água avaliados.

Parâmetro	Método	Precisão	Equipamentos
Sólidos totais			Cápsula de porcelana, balança eletrônica de precisão JK-200 da YMC CO, estufa 305 SE da Fanem, dissecador e papel de filtro (poros de 28 µm).
Sólidos dissolvidos	Gravimétrico	1,0 mg/l	
Sólidos suspensos			
Turbidez	Nefelométrico	0,1 NTU	Turbidímetro 2020 La Motte
pH	Peagâmetro	0,01	Peagâmetro Q-400A da Quimis
Condutividade elétrica	Eletrodo de platina	0,1 µS/cm a 25º C	Condutivímetro DM3 Digimed
Ferro total	Colorimétrico ferroespectral	0,1 mg/l	Colorímetro Merck
Oxigênio dissolvido	Winkler modificado	0,1 mg/l	Pipetas de 2 ml, garrafas de Van Dorn e bureta
Dureza total			
Cálcio	Titulação	1,0 mg/l	Bureta e pipetas
Magnésio			
Coliformes Totais	Contagem de bactérias	100 Col/100 ml	Petrifilm 3M
Coliformes Fecais			

As análises de pH, coliformes totais e fecais, foram realizadas com no máximo 12 horas da coleta. As análises de ferro total, oxigênio dissolvido, turbidez e condutividade elétrica foram realizadas com no máximo 24 horas da coleta. Para sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, dureza total, cálcio e magnésio, as análises foram realizadas em no máximo 7 dias após a coleta.

### 3.8. Descarga Sólida Total

No ponto 1, devido a vazão ser medida diretamente nas tubulações, e com isso, a descarga sólida do leito é inexistente, a determinação da descarga sólida total foi realizada diretamente em função descarga sólida em suspensão, pelo produto da vazão com a concentração de sólidos em suspensão (somatório das partículas em suspensão e dissolvidas). No ponto 2, não foi possível determinar a descarga sólida total, devido a impossibilidade de medir as vazões neste ponto.

Nos pontos 3 e 4, a descarga sólida total foi determinada pelo método de Colby (1954) (CARVALHO, 1994, p. 201), que utiliza os valores de concentração de sólidos em suspensão, da velocidade média do fluxo e das dimensões do canal, para estimar a descarga sólida do leito.

As velocidades do fluxo foram obtidas pela razão entre a vazão e a respectiva seção molhada. As seções molhadas foram determinadas através do dimensionamento do perfil lateral do canal, coletando-se as profundidades do mesmo, a cada 10 cm de distância de uma margem a outra. Após a digitalização das dimensões em ambiente AUTOCAD 2000, determinaram-se as respectivas áreas molhadas.

### **3.9. Análise dos Dados**

#### **3.9.1. Vazão e Descarga Sólida Total**

A análise da vazão e descarga sólida total foi realizada por meio de tabelas contendo dados de estatística descritiva (mínimo, máximo e média) e as médias nos períodos seco e chuvoso, por ponto avaliado, bem como as diferenças entre os períodos, expressas em porcentagem.

Também foram realizadas análises de regressão, visando estabelecer relações entre essas duas variáveis, por meio de curvas de descarga sólida (SANTOS et al, 2001, p. 245).

#### **3.9.2. Caracterização da Qualidade de Água**

Como ainda não existe nenhuma classificação completa de qualidade de água para a irrigação, que abrange todos os parâmetros que podem ocasionar algum tipo de problema na utilização dessa tecnologia, procurou-se integrar as classificações existentes na literatura, para se estabelecer padrões de qualidade de água para a irrigação.

Sendo assim, a caracterização da qualidade de água de irrigação, levou em consideração o potencial de dano a operação de sistemas de irrigação localizada, qualidade de água de classe 2 destinadas a irrigação e o risco de salinização do solo, embora esses limites podem variar de acordo com características regionais, diferentes das condições em que foram determinados.

Os parâmetros utilizados na caracterização da qualidade de água, bem como os problemas relacionados com cada parâmetro e os limites estabelecidos de acordo com as classificações, estão apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13.** Parâmetros avaliados e limites estabelecidos para a classificação da qualidade de água para a irrigação.

Problema	Classificação	Limites Estabelecidos			Referência
		Baixo	Médio	Alto	
Dano a sistemas de irrigação localizada	Sólidos suspensos (mg/l)	< 50	50 - 100	>100	Nakayama & Bucks (1986)
	Sólidos dissolvidos (mg/l)	< 500	500 – 2.000	> 2.000	
	pH	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0	
	Ferro total (mg/l)	< 0,2	0,2 – 1,5	> 1,5	
Contaminação por microorganismos patogênicos, excesso de sólidos e carga orgânica	Classificação	Adequado	Inadequado		
	Turbidez (NTU)	= 100	> 100		Resolução N° 20/86 do CONAMA
	Oxigênio dissolvido (mg/l)	= 5,0	> 5,0		
	Coliformes totais (/100 ml)	= 5.000	> 5.000		(1986): Águas de classe II
Risco de salinização do solo	Classificação	Baixo	Médio	Alto	U. S. D. A. Agriculture Handbook N° 60
	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)	< 250	250 - 750	750 – 2.250	
Risco de precipitação de sais	Classificação	Normal		Alto	Ayers e Westcot (1991)
	Cálcio (mg/l)	0 - 400		> 400	
	Magnésio (mg/l)	0 - 60		> 60	

Depois de estabelecida a classificação, a caracterização da qualidade de água foi realizada por meio de tabelas contendo dados de estatística descritiva (mínimo, máximo e média) e os resultados das análises, expressos em porcentagem do total das amostras, distribuídos dentro de cada classe, por ponto e por parâmetro avaliado.

### 3.9.3. Variabilidade Espacial e Temporal

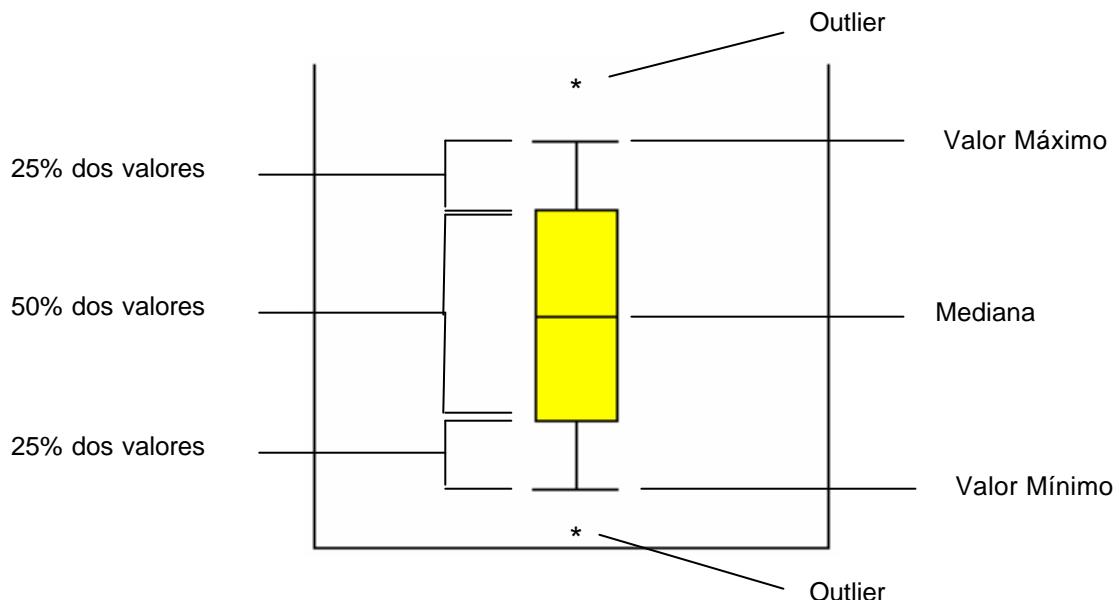
Também foram realizadas análises da variabilidade espacial e temporal da vazão, descarga sólida total e qualidade de água, por meio de gráficos da variação dos parâmetros (gráfico de linhas) e da chuva acumulada entre os intervalos de avaliação (gráficos de barras), no decorrer do ano.

Para avaliar um possível efeito das chuvas, e consequentemente da vazão do córrego, sobre a qualidade de água, foram plotados gráficos “boxplot” dos valores obtidos de cada parâmetro, distribuídos entre os períodos seco e chuvoso, bem como a mediana (representado por uma linha horizontal espessa), os extremos

(representado por linhas nas extremidades) e os valores discrepantes ou “outliers” (representado por asterisco).

Os períodos seco e chuvoso foram definidos como os períodos de menor e maior precipitação acumulada, respectivamente, obtida entre os intervalos de avaliação. O período seco compreendeu o intervalo das avaliações realizadas entre 30/04/2003 e 14/10/2003 (6 avaliações) e o período chuvoso, de 20/12/2002 a 31/03/2003 e de 12/11/2003 a 10/12/2003 (6 avaliações).

Os gráficos da variação espacial e temporal da qualidade de água, foram elaborados com o auxílio do programa computacional Microsoft Excel. A análise estatística descritiva e os gráficos “boxplot” (Figura 16) foram elaborados por meio do software estatístico SPSS 11.5 for Windows.



**Figura 16.** Ilustração explicativa de um gráfico boxplot.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Vazão e Descarga Sólida Total

Na Tabela 14, estão os valores mínimos, máximos, médios, médios do período seco, médios do período chuvoso e o aumento em porcentagem das médias de vazão e descarga sólida total do período seco para o período chuvoso.

**Tabela 14.** Valores mínimos (Mín.), máximos (Máx.), médios (M), médios no período seco ( $M_s$ ) e no período chuvoso ( $M_c$ ) e o aumento do período seco para o chuvoso (Dif.).

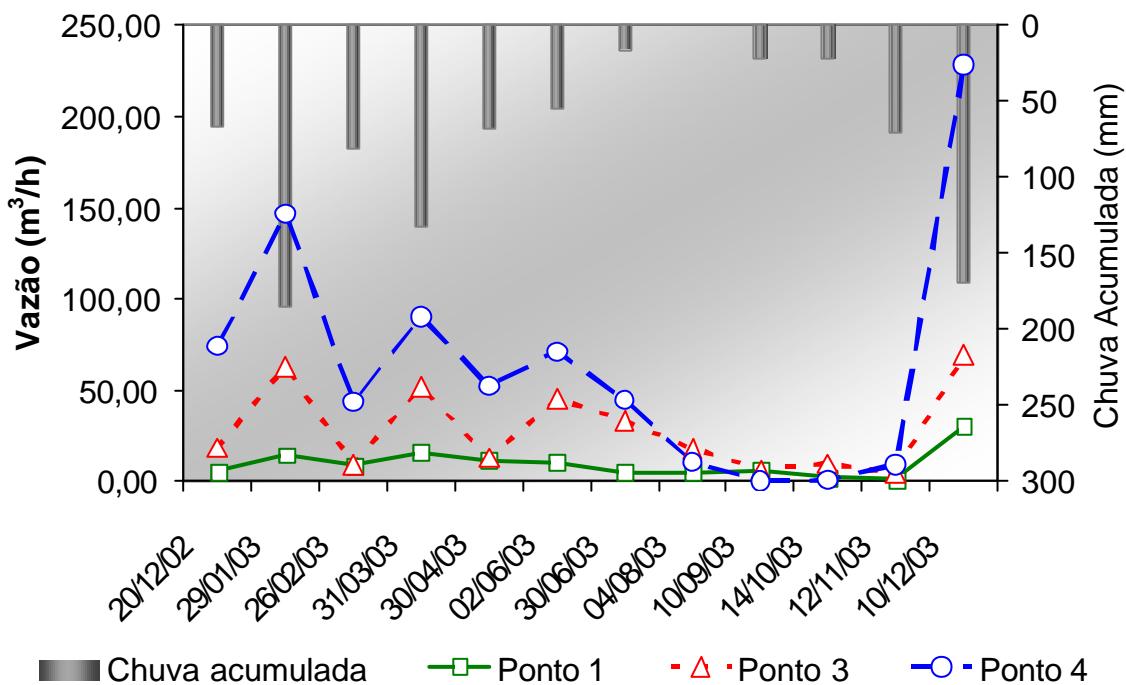
Variável	Mín.	Máx.	Médias			Dif
			M	$M_s$	$M_c$	
<b>Vazão</b>						
			<b><math>m^3/h</math></b>			%
Ponto 1	1,00	29,96	9,73	6,84	12,62	84,6
Ponto 3	4,44	69,28	28,44	20,95	35,94	71,5
Ponto 4	0,29	228,26	64,37	30,00	98,74	229,1
<b>Descarga Sólida Total</b>						
			<b>kg/dia</b>			
Ponto 1	3,00	71,07	28,18	18,54	37,83	104,1
Ponto 3	37,43	528,85	181,48	153,27	209,68	36,8
Ponto 4	1,73	952,46	327,44	167,27	487,61	191,5
<b>Precipitação acumulada (mm)</b>	<b>0,0</b>	<b>184,6</b>	<b>74,2</b>	<b>30,88</b>	<b>117,4</b>	<b>280,2</b>

Como pode ser verificado pela Tabela 14, as vazões médias nos pontos 1, 3 e 4 foram de, respectivamente, 9,73, 28,44 e 64,37  $m^3/h$ . As médias de descarga sólida total para os mesmos pontos foram respectivamente de 28,2, 181,5 e 327,4 kg/dia. Considerando o ponto 4, como o exutório, a descarga sólida total média anual foi de 119,5 toneladas ou 0,091 t/ha.ano. Este valor, é cerca de 73 vezes inferior a tolerância máxima para perda desse tipo de solo (6,6 t/ha.ano) e cerca de 23 vezes superior a perda máxima de solos ocupados por matas nativas (0,004 t/ha.ano) (BERTONI, 1999).

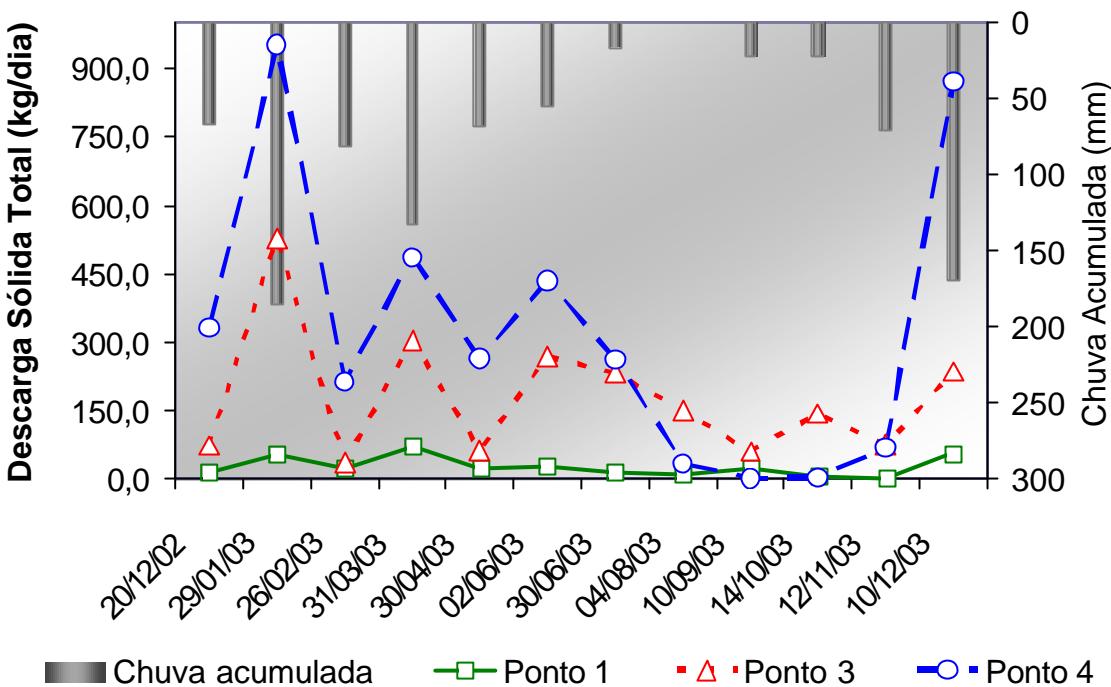
Os baixos valores encontrados provavelmente se devem ao fato de que as amostragens de água foram realizadas sem a influencia direta das precipitações intensas, que segundo Miller (1984) citado por Ranzini e Lima (2002, p. 146), podem ser responsáveis por até 50% da perda de solo de uma bacia. No entanto, mesmo nessas condições de amostragens, as perdas superaram as das condições naturais (matas nativas), o que evidencia o estado de degradação da microbacia.

Ainda é possível verificar pela Tabela 14, o aumento evidente na vazão e descarga sólida total, do período seco para o período chuvoso (Dif), em todos os pontos avaliados. O ponto 3 foi o que apresentou menor aumento de vazão e descarga sólida do período seco para o período chuvoso (71,5 e 36,8%), o que provavelmente se deve a contribuição tanto de água como de sólidos, do esgoto lançado a montante deste ponto (ver Tabela 8, página 37).

Nas Figuras 17 e 18, estão as variações espacial e temporal dos valores de vazão e descarga sólida total nos pontos 1, 3 e 4, ao longo do córrego Três Barras, e a quantidade de chuva acumulada entre os intervalos de avaliação.



