

**QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS
SUPERFICIAIS EM SUB-BACIAS
HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO ALTO RIO
GRANDE - MG**

DANIEL BRASIL FERREIRA PINTO

2007

DANIEL BRASIL FERREIRA PINTO

**QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS EM
SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO
ALTO RIO GRANDE - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva.

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Pinto, Daniel Brasil Ferreira.

Qualidade dos recursos hídricos superficiais em sub-bacias
hidrográficas da região Alto Rio Grande - MG /Daniel Brasil Ferreira
Pinto – Lavras: UFLA, 2007.

89 p. : il.

Orientador: Antônio Marciano da Silva.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Bacia Hidrográfica. 2. Poluição Hídrica. 3. Índice de Qualidade
da Água. I