**Figura 17.** Variação espacial e temporal da vazão e da chuva acumulada entre os intervalos de avaliação.



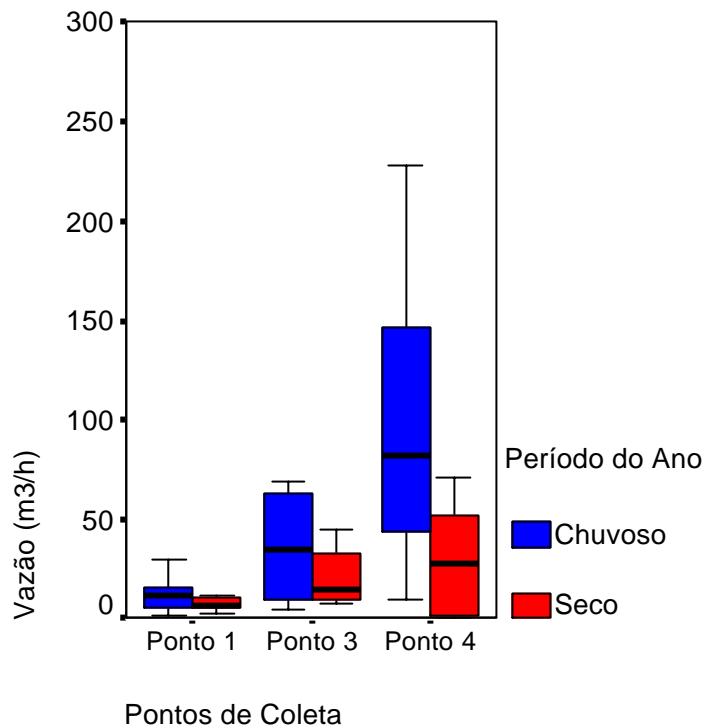
**Figura 18.** Variação espacial e temporal da descarga sólida total e da chuva acumulada entre os intervalos de avaliação.

De acordo com as Figuras 17 e 18, verifica-se que de 20/12/02 a 02/06/03 e em 10/12/03, a vazão e a descarga sólida total variaram proporcionalmente com as quantidades de chuvas acumuladas e com o tamanho da área drenada por cada ponto. Este comportamento fica evidente através da Figura 19 e 20, mostrando que os maiores valores de vazão e descarga sólida total, dentro de cada ponto, foram obtidos no período chuvoso, e aumentando a medida em que se aproxima da foz da microbacia.

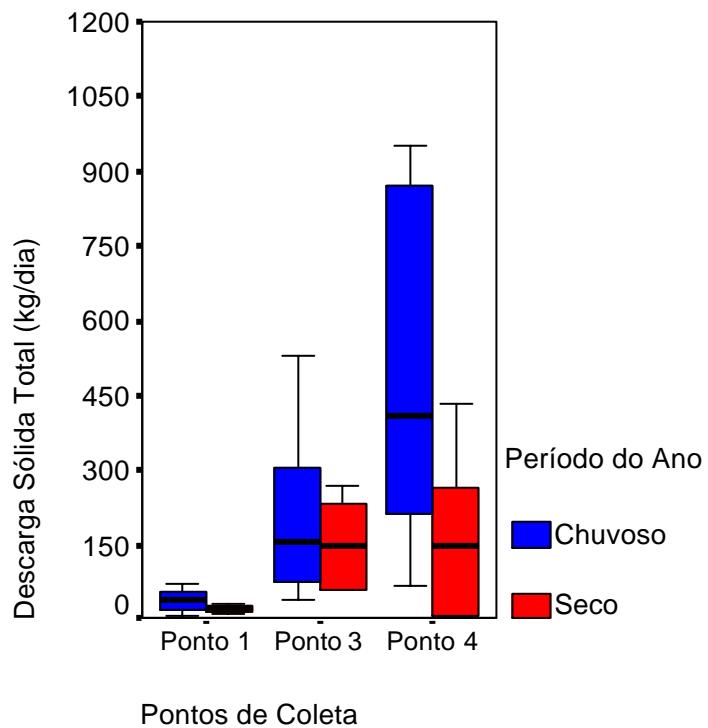
Este comportamento ocorre naturalmente, por que quanto maior a quantidade de chuvas e a área drenada pelo ponto, maior será a vazão e a quantidade de sedimentos transportados para o leito do córrego nesse ponto (CARVALHO et al, 2000, p. 22–23).

No entanto, os valores de vazão e descarga sólida para as datas de 30/06/03 a 12/11/03, não seguiram o mesmo comportamento, apresentando em quatro dessas avaliações, valores para o ponto 4, menores que para os pontos 1 e 3. Isto provavelmente ocorreu, porque além de ser o período de menor precipitação, compreende o período de maior demanda de água do córrego para a irrigação, que considerando somente as vazões outorgadas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (2004), somam 27,5 m<sup>3</sup>/h. Com isso a vazão no ponto 4, neste

período, permaneceu menor que nos pontos 1 e 3 (Figura 17), afetando indiretamente os valores de descarga sólida total neste ponto.



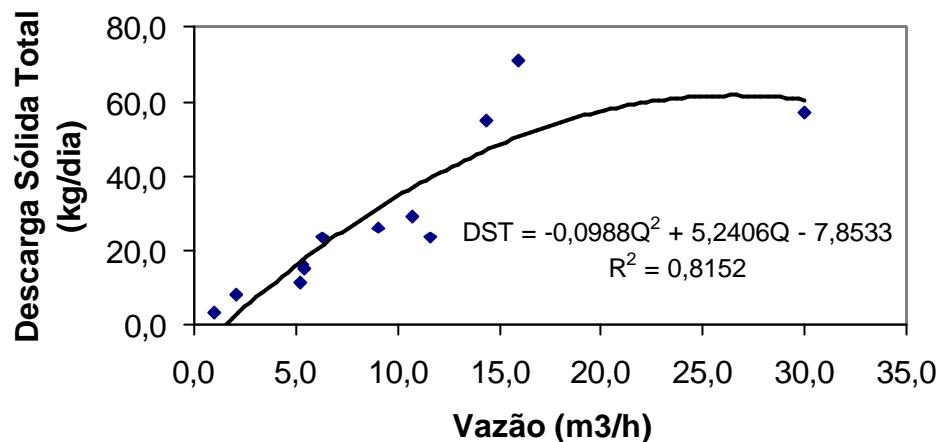
**Figura 19.** Distribuição dos valores de vazão entre os períodos seco e chuvoso.



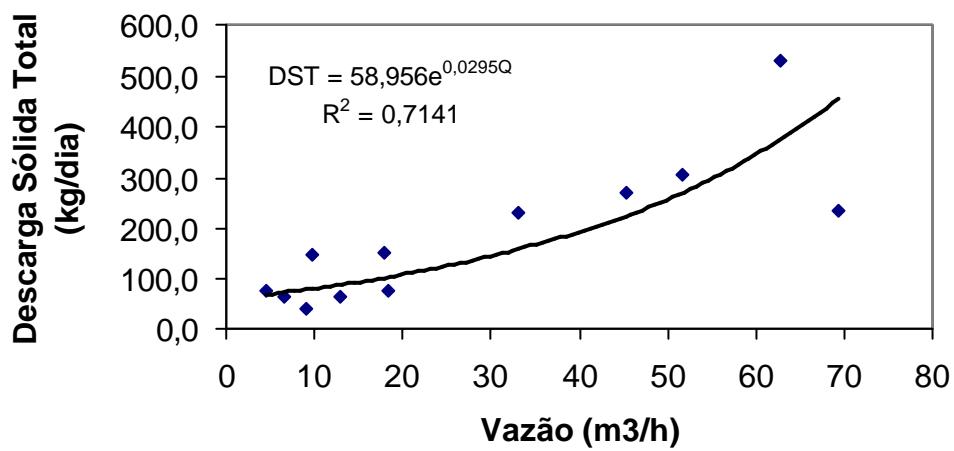
**Figura 20.** Distribuição dos valores de descarga sólida total entre os períodos seco e chuvoso.

A relação proporcional entre a vazão e a descarga sólida ocorre, porque segundo Santos et al (2001, p. 244–245), a distribuição de sedimentos no tempo está relacionada ao comportamento da vazão, ou seja, os maiores volumes de sedimentos são transportados pelas maiores vazões.

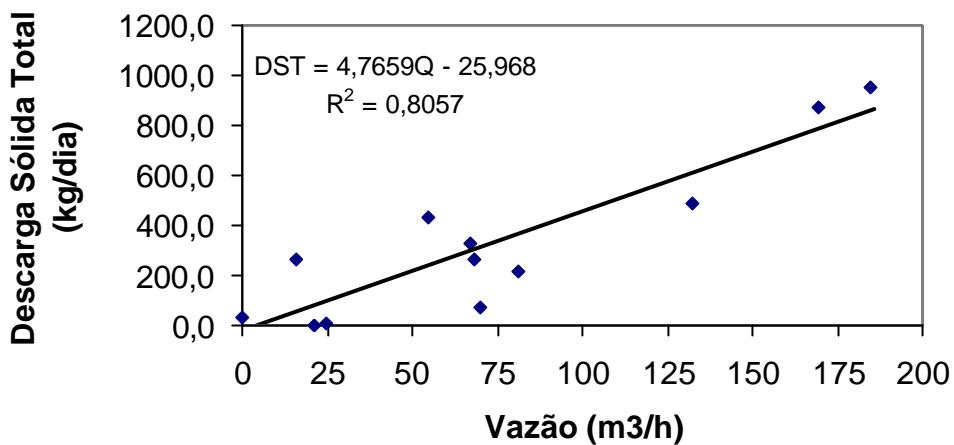
Esse comportamento pode ser evidenciado pelas Figuras 21, 22 e 23, onde são apresentadas as melhores regressões obtidas de vazão em descarga sólida total, para os pontos 1, 3 e 4, respectivamente.



**Figura 21.** Regressão de vazão em descarga sólida no ponto 1.



**Figura 22.** Regressão de vazão em descarga sólida no ponto 3.



**Figura 23.** Regressão de vazão em descarga sólida no ponto 4.

Embora os resultados das regressões tenham apresentado valores de determinação inferiores a 0,90, verifica-se uma razoável relação entre a vazão e a descarga sólida total nos três pontos avaliados, o que poderia explicar a proporcionalidade entre o comportamento dessas duas variáveis no decorrer do ano.

O fato da regressão no ponto 3 (Figura 22) ter apresentado um maior erro (coeficiente de correlação de 0,7141) que nos outros pontos, pode estar relacionado ao despejo da estação de tratamento de esgoto, pois mesmo com a redução da vazão no período seco, mantém-se constante o lançamento de sólidos na água (ver Tabela 8, página 37), provocando discrepâncias dos valores de descarga sólida em relação a vazão neste ponto. Esse comportamento confirma os resultados obtidos na Tabela 14, mostrando que a contribuição de sólidos neste ponto, mesmo com a redução da vazão durante o período seco, é alta.

## 4.2. Qualidade de Água para a Irrigação

### 4.2.1. Parâmetros Físicos

#### 4.2.1.1. Sólidos

Na Tabela 15, estão os valores mínimos, máximos e médios, e a classificação para os parâmetros de sólidos suspensos e dissolvidos, de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.

**Tabela 15.** Distribuição dos resultados de sólidos suspensos e dissolvidos de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.

Parâmetro	Mín.	Máx.	Méd.	Classificação		
				Baixo	Médio	Alto
Sólidos Suspensos <sup>1</sup>	mg/l				(% das amostras)	
Ponto 1	4,0	126,0	31,0	83,4	8,3	8,3
Ponto 2	3,0	121,0	25,0	91,7	0,0	8,3
Ponto 3	2,0	147,0	41,0	83,3	0,0	16,7
Ponto 4	1,0	100,0	28,0	91,7	8,3	0,0
Sólidos Dissolvidos <sup>2</sup>	mg/l				(% das amostras)	
Ponto 1	48,0	152,0	95,0	100,0	0,0	0,0
Ponto 2	42,0	186,0	127,0	100,0	0,0	0,0
Ponto 3	104,0	573,0	274,0	83,3	16,7	0,0
Ponto 4	50,0	280,0	168,0	100,0	0,0	0,0

<sup>1</sup> Baixo (< 50 mg/l); Médio (50 - 100 mg/l); Alto (> 100 mg/l);

<sup>2</sup> Baixo (< 500 mg/l); Médio (500 - 2000 mg/l); Alto (> 2000 mg/l).

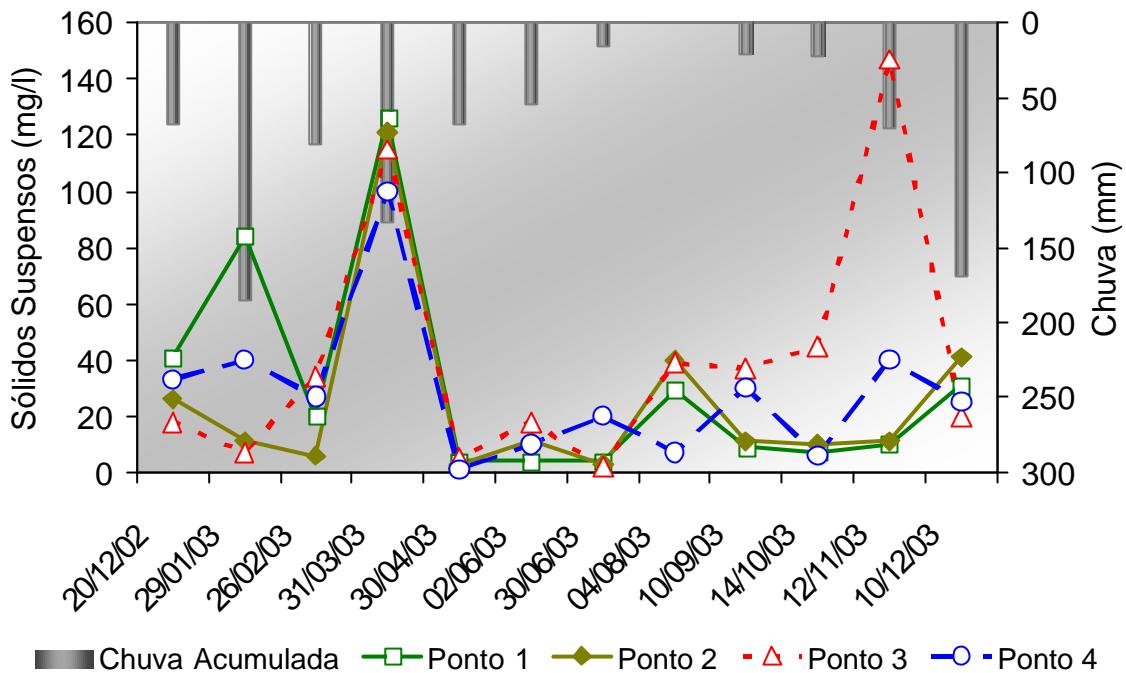
**Fonte:** NACKAYAMA e BUCKS (1986).

De acordo com a Tabela 15, verifica-se que tanto para os sólidos suspensos como para os dissolvidos, somente algumas das amostras coletadas, apresentaram valores considerados altos à operação de sistemas de irrigação localizada.

Com relação aos sólidos suspensos, o ponto 3 foi o que apresentou mais valores classificados como altos, duas amostras (16,7 % das amostras). No ponto 1 e 2, somente uma amostra (8,3 % das amostras) apresentou valores classificados como alto. O ponto 4 não apresentou em nenhuma das amostras, valores classificados como de alto risco à operação de sistemas de irrigação localizada.

Para os sólidos dissolvidos, com exceção do ponto 3 que apresentou em duas amostras (16,7 % das amostras) valores classificados como médios, não ocorreram valores acima dos permitidos para a irrigação localizada.

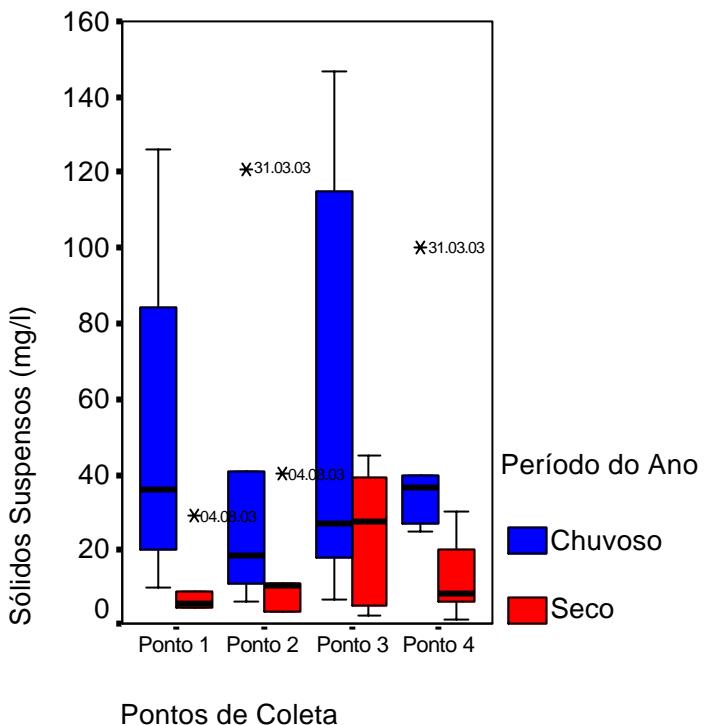
Nas Figuras 24 e 25, estão as variabilidades espacial e temporal da concentração de sólidos suspensos na água, bem como a sua distribuição entre os períodos, seco e chuvoso.



**Figura 24.** Variação espacial e temporal da concentração de sólidos suspensos na água.

De acordo com a Figura 24, pode-se verificar uma tendência de redução dos valores de concentração dos sólidos suspensos durante o período seco. Isto fica mais evidente por meio da Figura 25, mostrando que independente do ponto avaliado, os maiores valores de sólidos suspensos, ocorreram no período chuvoso. Este fato se deve provavelmente, ao transporte de sedimentos, que dentre outros fatores, depende do escoamento das águas da chuva (Carvalho et al, 2000, p. 22 - 23), que ocorre com maior freqüência durante o período chuvoso.

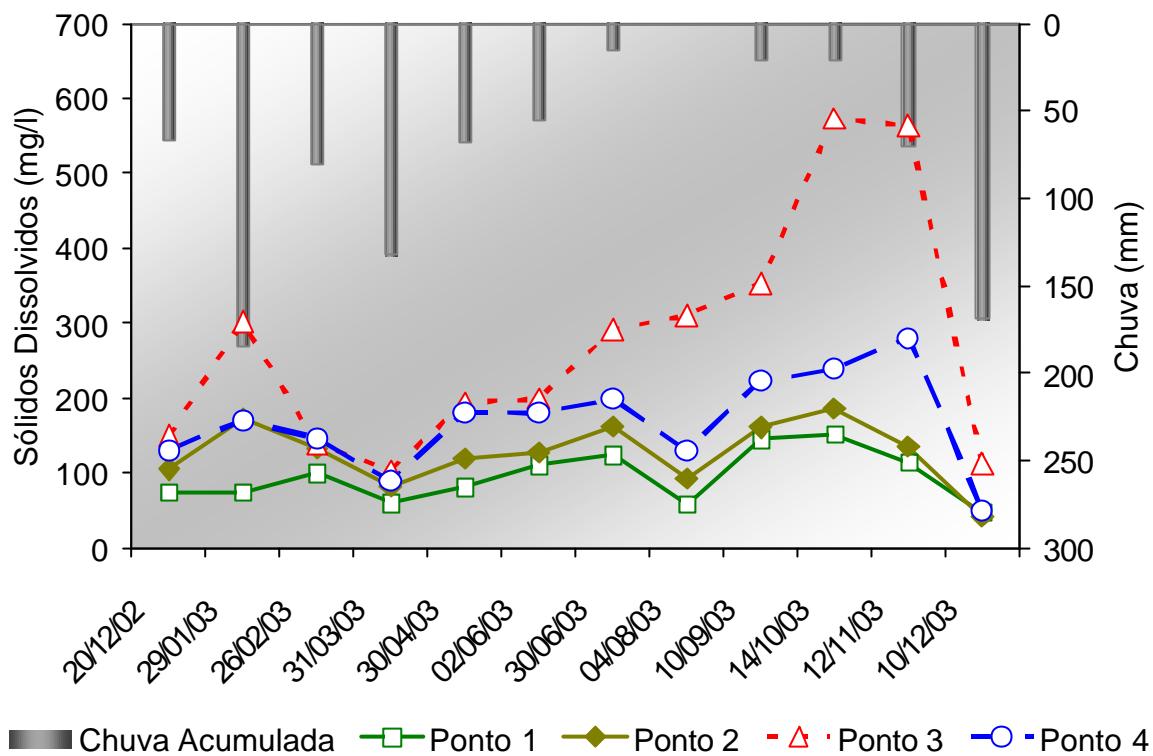
Nas Figuras 26 e 27, estão as variabilidades espacial e temporal da concentração de sólidos dissolvidos na água, bem como a sua distribuição entre os períodos, seco e chuvoso, onde se verifica que ao contrário dos sólidos suspensos, os valores de concentração de sólidos dissolvidos aumentaram durante o período seco. Isto provavelmente ocorreu, porque durante o período seco, com a redução do volume de água do córrego, a concentração de sólidos dissolvidos tenderam a aumentar.



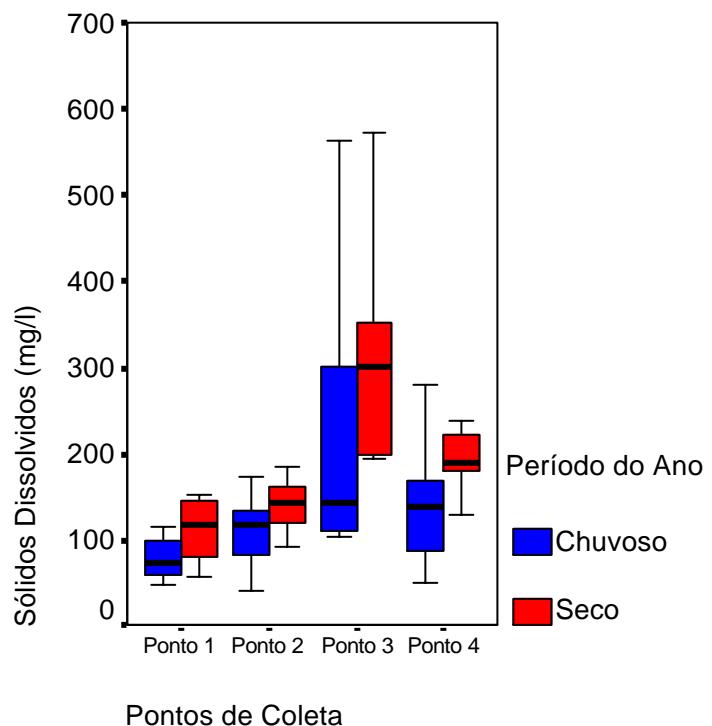
**Figura 25.** Distribuição dos resultados da concentração de sólidos suspensos na água entre os períodos, seco e chuvoso.

Ainda pelas Figuras 25 e 27, é possível verificar que independente do período avaliado, seco ou chuvoso, dentre todos os pontos, os maiores valores de sólidos suspensos e dissolvidos, foram obtidos no ponto 3, devido provavelmente, a contribuição de sólidos proveniente do efluente de esgoto lançado a montante deste ponto (ver Tabela 8, página 37). Também verifica-se que no ponto 4 (localizado a 2.543 m a jusante do ponto 3), houve uma redução nos valores de sólidos, mostrando um poder de autodepuração entre os dois pontos.

Os sólidos totais, cuja variabilidade espacial e temporal e a distribuição dos resultados entre os períodos, seco e chuvoso, pode ser verificado pelas Figuras 28 e 29, teve o comportamento semelhante ao dos sólidos dissolvidos (Figuras 26 e 27), com exceção do ponto 1, houve uma tendência de aumento na concentração no período seco. Isto provavelmente ocorreu porque a maior contribuição para os sólidos totais origina-se dos sólidos dissolvidos (82,9% em média), exercendo com isso, maior influencia sobre a sua variabilidade. Sendo assim, pode-se dizer que a sua variação no tempo e espaço se deve aos mesmos motivos já citados para o parâmetro de sólidos dissolvidos.

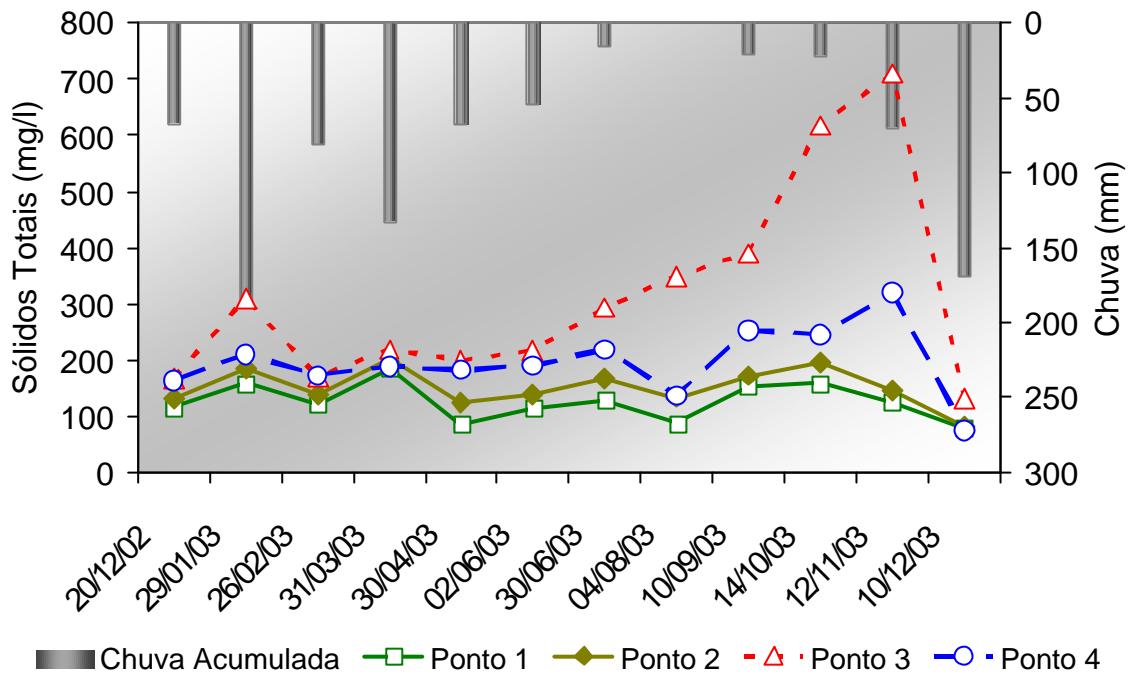


**Figura 26.** Variação espacial e temporal da concentração de sólidos dissolvidos na água.

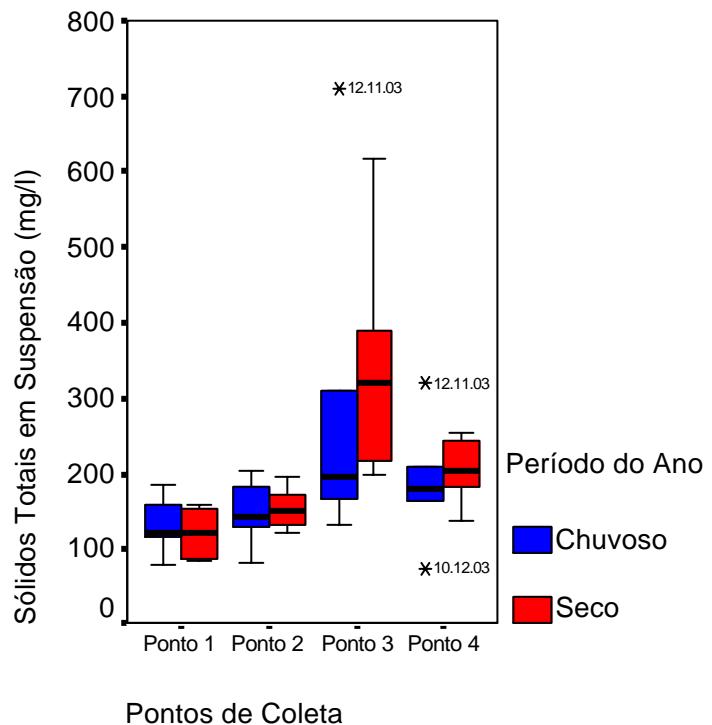


**Figura 27.** Distribuição dos resultados da concentração de sólidos dissolvidos na água entre os períodos, seco e chuvoso.

No ponto 1, o comportamento não foi o mesmo, apresentado valores mais altos durante o período chuvoso. Durante o período chuvoso, a contribuição de sólidos suspensos provenientes do escoamento superficial, foi suficiente para compensar a redução dos sólidos dissolvidos, resultando no total, em valores de sólidos totais ligeiramente superiores aos do período seco (Figura 29).



**Figura 28.** Variação espacial e temporal da concentração de sólidos totais na água.



**Figura 29.** Distribuição dos resultados da concentração sólidos totais na água entre os períodos, seco e chuvoso.

#### 4.2.1.2. Turbidez

Na Tabela 16, estão os valores mínimos, máximos e médios, e a classificação para o parâmetro de turbidez, de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.

**Tabela 16.** Distribuição dos resultados de turbidez em relação aos padrões de qualidade de água para a irrigação.

Parâmetro	Mín.	Máx.	Méd.	Classificação	
				Aceitável	Inadequado
Turbidez <sup>1</sup>		NTU		(% das amostras)	
Ponto 1	6,3	58,7	24,3	100,0	0,0
Ponto 2	0,0	33,4	8,6	100,0	0,0
Ponto 3	0,0	86,1	23,1	100,0	0,0
Ponto 4	0,6	30,5	6,9	100,0	0,0

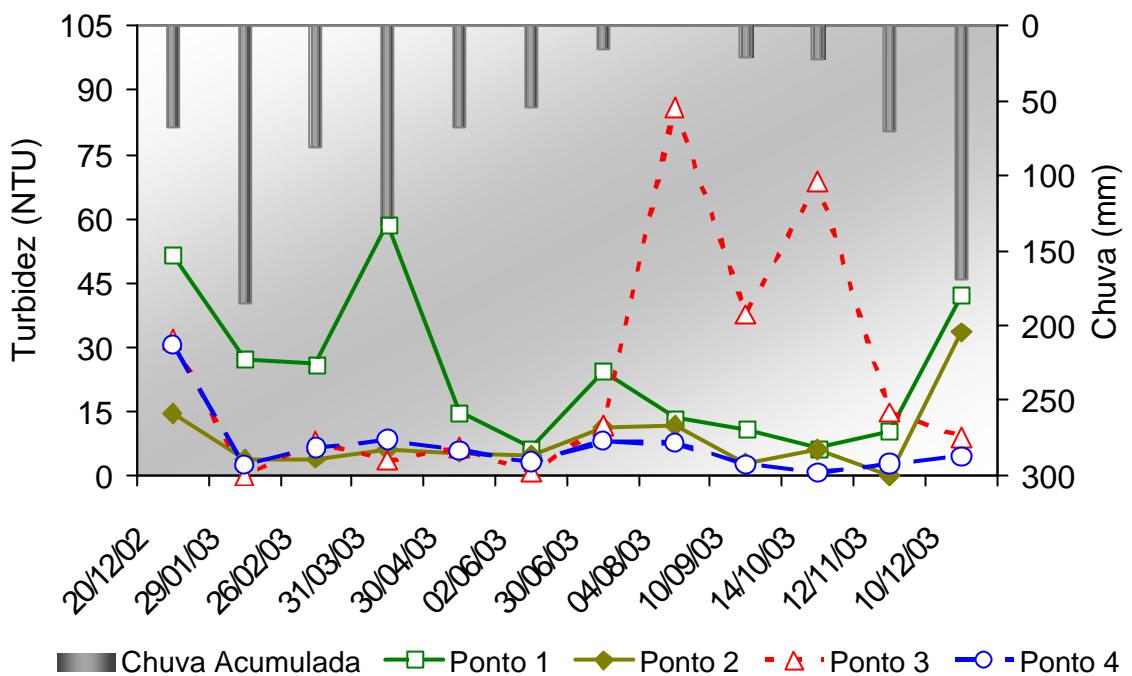
<sup>1</sup>Aceitável (= 100 NTU); Inadequado (> 100 NTU).

**Fonte:** Resolução Nº 20/86 do CONAMA.

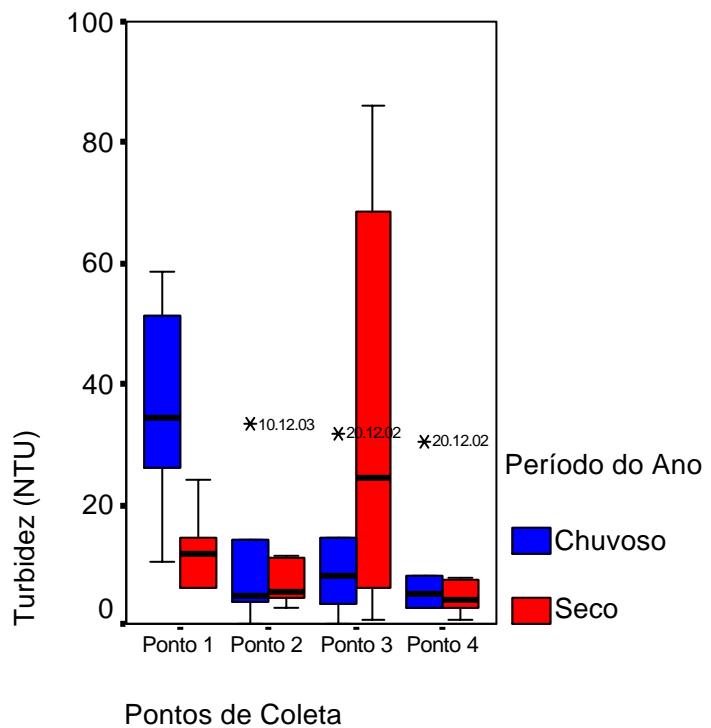
De acordo com a Tabela 16, verifica-se que em nenhuma das amostras coletadas, os valores de turbidez foram inadequados em relação aos padrões de qualidade de água para irrigação, sendo o ponto 3 foi o que apresentou valores mais altos e o ponto 1 a maior média de turbidez.

Nas Figuras 30 e 31, estão as variabilidades espacial e temporal da turbidez da água, bem como a sua distribuição entre os períodos, seco e chuvoso, verificando-se que com exceção do ponto 3, houve uma tendência de aumento da turbidez durante o período chuvoso. Isto ocorre porque a turbidez aumenta em função do aumento da concentração de partículas em suspensão na água (CETESB, 2003, p. 9) carreados pelo escoamento superficial da água nesse período. O ponto 1 foi o que apresentou valores mais altos de turbidez durante o período chuvoso, provavelmente devido as amostragens terem sido realizadas dentro da represa, ambiente este que com características lênticas, favorece a retenção de uma maior quantidade de sólidos em suspensão na água (ver Figura 25, ponto 1).

No ponto 3, os maiores valores foram obtidos no período seco, provavelmente, porque com a redução da vazão do córrego, a carga orgânica constante lançada pela estação de tratamento de esgoto (ver Tabela 8, página 37), promove o aumento da concentração de partículas em suspensão e consequentemente o aumento da turbidez da água.



**Figura 30.** Variação espacial e temporal da turbidez da água.



**Figura 31.** Distribuição dos resultados de turbidez da água entre os períodos, seco e chuvoso.

## 4.2.2. Parâmetros Químicos

### 4.2.2.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 17, estão os valores mínimos, máximos e médios, e a classificação para o parâmetro de pH, de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.

**Tabela 17.** Distribuição dos resultados de potencial hidrogeniônico (pH) de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.

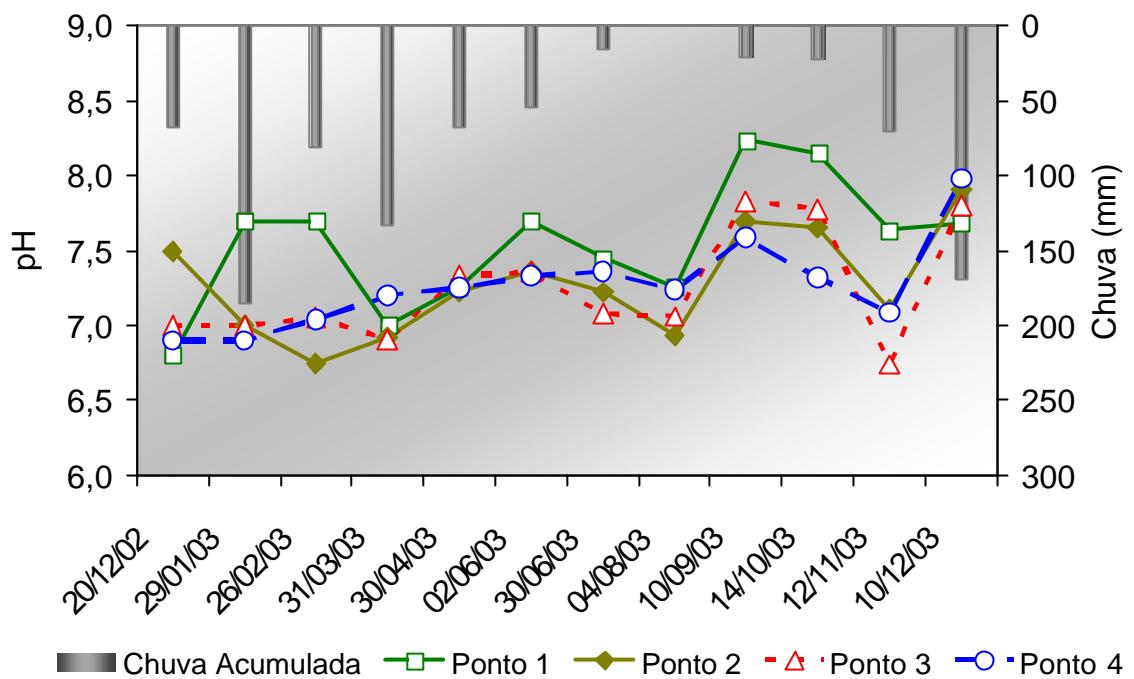
Parâmetro	Mín.	Máx.	Méd.	Classificação		
				Baixo	Médio	Alto
pH <sup>†</sup>	(% das amostras)					
Ponto 1	6,8	8,2	7,5	8,3	75,0	16,7
Ponto 2	6,8	7,9	7,3	33,3	66,7	0,0
Ponto 3	6,7	7,8	7,2	25,5	75,5	0,0
Ponto 4	6,9	8,0	7,3	16,7	83,3	0,0

<sup>†</sup> Baixo (< 7,0); Médio (7,0 - 8,0); Alto (> 8,0).

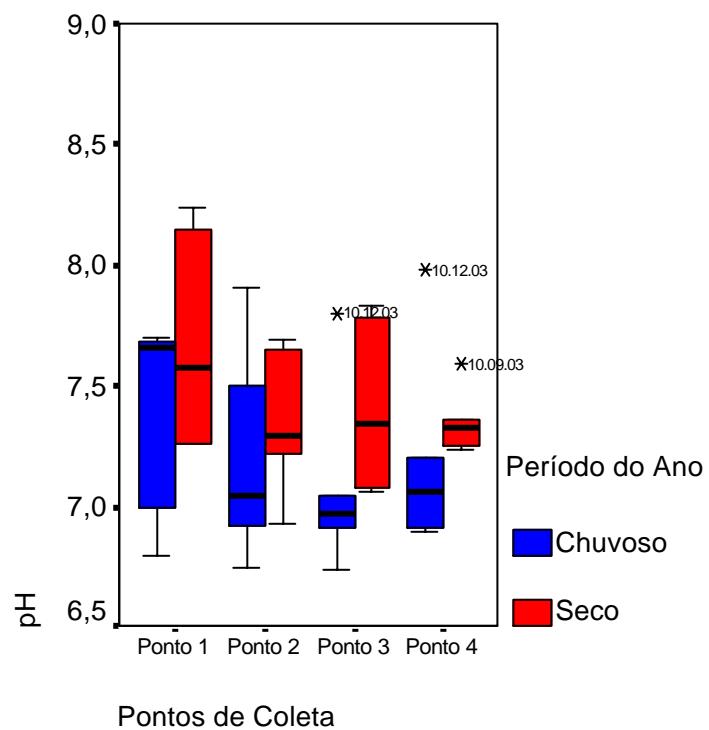
**Fonte:** NACKAYAMA e BUCKS (1986).

De acordo com a Tabela 17, pode-se verificar que, em todos os pontos avaliados, a maioria das amostras coletadas se encontrou na classe de pH considerado de médio potencial de dano a sistemas de irrigação localizada. O ponto 1 foi o único que apresentou valores considerados de alto potencial de dano (16,7 % das amostras).

Nas Figuras 32 e 33, estão as variabilidades espacial e temporal do pH da água, bem como a sua distribuição entre os períodos, seco e chuvoso, verificando-se que houve uma tendência de aumento do pH em todos os pontos avaliados, durante o período seco (Figura 32), comportamento este confirmado na Figura 33, onde se verifica que, independente do ponto avaliado, os valores mais altos de pH foram obtidos durante o período seco. Também é possível verificar, que independente do período avaliado, há uma redução dos valores de pH a medida em que se aproxima da foz da microbacia.



**Figura 32.** Variação espacial e temporal do pH da água.



**Figura 33.** Distribuição dos resultados de pH da água entre os períodos, seco e chuvoso.

Durante o período chuvoso, além da água da chuva já apresentar naturalmente um pH em torno de 5,0 (TOMAZ, 2003, p. 39), com o escoamento superficial, quanto maior a área drenada por cada ponto maior é a quantidade potencial de matéria orgânica transportada para o leito do córrego. No processo de oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos aeróbicos, com a liberação de gás carbônico em água ocorre um aumento na concentração de ácido carbônico, resultando em redução nos valores de pH da água (VON SPERLING, 1996, p. 26-27), fato este, que provavelmente poderia explicar este comportamento.

No período seco, um fator que pode ter contribuído para o aumento do pH, é a redução da turbidez da água, que ao favorecer a proliferação de algas, promove a assimilação de gás carbônico do meio pelo processo fotossintético (MORAES, 2001, p. 19), reduzindo assim, a concentração de ácido carbônico na água.

#### 4.2.2.2. Condutividade Elétrica

Na Tabela 18 estão os valores mínimos, máximos e médios e a classificação da condutividade elétrica, de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação, verificando-se que apenas o ponto 3 apresentou valores de alto potencial de risco para a salinização do solo (25% das amostras coletadas). No ponto 1 e 2, a maioria das amostras (100 e 83,3%, respectivamente) apresentou valores dentro dos limites adequados para a irrigação. No ponto 4, 75% das amostras apresentou valores de médio potencial de risco de salinização do solo.

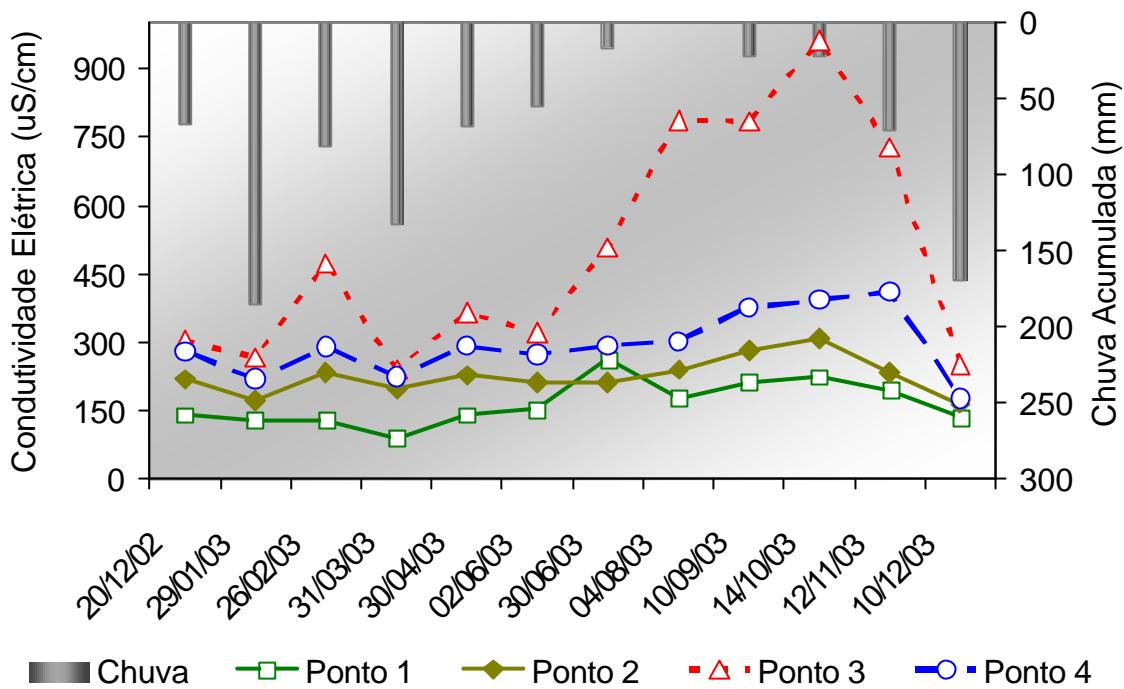
**Tabela 18.** Distribuição dos resultados de condutividade elétrica (a 25°C) em relação ao potencial de salinização do solo.

Parâmetro	Mín.	Máx.	Méd.	Classificação		
				Baixo	Médio	Alto
<b>Condutividade Elétrica<sup>1</sup></b>			<b>µS/cm a 25°C</b>	<b>(% das amostras)</b>		
Ponto 1	89,0	225,0	258,1	100,0	0,0	0,0
Ponto 2	166,0	307,0	225,3	83,3	16,7	0,0
Ponto 3	241,0	961,0	499,3	8,3	66,7	25,0
Ponto 4	177,0	411,0	294,4	25,0	75,0	0,0

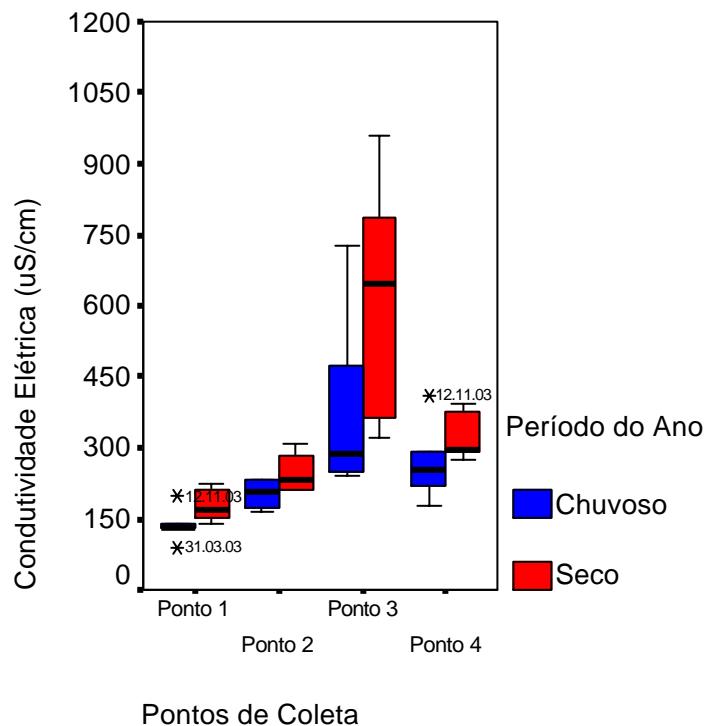
<sup>1</sup> Baixo (< 250 µS/cm a 25°C); Médio (250 - 750 µS/cm a 25°C); Alto (> 750 µS/cm a 25°C).

**Fonte:** U. S. D. A. Agriculture Handbook Nº 60 extraído de BERNARDO (1989).

As Figuras 34 e 35 ilustram as variabilidades espacial e temporal da condutividade elétrica da água, bem como a sua distribuição entre os períodos, seco e chuvoso.



**Figura 34.** Variação espacial e temporal da condutividade elétrica da água a 25°C.



**Figura 35.** Distribuição dos resultados de condutividade elétrica da água a 25°C entre os períodos, seco e chuvoso.

De acordo com a Figura 34 e 35, pode-se verificar que a variação dos valores de condutividade elétrica da água seguiu o mesmo comportamento dos sólidos dissolvidos e totais (Figuras 26, 27, 28 e 29), pois estes são constituídos, dentre outros compostos, por sais que influenciam diretamente na condutividade elétrica da água.

A variação temporal da condutividade elétrica, mostrou-se, inversamente proporcional a quantidade de chuva acumulada entre os intervalos de avaliação (Figura 34). Isto ocorre porque durante o período seco, com a redução do volume de água do córrego, a concentração de sais dissolvidos se torna maior, ocasionando um aumento na condutividade elétrica.

A variação espacial da condutividade elétrica mostra-se, com exceção do ponto 3, proporcional ao tamanho da área drenada por cada ponto (Figura 35). Isto provavelmente ocorreu, porque quanto maior a área drenada por cada ponto maior é a contribuição potencial de sais dissolvidos na água, e com isso maior é a condutividade elétrica.

A condutividade elétrica no ponto 3 não seguiu o mesmo comportamento, apresentando maiores valores que no ponto 4, devido, provavelmente, a contribuição de sólidos dissolvidos lançados a montante desse ponto, provenientes do efluente da estação de tratamento de esgoto.

#### **4.2.2.3. Ferro Total**

Na Tabela 19 estão os valores de mínimos, máximos e médios e ainda a classificação da concentração de ferro total de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação, verificando-se que em todos os pontos avaliados, os valores de concentração de ferro total na água se mantiveram nas classes de médio a alto potencial de dano à operação de sistemas de irrigação localizada.

O ponto 3 foi o que apresentou valores mais altos de ferro total, com 50% das amostras coletadas classificadas como de alto potencial de dano. Os pontos 2 e 4 apresentaram respectivamente, 16,7 e 8,3 % das amostras dentro da classe de alto potencial de dano. O ponto 1 não apresentou valores de ferro total dentro da classe de alto potencial de dano, em nenhuma das amostras coletadas.

**Tabela 19.** Distribuição dos resultados da concentração de ferro total em relação aos padrões de qualidade de água para a irrigação.

Parâmetro	Mín.	Máx.	Méd.	Classificação			
				Baixo	Médio	Alto	
<b>Ferro Total<sup>1</sup></b>		<b>mg/l</b>		(% das amostras)			
Ponto 1	0,2	0,4	0,3	0,0	100,0	0,0	
Ponto 2	0,2	2,0	0,9	0,0	83,3	16,7	
Ponto 3	0,2	3,0	1,6	0,0	50,0	50,0	
Ponto 4	0,2	2,0	0,8	0,0	91,7	8,3	

<sup>1</sup> Baixo (< 0,2 mg/l); Médio (0,2 - 1,5 mg/l); Alto (> 1,5 mg/l).

**Fonte:** NACKAYAMA e BUCKS (1986).

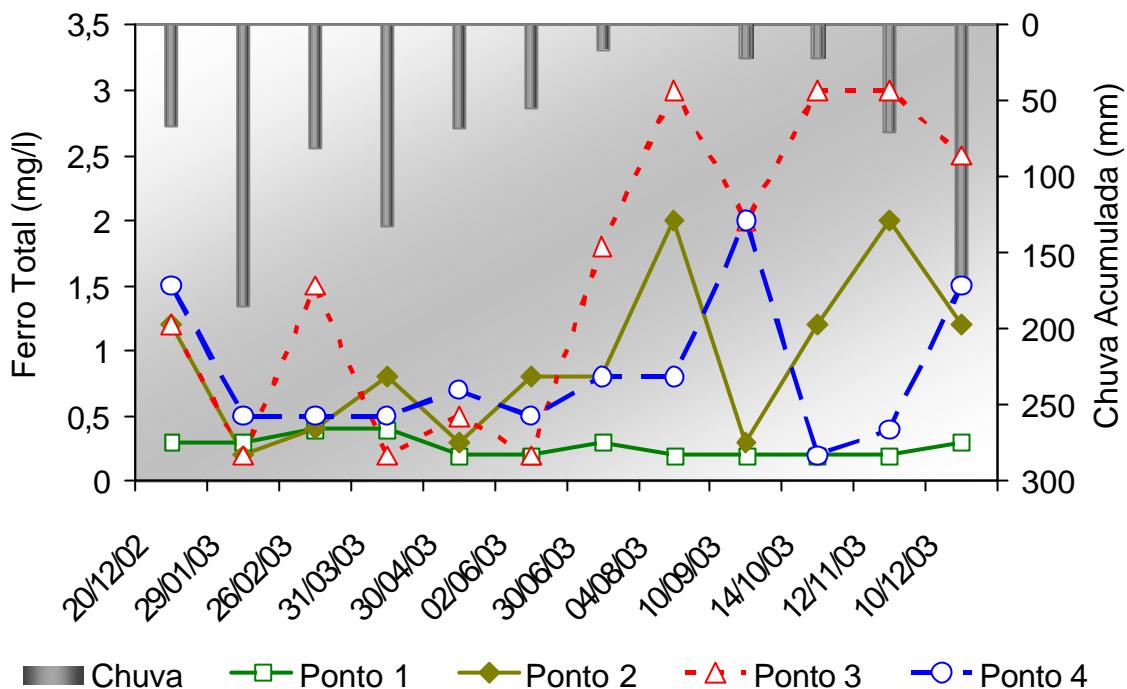
Estes altos valores de ferro total encontrados, em todos os pontos, provavelmente estão associados ao processo avançado de assoreamento em que se encontra a microbacia, pois os ARGISSOLOS VERMELHOS podem apresentar teores de óxidos de ferro de até 15% (PRADO, 1995, p. 28) e se erodidos para o leito, podem contribuir com esse elemento na água.

No entanto, os altos incrementos de ferro obtidos no ponto 3, se devem provavelmente, a contribuição do ferro proveniente do efluente de esgoto lançado a montante desse ponto. Análises realizadas no efluente bruto e no tratado, em amostras coletadas no dia 06/05/2004, revelaram alta concentração de ferro total, com valores de 9,6 e 7,7 mg/l, respectivamente.

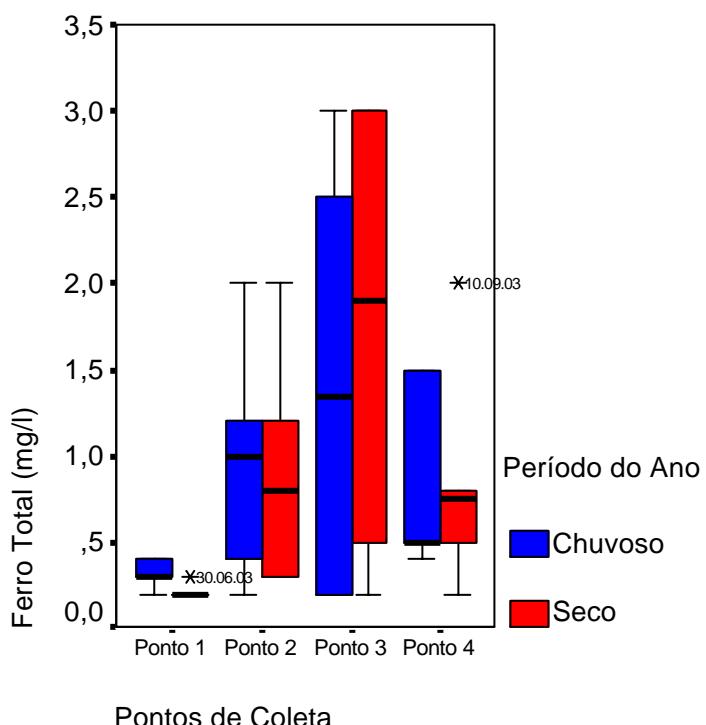
Nas Figuras 36 e 37, estão as variabilidades espacial e temporal da concentração de ferro total na água, bem como a sua distribuição entre os períodos, seco e chuvoso. De acordo com a Figura 36, a variação temporal e espacial dos valores de concentração de ferro total não apresentaram um comportamento bem definido. No entanto, através da Figura 37, é possível verificar que nos pontos 1 e 4, os maiores valores foram obtidos no período chuvoso. No ponto 2, embora não seja bem visível graficamente, pela mediana é possível verificar que no período chuvoso os teores de ferro foram ligeiramente superiores aos do período seco. O nível de ferro aumenta nas águas superficiais durante as estações chuvosas, devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens (CETESB, 2003, p. 7).

No ponto 3, ocorreu o inverso e as maiores concentrações de ferro total na água, ocorreram durante o período seco (Figura 37). Como esse ponto recebe incrementos constantes de ferro, proveniente do efluente de esgoto, com a redução do volume de água do córrego durante o período seco, a concentração de ferro na

água tende a aumentar, o que provavelmente explicaria este comportamento durante esse período.



**Figura 36.** Variação espacial e temporal da concentração de ferro total na água.



**Figura 37.** Distribuição dos resultados de concentração de ferro total na água entre os períodos, seco e chuvoso.

#### 4.2.2.4. Oxigênio Dissolvido

Na Tabela 20 estão os valores mínimos, máximos e médios e ainda a classificação da concentração de oxigênio dissolvido de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.

**Tabela 20.** Distribuição dos resultados da concentração de oxigênio dissolvido em relação aos padrões de qualidade de água para a irrigação.

Parâmetro	Mín.	Máx.	Méd.	Classificação	
				Aceitável	Inadequado
<b>Oxigênio Dissolvido<sup>1</sup></b>		<b>mg/l</b>		(% das amostras)	
Ponto 1	4,4	9,2	7,3	91,7	8,3
Ponto 2	1,0	7,8	4,9	50,0	50,0
Ponto 3	0,6	6,0	3,7	25,0	75,0
Ponto 4	1,6	9,6	5,3	58,3	41,0

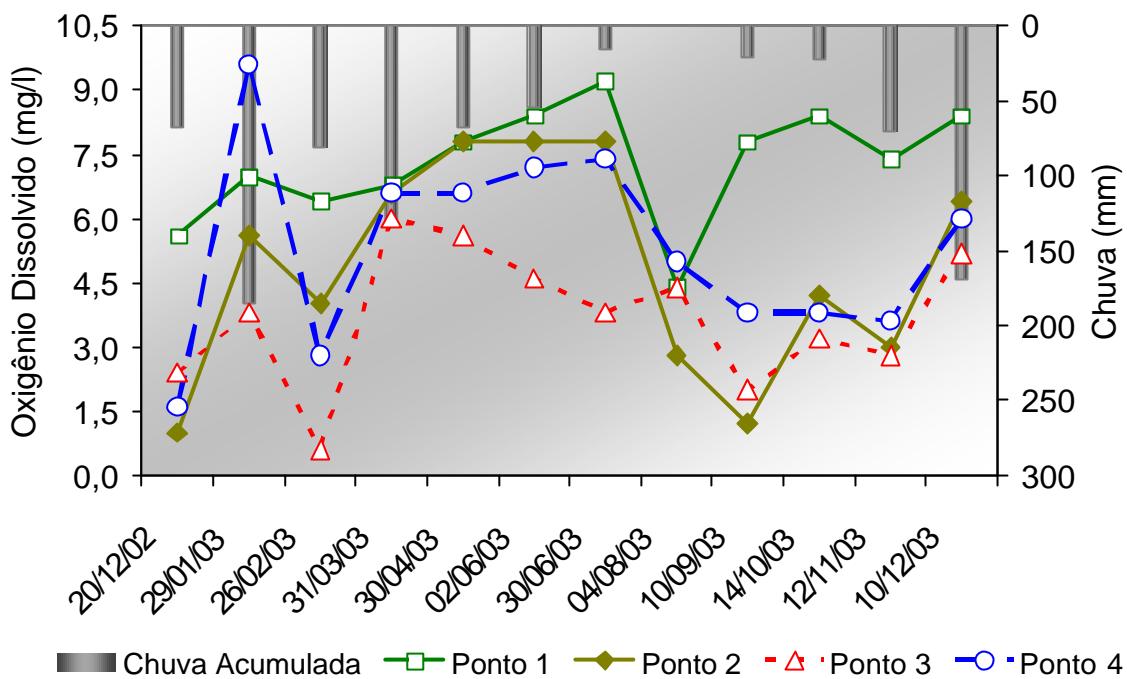
<sup>1</sup>Aceitável (= 5 mg/l); Inadequado (< 5 mg/l).

**Fonte:** Resolução Nº 20/86 do CONAMA.

Pela Tabela 20, pode-se verificar que o ponto 3 foi o que apresentou maior números de amostras (75% das amostras), com valores inadequados de oxigênio dissolvido. Nos pontos 2 e 4, os valores apresentaram-se inadequados, em respectivamente 50 e 41% das amostras. O ponto 1 foi o que apresentou melhor qualidade de água com relação ao oxigênio dissolvido, sendo encontrado valor inadequado em somente uma das amostras (8,3% das amostras).

Nas Figuras 38 e 39, estão as variabilidades espacial e temporal da concentração de oxigênio dissolvido na água, bem como a sua distribuição entre os períodos, seco e chuvoso. Pela Figura 38, verifica-se, com exceção do ponto 3, uma tendência de aumento da concentração de oxigênio dissolvido durante o período seco, que pode ser evidenciado através da Figura 39.

O aumento da concentração de oxigênio dissolvido durante esse período, provavelmente ocorreu, porque com a redução da temperatura (média de 22,3°C em comparação com o período chuvoso que foi de 25,6°C), a solubilidade do oxigênio na água aumenta (von SPERLING, 1996, p. 101). Aliado a este fato, a redução na concentração de sólidos em suspensão, com conseqüente aumento da transparência da água, favorece a proliferação de algas, que pelo processo de fotossíntese liberam oxigênio, promovendo o aumento em suas concentrações (ESTEVES, 1998, 151).

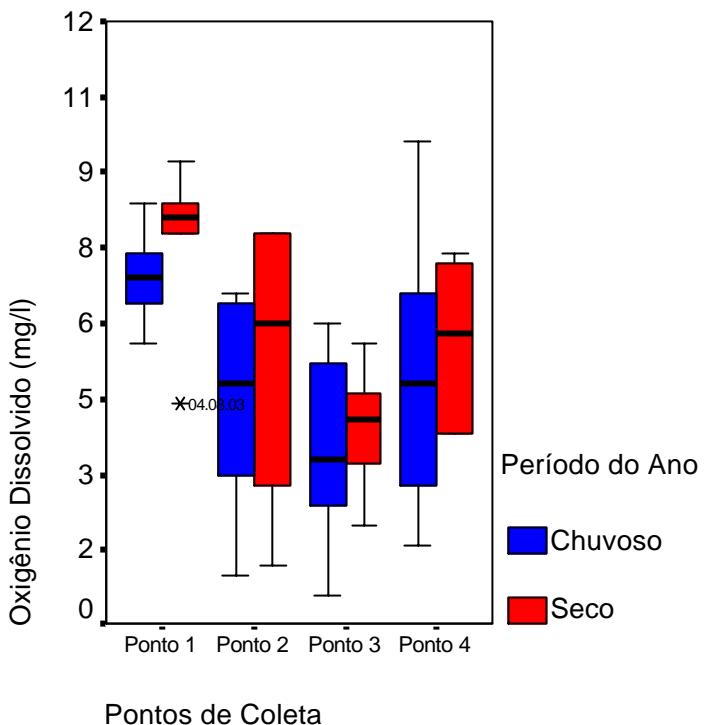


**Figura 38.** Variação espacial e temporal da concentração de oxigênio dissolvido na água.

Outro fator condicionante do crescimento de algas, nesse período, é o aumento da concentração de sólidos dissolvidos, e com isso, o teor de nutrientes na água. Também, com uma provável redução no teor de matéria orgânica em suspensão e consequentemente a atividade respiratória, a demanda de oxigênio por microorganismos aeróbicos é menor, o que também pode ter contribuído com esse comportamento.

Esses dois processos citados anteriormente também podem ser evidenciados pela Figura 33, onde os maiores valores de pH obtidos durante o período seco, provavelmente estão relacionados a redução da concentração de gás carbônico na água. Os maiores valores de oxigênio encontrados no ponto 1, provavelmente se devem ao fato de que a represa tem uma água com características lênticas, o que favorece um maior crescimento de algas.

No ponto 3, com o constante lançamento de cargas orgânicas (ver Tabela 8, página 37) e com a redução do volume de água do córrego durante o período seco, a concentração de matéria orgânica aumenta consideravelmente, promovendo, consequentemente, o aumento no consumo de oxigênio por microorganismos decompositores, o que provavelmente poderia explicar os baixos níveis de oxigênio nestas condições.



**Figura 39.** Distribuição dos resultados de concentração de oxigênio dissolvido na água entre os períodos, seco e chuvoso.

#### 4.2.2.5. Cálcio, Magnésio e Dureza Total

Na Tabela 21, estão os valores mínimos, máximos e médios, e a classificação para os parâmetros de cálcio e magnésio, de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.

**Tabela 21.** Distribuição dos resultados de cálcio e magnésio de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação.

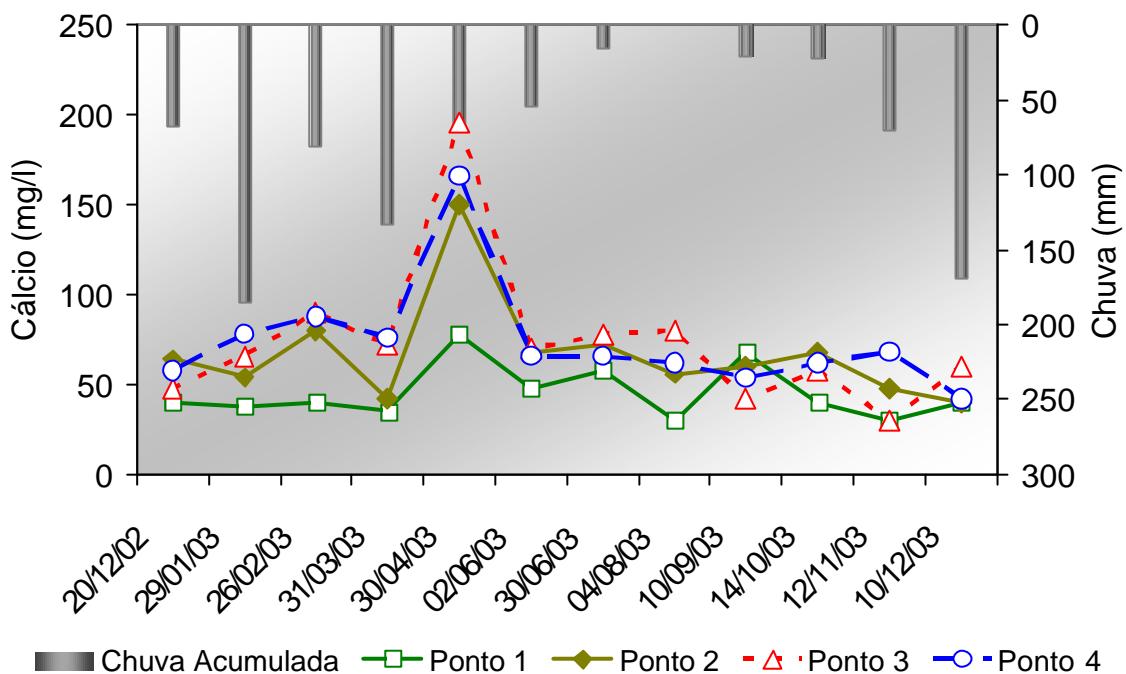
Parâmetro	Mín.	Máx.	Méd.	Classificação	
				Normal	Alto
<b>Cálcio<sup>1</sup></b>					
				(% das amostras)	
Ponto 1	30,0	78,0	45,4	100,0	0,0
Ponto 2	40,0	150,0	66,8	100,0	0,0
Ponto 3	30,0	196,0	74,2	100,0	0,0
Ponto 4	42,0	166,0	73,8	100,0	0,0
<b>Magnésio<sup>2</sup></b>					
				(% das amostras)	
Ponto 1	18,0	88,0	40,4	83,3	16,7
Ponto 2	22,0	92,0	49,7	83,3	16,7
Ponto 3	20,0	70,0	47,7	83,3	16,7
Ponto 4	18,0	106,0	50,2	83,3	16,7

<sup>1</sup> Normal (= 400 mg/l), Alto (> 400 mg/l); <sup>2</sup> Normal (= 60 mg/l), Alto (> 60 mg/l).

**Fonte:** AYERS e WESTCOT (1986).

Como pode ser verificado pela Tabela 21, em nenhum dos pontos houve amostras com altos valores de cálcio na água, sendo o ponto 3, o que apresentou uma maior média (74,2 mg/l). Quanto ao magnésio, todos os pontos apresentaram valores semelhantes desse parâmetro, com somente 16,7% das amostras, acima da concentração normal na água de irrigação.

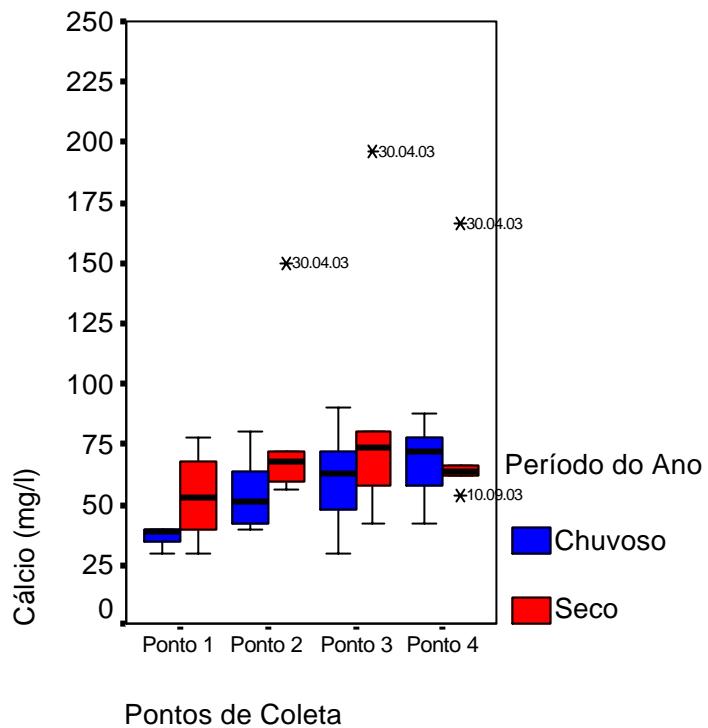
Nas Figuras 40, 41, 42 e 43, estão as variabilidades espacial e temporal da concentração de cálcio e magnésio na água, bem como a sua distribuição entre os períodos, seco e chuvoso.



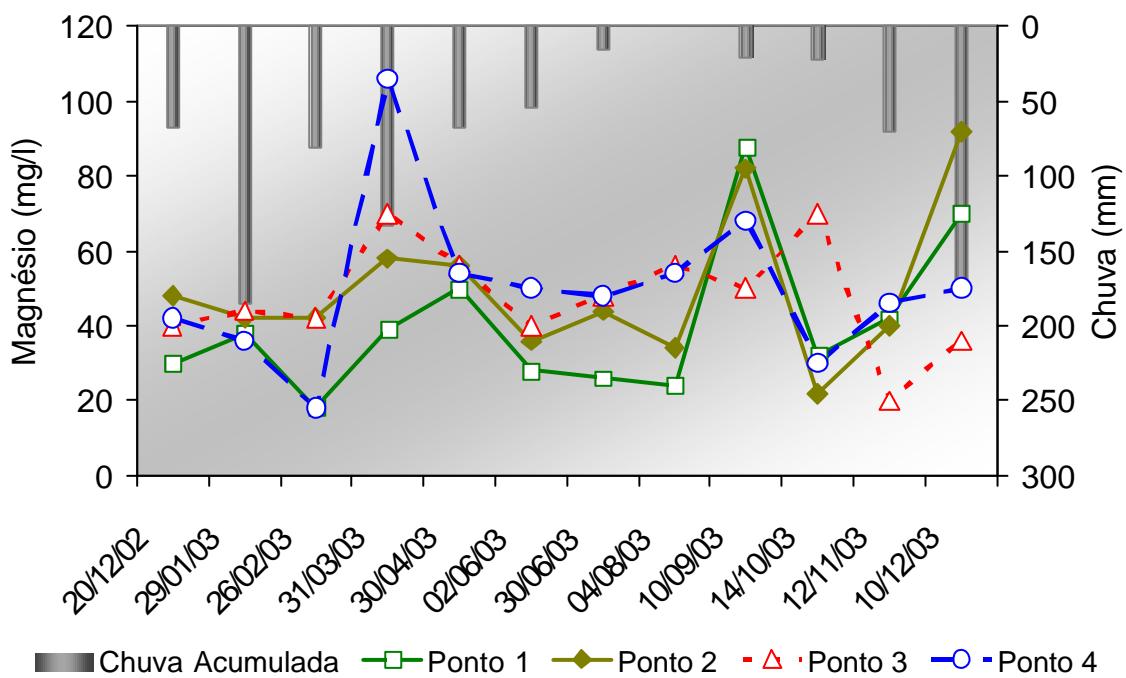
**Figura 40.** Variação espacial e temporal da concentração de cálcio na água.

Pela Figura 40, verifica-se que houve pouca variação da concentração de cálcio durante o ano, com exceção do dia 30/04/2003, onde em todos os pontos foram observados picos de concentração de cálcio. Pela Figura 41, verifica-se que, com exceção do ponto 4, em todos os pontos, os valores de concentração de cálcio durante o período seco foram maiores que no período chuvoso.

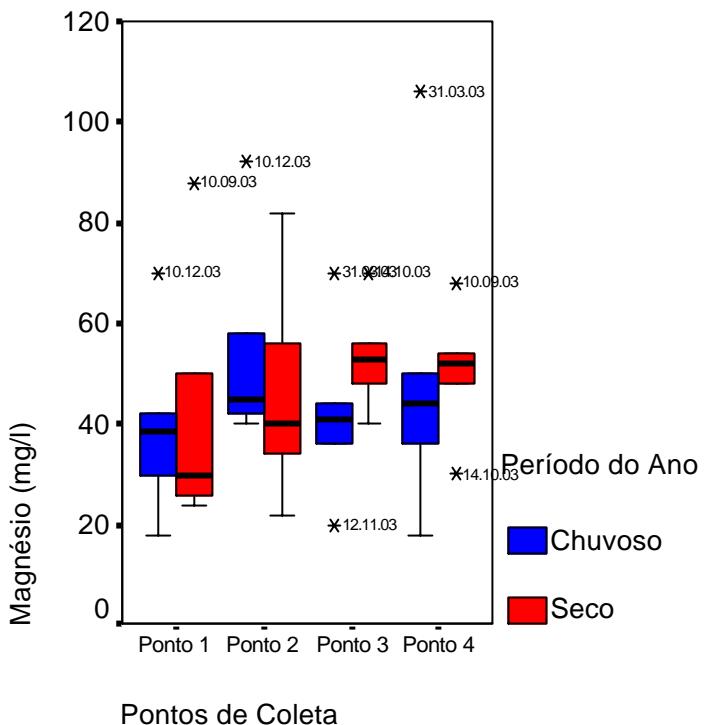
A variação espacial e temporal de magnésio (Figura 42 e 43), não se mostra totalmente definida. No ponto 2, os valores no período chuvoso, superaram os do período seco. Nos pontos 3 e 4, os valores no período seco foram maiores que no período chuvoso. E no ponto 1, pela mediana, é possível verificar que os valores de magnésio no período chuvoso foram ligeiramente superiores aos do período seco.



**Figura 41.** Distribuição dos resultados da concentração de cálcio na água entre os períodos, seco e chuvoso.



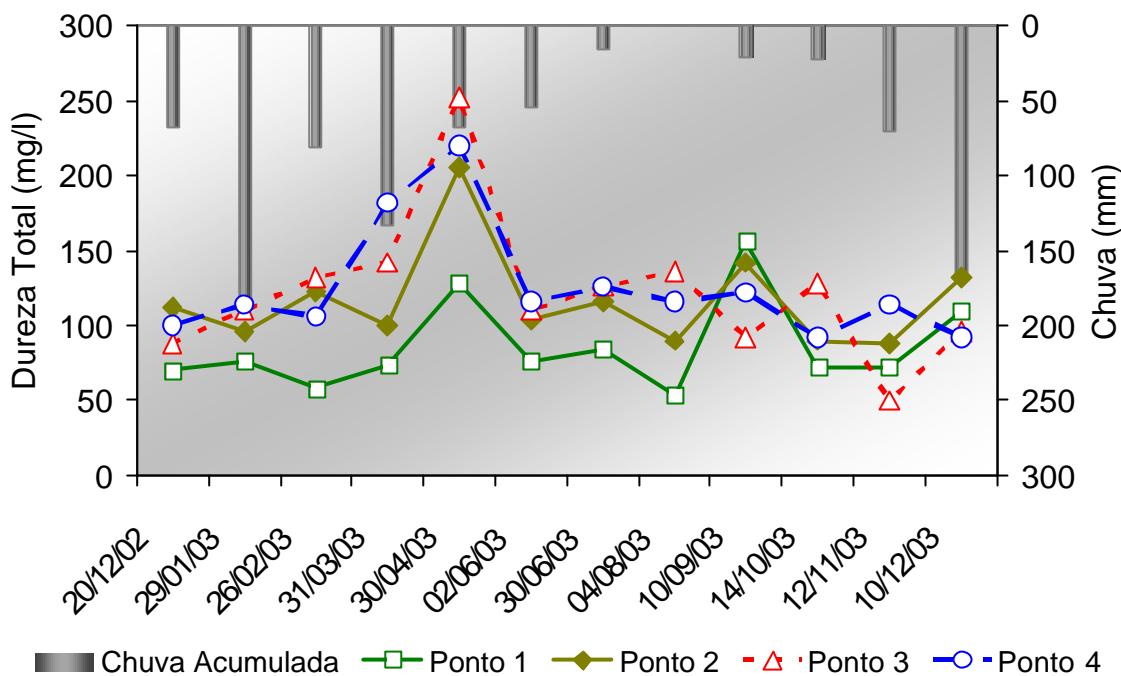
**Figura 42.** Variação espacial e temporal da concentração de magnésio na água.



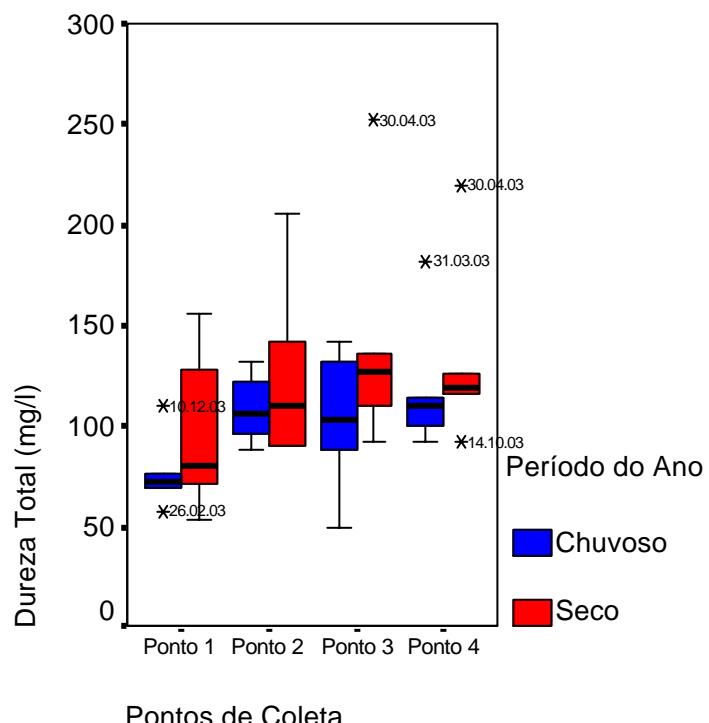
**Figura 43.** Distribuição dos resultados da concentração de magnésio na água entre os períodos, seco e chuvoso.

Estes dados mostram que não foi possível traçar um perfil bem definido para o comportamento desses dois parâmetros, quando analisados separadamente. No entanto, através das Figuras 44 e 45, que referem-se a variabilidade espacial e temporal da dureza da água, bem como a sua distribuição entre os períodos, seco e chuvoso, verifica-se que embora não houve grandes diferenças entre os pontos avaliados, quanto ao período do ano, a tendência foi bem mais definida, ocorrendo valores ligeiramente superiores durante o período seco, em todos os pontos avaliados.

Isto provavelmente ocorreu, porque nesse período há uma tendência de aumento da concentração de partículas dissolvidas em função da redução da vazão do córrego. Dentre essas partículas dissolvidas, encontram-se as mais variadas substâncias, dentre as quais, substâncias calcárias e magnesianas (BRASIL, 1999, p. 38), que, provavelmente, contribuíram para o aumento da dureza no período seco.



**Figura 44.** Variação espacial e temporal da dureza total da água.



**Figura 45.** Distribuição dos resultados de dureza total da água entre os períodos, seco e chuvoso.

### 4.2.3. Parâmetros Biológicos

#### 4.2.3.1. Coliformes

Na Tabela 22 estão os valores de mínimos, máximos e médios e ainda a classificação da concentração de coliformes de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação, onde o ponto 3 foi o que apresentou maiores concentrações de coliformes totais e fecais, com 41,7 e 83,3% das amostras, respectivamente, com alto potencial de contaminação para águas de classe 2 de uso para a irrigação. Já o ponto 2 não apresentou problemas com esses parâmetros, enquanto que os pontos 1 e 4 só apresentaram valores inadequados de coliformes fecais em uma das amostras coletadas, durante todo o período de avaliação (8,3% das amostras).

**Tabela 22.** Distribuição dos resultados da concentração de coliformes de acordo com os padrões de qualidade de água para a irrigação

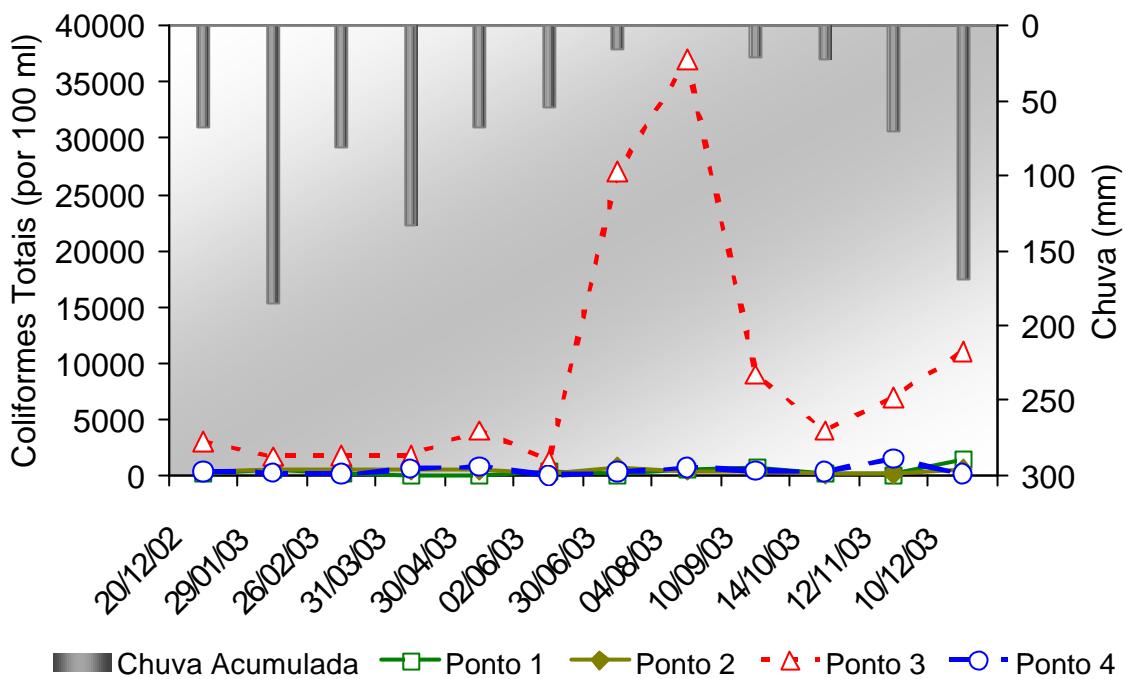
Parâmetro	Mín.	Máx.	Méd.	Classificação	
				Aceitável	Inadequado
<b>Coliformes Totais<sup>1</sup></b>		<b>Coliformes/100 ml</b>		<b>(% das amostras)</b>	
Ponto 1	0	1.400	400	100,0	0,0
Ponto 2	100	700	400	100,0	0,0
Ponto 3	1.300	37.000	9.000	58,3	41,7
Ponto 4	0	1.500	400	100,0	0,0
<b>Coliformes Fecais<sup>2</sup></b>		<b>Coliformes/100 ml</b>		<b>(% das amostras)</b>	
Ponto 1	0	1.400	200	91,7	8,3
Ponto 2	0	400	100	100,0	0,0
Ponto 3	300	22.000	6.000	16,7	83,3
Ponto 4	0	1.500	300	91,7	8,3

<sup>1</sup> Aceitável (< 5000 un/100 ml); Inadequado (> 5000 un/100 ml);

<sup>2</sup> Aceitável (< 1000 un/100 ml); Inadequado (> 1000 un/100 ml).

**Fonte:** Resolução 20/86 do CONAMA.

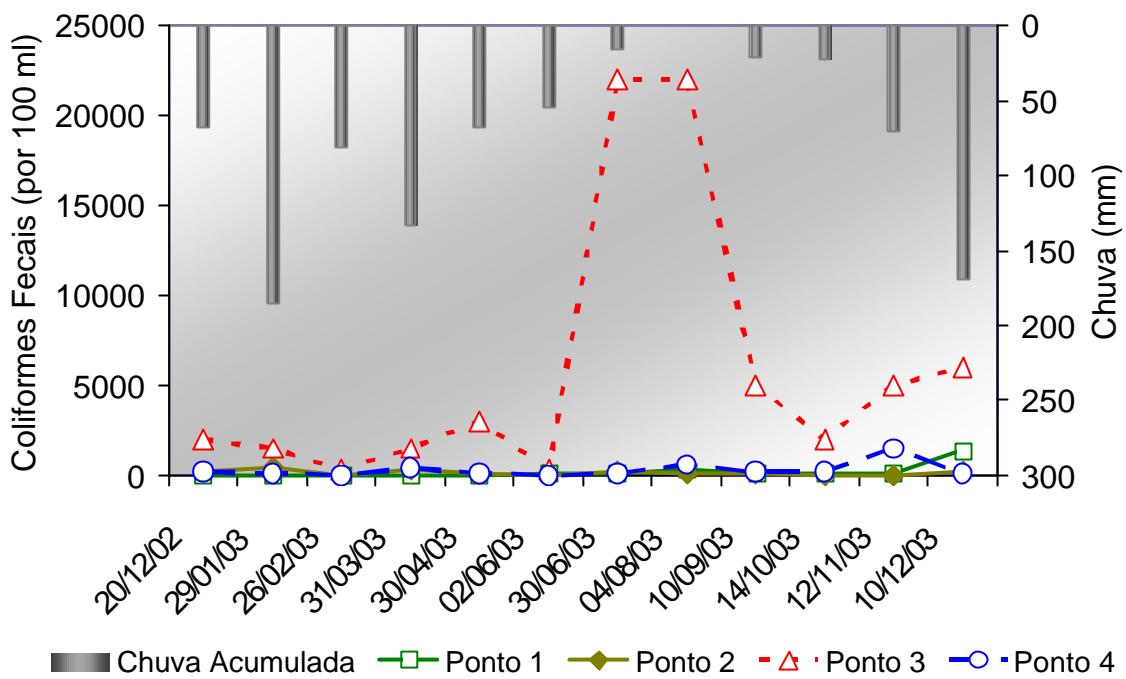
Nas Figuras 46, 47, 48 e 49, estão as variabilidades espacial e temporal da concentração de coliformes, bem como a sua distribuição entre os períodos, seco e chuvoso, ficando evidente o efeito do lançamento de efluente de esgoto, sobre a concentração de coliformes no ponto 3, corroborando com von Sperling (1996, p. 81) que estima para cada 100 ml de esgotos domésticos, de  $10^6$  a  $10^9$  coliformes totais e de  $10^5$  a  $10^8$  coliformes fecais, o que provavelmente, após lançado na água do córrego, tenha contribuído para os altos valores encontrados nesse ponto.



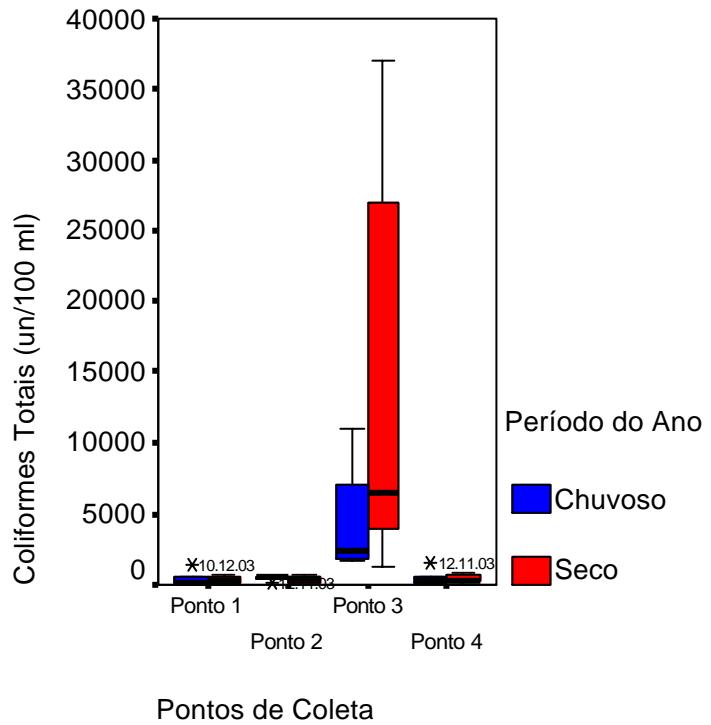
**Figura 46.** Variação espacial e temporal da concentração de coliformes totais na água.

Pelas Figuras 48 e 49, verifica-se claramente que os valores mais altos de coliformes, totais e fecais, no ponto 3, foram obtidos no período seco. Como a quantidade de esgoto lançada no córrego é constante no ano, devido ao baixo volume de água no córrego durante o período seco, a concentração de coliformes tende a aumentar nesta época do ano, o que provavelmente explicaria este comportamento.

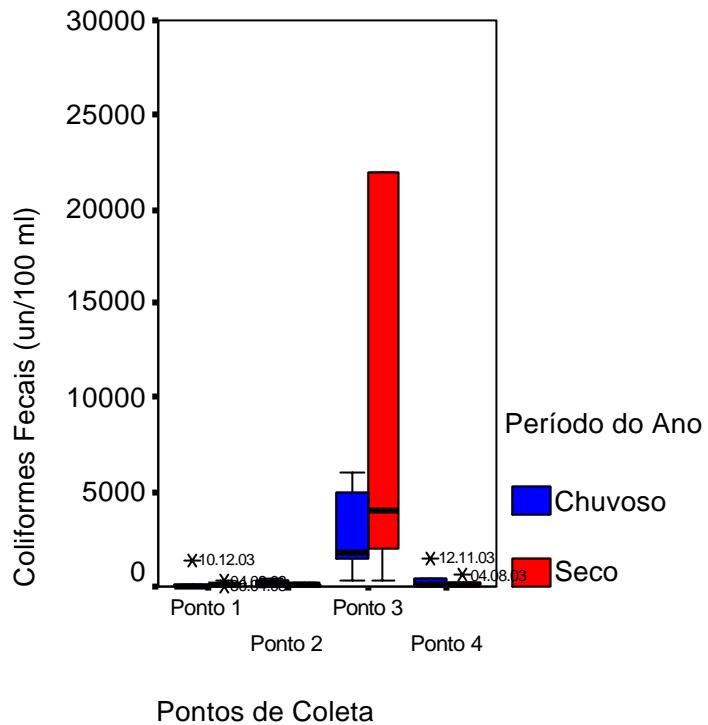
Também é possível verificar a capacidade de recuperação da qualidade de água do ponto 3 para o ponto 4, através de uma redução significativa da concentração de coliformes, provavelmente devido a diluição promovida pela contribuição de afluentes, que contribui para a autodepuração nesse trecho.



**Figura 47.** Variação espacial e temporal da concentração de coliformes fecais na água.



**Figura 48.** Distribuição dos resultados da concentração de coliformes totais na água entre os períodos, seco e chuvoso.



**Figura 49.** Distribuição dos resultados da concentração de coliformes fecais na água entre os períodos, seco e chuvoso.

#### 4.3. Considerações Finais

##### 4.3.1. Padrões de Qualidade de Água para a Irrigação

Os resultados desse trabalho mostraram que, embora existam diversas classificações de qualidade de água para a irrigação na literatura, não são muito específicas, restringindo-se somente a um tipo de problema, como danos a sistemas de irrigação, risco de salinização do solo ou contaminação dos alimentos.

Outro problema é que algumas dessas classificações foram desenvolvidas em condições diferentes das brasileiras, e por isso, os limites estabelecidos podem sofrer variações em relação às condições em que foram determinados. Nesse sentido, esforços futuros devem ser realizados para buscar padrões de qualidade de água, através da criação de um índice de qualidade de água para a irrigação que considere todos parâmetros que diretamente ou indiretamente podem influenciar a técnica da irrigação, e nas condições brasileiras ou de cada região.

#### 4.3.2. Disponibilidade Hídrica e Produção de Sedimentos

Com relação a disponibilidade de água no córrego Três Barras, fica evidente o impacto que a demanda hídrica ocasiona na vazão natural do manancial, e indiretamente sobre a qualidade de água, sendo necessário medidas que visem reduzir esses impactos.

Através da descarga sólida anual, embora determinada sem a influência das maiores vazões (que ocorre em forma de ondas de cheia, em razão do escoamento superficial após as chuvas e onde ocorre maior produção de sedimentos), foi possível verificar uma produção de sedimentos maior que em condições naturais, provavelmente reflexo do processo avançado de erosão e assoreamento, decorrentes da precária conservação dos solos e da ausência das matas ciliares, tendo conseqüências negativas sobre a qualidade de água do manancial. Pela Figura 50, que ilustra um pequeno trecho do córrego com matas ciliares e outro trecho, a uma distância aproximada de 150 metros a jusante do anterior, onde a ausência de mata ciliar provocou o assoreamento, evidencia a sua importância para o manancial.



**Figura 50.** Trecho com mata ciliar e calha profunda (à esquerda) e trecho assoreado (à direita).

Sendo assim algumas medidas devem ser tomadas visando melhorar a disponibilidade e qualidade de água no manancial, tais como:

- (1) utilização de técnicas conservacionistas de plantio (plantio direto, cultivo mínimo, terraceamento, etc);
- (2) manutenção de cobertura vegetal na entre linha das culturas perenes;

- (3) conservação das pastagens (adubação, terraceamento, etc);
- (4) recomposição das matas ciliares e reflorestamento nas partes mais altas das propriedades;
- (5) avaliações mais precisas da real disponibilidade hídrica do córrego visando definir limites sustentáveis para a retirada de água;
- (5) aumentar a eficiência dos sistemas de irrigação (projetos mais adequados tecnicamente, horário de irrigações, manutenção periódica dos equipamentos, etc);
- (6) adoção de técnicas de manejo da irrigação; e
- (7) programar horários de irrigação visando escalonar a retirada de água do córrego, pelos irrigantes.

#### **4.3.3. Qualidade de Água para a Irrigação**

Quanto ao período do ano, verificou-se que durante o período seco que é o de maior demanda hídrica para a irrigação, com exceção dos sólidos suspensos e oxigênio dissolvido, houve uma significativa redução da qualidade de água para a irrigação, sendo por isso, um período que merece maior atenção por parte do irrigante.

Em relação ao lançamento de efluente de esgoto, com exceção do pH e dureza total, promoveu uma significativa redução da qualidade de água, contribuindo para o aumento da concentração de sólidos, ferro total, coliformes, condutividade elétrica e redução da concentração de oxigênio dissolvido, sobretudo durante o período seco e nos locais mais próximos ao lançamento. Com isso, deve-se evitar a utilização da água no trecho de 650 metros após o lançamento do esgoto do município, pois nesta distância não se tem a contribuição de nenhum outro manancial, portanto o efeito de diluição é praticamente nulo neste percurso.

Para os irrigantes que se utilizam da irrigação localizada, a concentração de ferro total deve merecer atenção especial, pois foi o único parâmetro avaliado que apresentou valores acima dos limites permitidos para a irrigação, durante todo o período de avaliação e em todos os pontos avaliados, com uma tendência de aumento em suas concentrações durante o período chuvoso.

Esses resultados mostraram, de acordo com as classificações consideradas e na ausência de sistemas de filtragem e/ou tratamento, que existe um grande risco de

ocorrer obstrução de tubulações e emissores em sistemas de irrigação localizada, principalmente com relação ao pH e aos teores de ferro total. A primeira providência para a melhorar a qualidade de água seriam as medidas já citadas no item anterior (veja item 4.3.2.), através de soluções em nível de microbacia hidrográfica.

Para soluções locais, neste caso, visando evitar ou atenuar os problemas de obstrução em sistemas localizados, seria a utilização de um sistema com dois filtros (PHILIPS, 1985, citado por SOCCOL, 2003, p. 13), um primário e outro secundário. Na Tabela 28 (ANEXO C, página 91), estão apresentadas algumas sugestões para a seleção de sistemas de filtragem em sistemas localizados. No entanto, esses sistemas retêm somente os sedimentos em suspensão, sendo também recomendado nesse caso outras medidas preventivas quanto ao ferro total, como o uso de aeradores, tanques de sedimentação (em alguns casos), tratamento com cloro e abertura periódica dos finais de linhas (MANTOVANI et al (2001).

Quanto ao risco de salinização do solo, mesmo com os altos valores obtidos após o lançamento de esgoto, é pouco provável. De acordo com Bernardo (1989, p. 108), como na maioria das regiões do País existem chuvas significativas, de um modo geral não há necessidade de se acrescentar à lámina total de irrigação uma quantidade extra para a lixiviação. O que precisa é implantar sistemas de drenagem e melhorar a eficiência de irrigação dos projetos, a fim de não se permitir a ascensão do lençol freático, bem como fazer melhor manejo da irrigação, os quais, juntos com as precipitações pluviométricas, farão uma lixiviação natural dos sais trazidos pelas águas de irrigação e não provocarão a salinização dos solos nos projetos de irrigação.

As concentrações de cálcio e magnésio encontrados, de acordo com as classificações estabelecidas, não oferecem restrições de uso para a irrigação. No entanto, deve-se ter atenção especial na adoção da técnica da fertirrigação, visando evitar a precipitação de fertilizantes no interior das tubulações. Sendo assim, recomenda-se evitar a aplicação de fertilizantes fosfatados e outros fertilizantes de baixa solubilidade via água de irrigação.

A contaminação por coliformes, de acordo com os resultados obtidos, é obviamente decorrente do lançamento de efluente de esgoto. No entanto após uma distância de aproximada de 2.550 metros à jusante do lançamento, a concentração se reduz novamente aos limites permitidos para a irrigação. Com isso, seriam necessárias análises mais detalhadas a fim de definir com mais precisão qual seria a

distância mínima segura, a partir do lançamento, em que a água poderia ser utilizada para a irrigação de frutas e hortaliças, sem riscos à saúde. Porém a utilização dessa água para a irrigação, só oferecerá risco de contaminação, se a água atingir os alimentos e se estes forem consumidos crus e/ou com a casca, que por sua vez, dependerá do tipo de sistema empregado e do tipo de cultura a ser irrigada.

#### **4.3.4. Desenvolvimento Sócio-Econômico e Recursos Hídricos**

No município de Marinópolis – SP, tendo sua economia extremamente dependente da agricultura e sendo a agricultura irrigada responsável por uma parcela considerável do valor total da produção agropecuária e ainda associadas à outros fatores de ordem social, como a geração de emprego e consequentemente, a renda da população, e ainda o córrego Três Barras sendo a principal fonte superficial de água para a irrigação no município, pode-se dizer que este recurso natural é determinante na expansão econômica do município, sendo merecedor de atenção especial por parte da comunidade em geral.

Os resultados obtidos neste trabalho, que são o reflexo conjunto da utilização dos recursos naturais da microbacia, mostram que a quantidade e a qualidade de água já sofreram grandes impactos, resultantes das atividades agrícolas (erosão e assoreamento decorrentes da falta de técnicas conservacionistas de plantio e do desmatamento das matas ciliares) e da área urbana (despejo de efluente de esgoto), evidenciando que a microbacia do córrego Três Barras está em processo avançado de degradação.

Com isso, se medidas futuras não forem tomadas a fim de conter o processo de degradação desse recurso hídrico, é provável que o córrego Três Barras não tenha mais capacidade de suportar a expansão de novas áreas irrigadas ou as que já existem, podendo impedir a evolução da produção agropecuária e consequentemente o desenvolvimento sócio-econômico do município, obrigando os irrigantes a buscar outras fontes de água, como as subterrâneas.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

? Esforços futuros devem ser realizados para buscar padrões de qualidade de água, através da criação de um índice de qualidade de água para a irrigação que considere todos parâmetros que diretamente ou indiretamente podem influenciar a técnica da irrigação, e nas condições brasileiras ou de cada região.

? As vazões médias nos pontos 1 (1.145 m da nascente), 3 (2.846 m da nascente) e 4 (5.389 m da nascente), foram respectivamente de 9,73, 28,44 e 64,37 m<sup>3</sup>/h. A média de descarga sólida total para os mesmos pontos foram de 28,2, 181,5 e 327,4 kg/dia. Considerando o ponto 4 como o exutório, a média anual da descarga sólida total foi de 119,5 t/ano (0,091 t/ha.ano).

? Durante o período seco, com exceção dos sólidos suspensos e oxigênio dissolvido, houve uma diminuição da qualidade de água para a irrigação, em todos os pontos avaliados, sendo por isso, um período que merece maior atenção por parte do irrigante.

? O efluente da estação de tratamento de esgoto, com exceção do pH e da dureza total, promoveu uma significativa redução da qualidade de água para a irrigação, contribuindo para o aumento da concentração de sólidos, ferro total, coliformes, condutividade elétrica e redução da concentração de oxigênio dissolvido, sobretudo durante o período seco e nos locais mais próximos ao lançamento. Com isso, dever-se evitar a utilização da água nesse trecho do córrego.

? O ferro total deve merecer atenção especial, pois foi o único parâmetro avaliado que apresentou valores acima dos limites permitidos para a irrigação, durante todo o período de avaliação e em todos os pontos avaliados, com uma tendência de aumento em suas concentrações durante o período chuvoso.

? Se medidas futuras não forem tomadas a fim de conter o processo de degradação desse recurso hídrico, é provável que o córrego Três Barras não tenha mais capacidade de suportar a expansão de novas áreas irrigadas ou as que já existem, podendo impedir a evolução da produção agropecuária e consequentemente o desenvolvimento sócio-econômico do município, obrigando os irrigantes a buscar outras fontes de água, como as subterrâneas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997.** Brasília: Congresso Nacional, 1997.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements.** Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, 1998. 297p.

AYERS, R.S; WESTCOT, D. W. **Calidad del agua para la agricultura.** Roma: FAO, Estudio FAO Riego y Drenaje, n. 29, 1984. 85p.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação.** 4. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV, 1986. 488p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 4 ed. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

BRAGA, B. et al. **Introdução a engenharia ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305p.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento.** Brasília, 1999. 373p.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1974. 242p.

CARVALHO, N. de O.; FILIZOLA JUNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C. dos; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios.** Brasília: ANEEL / Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 132p.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática.** Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.

CHRISTOFIDIS, D. **Recursos hídricos e irrigação no Brasil.** Brasília: CDS/UnB, 1999. 34p.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. S.; BORGES, A. L. Aspectos básicos da fertirrigação. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. **Fertirrigação em fruteiras tropicais.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. cap. 1, p. 9-14.

**COMITÊ DA BACIA DO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS. Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados.** São Paulo, CBH – SJD, 2000. Disponível em:<<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 20 Jan. 2003.

**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2002/ CETESB.** São Paulo: CETESB, 2003. 264p.

**CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986.** Brasília: D.O.U., 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 11 de jul. 2004.

**COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E INTEGRAL. Plano estadual de microbacias hidrográficas: córrego das Três Barras.** Marinópolis, SP, 2003. 50p.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. cap. 7, p.337-379.

CURI, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

**DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Pesquisa de dados dos recursos hídricos do estado de São Paulo.** São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.daee.sp.gov.br>>. Acesso em: 25 ago. 2004.

**DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Síntese do relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo.** São Paulo: DAEE, 1999a. 53p.

**DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Águas subterrâneas: uma riqueza de São Paulo.** São Paulo, 1999b. Disponível em: <<http://www.daee.sp.gov.br>>. Acesso em: 02 jul. 2004.

**DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Plano Estadual dos Recursos Hídricos.** São Paulo, 1994. Disponível em:<<http://www.daee.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2004.

ESTEVES, F. de A. **Fundamento de limnologia.** Rio de Janeiro: FINEP, 1988. 375p.

**FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. Sistema de informações para o gerenciamento dos recursos hídricos do estado de São Paulo (SIGRH).** São Paulo: DAEE, 2000. 1 CD-ROM.

**FUNDAÇÃO CENTRO TÉCNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. Medidores de vazão para pequenos cursos d'água.** Rio de Janeiro: PRONI, 1990. 88p.

GÓES, V. C.; CAMPANA, N. A. Modelos dinâmicos de regionalização de vazões. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. 1 CR-ROM.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 2. ed. Campina Grande: UFPA, 1997. 390p.

HERNANDEZ, F.B.T.; SILVA, C. R.; SASSAKI, N.; BRAGA, R. S. Qualidade de água em um sistema irrigado no noroeste paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz de Iguaçu. **Anais do XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Boletim 200: instruções para as principais culturas econômicas**. 6 ed. Campinas: IAC, 1998. 396p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2000 - resultados do universo**. Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Valor da produção: Escritório de Desenvolvimento Rural**. São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br>>. Acesso em: 23 ago. 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 126p.

IRRIGAÇÃO & TECNOLOGIA MODERNA. **Sistema plantio direto, um parceiro dos rios brasileiros**. Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2003. Trimestral. ISSN 0102-115X. p. 52-53.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de C. H. B. A. Prado e A. C. Franco. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da Irrigação no Brasil. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **O estado das águas no Brasil parte 3 – usuários da água no Brasil**. Brasília: ANEEL, 1999.

LIMA, E. B. N. R. **Modelação integrada para a gestão da qualidade de água na bacia do rio Cuiabá**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

LIMA, W. de P.; ZAKIA M. J. B.; Hidrologia de matas ciliares. In: Rodrigues, R. R.; Leitão Filho, H. de F. **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo / FAPESP, 2000. cap. 3, p.33-44.

LIMA, A. F. **Problemas de engenharia sanitária**. Recife: UFPE, 1993. 319p.

MANTOVANI, E. C. et al. Irrigação por gotejamento e processo de tratamento. In: Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil, 2, 2001, Vitória. Anais do II Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil. Consórcio Brasileiro de Pesquisas e Desenvolvimento do Café, 2001. 1 CD-ROM.

MAURO; F. **Vazão e qualidade de água em manancial degradado do Cinturão Verde de Ilha Solteira – SP.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2003.

MORAES, A. J. **Manual para a avaliação da qualidade da água.** São Carlos: RiMa, 2001. 44p.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production.** St. Joseph: ASAE, 1986. 383p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture.** Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 47, 1992. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/T0551E/t0551e00.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

PORTO, C. G. Intemperismo em regiões tropicais. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. cap. 1, p.25-57.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. de. Caracterização da qualidade de água. In: BRANCO, S. M. **Hidrologia Ambiental.** São Paulo: Editora Universidade de São Paulo / ABRH, 1991. cap. 2, p. 27-66.

PRADO, H. de. **Manual de classificação de solos do Brasil.** 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 197p.

RAMOS, F. et al. **Engenharia hidrológica.** Rio de Janeiro: ABRH, 1989. 404p.

RANZINI, M.; LIMA, W. de P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 144-159, 2002.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos.** São Carlos: EESC/USP, 1998. 840p.

RIJSBERMAN, F. R.; MOLDEN, D. **Balancing water uses: water for food and water for nature.** Bonn: Secretariat of the International Conference Freshwater, 2001. 18p.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada.** Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372p.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. de C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília: ANAEE; ANA, 2001. 328p.

SOARES, J. B; MAIA, A. C. F. **Água: microbiologia e tratamento**. Fortaleza: EUFC, 1999. 206p.

SOCCOL, O. J. **Construção e avaliação de hidrociclone para a pré-lavagem de água de irrigação**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior De Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2003.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Navegar Editora, 2003. 180p.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS, 2002. 256p.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 1993. 943p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, 2003, 248p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Water in world**. [S.I.]. Disponível em:<<http://www.unep.org/>>. Acesso em: 25 jun. 2004.

VANZELA, L. S., HERNANDEZ, F. B. T. Os jovens e o futuro da água. **Jornal de Jales**, Jales, 16 mai. 2004. p. 1-2.

VANZELA, L. S. et al. Caracterização da microbacia do Cinturão Verde de Ilha Solteira - SP para fins de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. 1 CD-ROM.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 1996. 246p.

WATER RESEARCH COUNCIL. **Irrigation-induced water quality problems: what can be learned from the San Joaquin Valley experience**. Washington: National Research Council, 1989. 157p.

**ANEXOS**

## ANEXO A

### Resultado das Análises de Água por Ponto de Avaliação

**Tabela 23.** Resultado de todas as análises realizadas no ponto 1.

Data	CE μS/cm	Fe	Ca	Mg	DT	SS	SD	ST	OD	pH	CT por 100 ml	CF 100 ml	Turbidez NTU
		mg/l											
20/12/02	141	0,3	40	30	70	41	75	116	5,6	6,80	200	0	51,40
29/01/03	129	0,3	38	38	76	84	75	159	7,0	7,68	500	0	27,20
26/02/03	130	0,4	40	18	58	20	100	120	6,4	7,70	200	0	26,00
31/03/03	89	0,4	35	39	74	126	60	186	6,8	7,00	0	0	58,70
30/04/03	141	0,2	78	50	128	4	81	85	7,8	7,26	0	0	14,70
02/06/03	154	0,2	48	28	76	4	111	115	8,4	7,70	400	100	6,31
30/06/03	164	0,3	58	26	84	4	124	128	9,2	7,45	100	100	24,30
04/08/03	178	0,2	30	24	54	29	59	88	4,4	7,26	500	300	13,30
10/09/03	213	0,2	68	88	156	9	145	154	7,8	8,24	700	100	10,69
14/10/03	225	0,2	40	32	72	7	152	159	8,4	8,15	200	100	6,30
12/11/03	197	0,2	30	42	72	10	115	125	7,4	7,64	100	100	10,48
10/12/03	136	0,3	40	70	110	31	48	79	8,4	7,68	1.400	1.400	42,00

**OBS:** CE (condutividade elétrica a 25°C); Fe (ferro total); Ca (cálcio); Mg (magnésio); DT (dureza total); SS (sólidos suspensos); SD (sólidos dissolvidos); STS (sólidos totais); OD (oxigênio dissolvido); pH (potencial hidrogeniônico); CT (coliformes totais); CF (coliformes fecais).

**Tabela 24.** Resultado de todas as análises realizadas no ponto 2.

Data	CE μS/cm	Fe	Ca	Mg	DT	SS	SD	STS	OD	pH	CT por 100 ml	CF 100 ml	Turbidez NTU
		mg/l											
20/12/02	219	1,2	64	48	112	26	105	131	1,0	7,50	400	200	14,30
29/01/03	173	0,2	54	42	96	11	173	184	5,6	6,98	500	400	3,67
26/02/03	234	0,4	80	42	122	6	133	139	4,0	6,75	500	0	3,86
31/03/03	198	0,8	42	58	100	121	83	204	6,6	6,92	500	300	6,12
30/04/03	228	0,3	150	56	206	3	120	123	7,8	7,23	500	100	5,29
02/06/03	211	0,8	68	36	104	11	127	138	7,8	7,36	100	0	4,58
30/06/03	213	0,8	72	44	116	3	163	166	7,8	7,22	700	200	11,10
04/08/03	240	2,0	56	34	90	40	93	133	2,8	6,93	400	100	11,60
10/09/03	281	0,3	60	82	142	11	161	172	1,2	7,69	400	100	2,63
14/10/03	307	1,2	68	22	90	10	186	196	4,2	7,65	100	0	6,19
12/11/03	233	2,0	48	40	88	11	135	146	3,0	7,11	100	0	0,00
10/12/03	166	1,2	40	92	132	41	42	83	6,4	7,91	600	200	33,40

**OBS:** CE (condutividade elétrica a 25°C); Fe (ferro total); Ca (cálcio); Mg (magnésio); DT (dureza total); SS (sólidos suspensos); SD (sólidos dissolvidos); STS (sólidos totais); OD (oxigênio dissolvido); pH (potencial hidrogeniônico); CT (coliformes totais); CF (coliformes fecais).

**Tabela 25.** Resultado de todas as análises realizadas no ponto 3.

Data	CE μS/cm	Fe	Ca	Mg	DT	SS	SD	STS	OD	pH	CT por 100 ml	CF	Turbidez NTU
		mg/l											
20/12/02	304	1,2	48	40	88	18	150	168	2,4	7,00	3.000	2.000	31,80
29/01/03	267	0,2	66	44	110	7	302	309	3,8	6,95	1.700	1.500	0,00
26/02/03	473	1,5	90	42	132	34	137	171	0,6	7,05	1.800	300	7,80
31/03/03	241	0,2	72	70	142	115	104	219	6,0	6,91	1.800	1.500	3,44
30/04/03	365	0,5	196	56	252	5	194	199	5,6	7,33	4.000	3.000	6,32
02/06/03	322	0,2	70	40	110	18	199	217	4,6	7,36	1.300	300	0,60
30/06/03	508	1,8	78	48	126	2	291	293	3,8	7,08	27.000	22.000	11,60
04/08/03	788	3,0	80	56	136	39	310	349	4,4	7,06	37.000	22.000	86,10
10/09/03	784	2,0	42	50	92	37	353	390	2,0	7,83	9.000	5.000	37,60
14/10/03	961	3,0	58	70	128	45	573	618	3,2	7,78	4.000	2.000	68,60
12/11/03	728	3,0	30	20	50	147	564	711	2,8	6,74	7.000	5.000	14,60
10/12/03	251	2,5	60	36	96	20	112	132	5,2	7,80	11.000	6.000	8,95

**OBS:** CE (condutividade elétrica a 25°C); Fe (ferro total); Ca (cálcio); Mg (magnésio); DT (dureza total); SS (sólidos suspensos); SD (sólidos dissolvidos); STS (sólidos totais); OD (oxigênio dissolvido); pH (potencial hidrogeniônico); CT (coliformes totais); CF (coliformes fecais).

**Tabela 26.** Resultado de todas as análises realizadas no ponto 4.

Data	CE uS/cm	Fe	Ca	Mg	DT	SS	SD	STS	OD	pH	CT por 100 ml	CF	Turbidez NTU
		mg/l											
20/12/02	280	1,5	58	42	100	33	130	163	1,6	6,90	300	200	30,50
29/01/03	220	0,5	78	36	114	40	170	210	9,6	6,91	200	100	2,49
26/02/03	290	0,5	88	18	106	27	146	173	2,8	7,04	100	0	6,42
31/03/03	224	0,5	76	106	182	100	89	189	6,6	7,20	600	400	8,36
30/04/03	292	0,7	166	54	220	1	181	182	6,6	7,25	800	100	5,76
02/06/03	273	0,5	66	50	116	10	180	190	7,2	7,33	0	0	3,09
30/06/03	293	0,8	66	48	126	20	199	219	7,4	7,36	300	100	7,97
04/08/03	302	0,8	62	54	116	7	130	137	5,0	7,24	700	600	7,50
10/09/03	377	2,0	54	68	122	30	223	253	3,8	7,59	400	200	2,54
14/10/03	394	0,2	62	30	92	6	239	245	3,8	7,32	300	200	0,60
12/11/03	411	0,4	68	46	114	40	280	320	3,6	7,09	1.500	1.500	2,75
10/12/03	177	1,5	42	50	92	25	50	75	6,0	7,98	100	100	4,41

**OBS:** CE (condutividade elétrica a 25°C); Fe (ferro total); Ca (cálcio); Mg (magnésio); DT (dureza total); SS (sólidos suspensos); SD (sólidos dissolvidos); STS (sólidos totais); OD (oxigênio dissolvido); pH (potencial hidrogeniônico); CT (coliformes totais); CF (coliformes fecais).

## ANEXO B

### Vazões e Descargas Sólidas

**Tabela 27.** Vazões e descargas sólidas para os pontos 1, 3 e 4.

Data	Ponto 1		Ponto 3			Ponto 4				
	Q (m <sup>3</sup> /h)	DST (kg/dia)	Q (m <sup>3</sup> /h)	DSS (kg/dia)	DSL	DST	Q (m <sup>3</sup> /dia)	DSS (kg/dia)	DSL	DST (kg/dia)
20/12/02	5,45	15,2	18,42	74,3	0,0	74,3	74,25	290,5	41,2	331,7
29/01/03	14,40	55,0	62,74	465,3	63,6	528,8	146,71	739,4	213,0	952,5
26/02/03	9,01	25,9	9,12	37,4	0,0	37,4	43,92	182,4	31,5	213,8
31/03/03	15,92	71,1	51,61	271,3	34,6	305,9	90,16	409,0	76,7	485,7
30/04/03	11,58	23,6	12,94	61,8	0,0	61,8	52,40	228,9	35,7	264,6
02/06/03	10,68	29,5	45,40	236,4	32,6	269,0	71,22	324,8	110,2	435,0
30/06/03	5,28	16,2	33,13	233,0	0,0	233,0	44,66	234,7	28,1	262,8
04/08/03	5,18	10,9	18,01	150,8	0,0	150,8	10,62	34,9	0,0	34,9
10/09/03	6,28	23,2	6,53	61,2	0,0	61,2	0,29	1,7	0,0	1,7
14/10/03	2,03	7,7	9,70	143,9	0,0	143,9	0,79	4,6	0,0	4,6
12/11/03	1,00	3,0	4,44	75,8	0,0	75,8	9,12	70,1	0,0	70,1
10/12/03	29,96	56,8	69,28	219,5	16,3	235,8	228,26	410,9	461,1	872,0

**OBS:** Q (vazão); DSS (descarga sólida em suspensão); DSL (descarga sólida do leito); DST (descarga sólida total).

## ANEXO C

### Recomendações para a Seleção de Sistemas de Filtragem

**Tabela 28.** Recomendações para a seleção de sistemas de filtragem para sistemas de irrigação localizada.

Tipo de contaminante	Concentração	Carga aproximada (mg/l)	Tela na sucção da bomba <sup>1</sup>	Separador centrífugo <sup>2</sup>	Filtro de tela	Filtro de areia
Orgânico ou mistura orgânico e inorgânico	Leve	$\leq 10$	X	X		X
	Moderada	10-25	X	X		X
	Média	25-50	X	X		X
	Média/alta	50-75	X	X		X
	Alta	75-100	X	X		X
	Muito alta	$> 100$	X	X		$X^3$
Inorgânicos	Leve	$\leq 10$	X	X	X	X
	Moderada	10-25	X	X	X	X
	Média	25-50	X	X	$X^3$	X
	Média/alta	50-75	X	X	$X^3$	X
	Alta	75-100	X	X		X
	Muito alta	$> 100$	X	X		$X^3$

**OBS:** <sup>1</sup>Recomenda-se tela na sucção da bomba somente como pré-tratamento antes do filtro primário.

<sup>2</sup>Recomenda-se separadores centrífugos somente para a remoção de material inorgânico com peso específico  $\geq 2 \text{ g/cm}^3$  e deve ser utilizado em conjunto com o filtro de tela e areia.

<sup>3</sup>É recomendado em pré-tratamento com separador centrífugo.

**Fonte:** Modificado de PHILIPS (1995) citado por SOCCOL (2003).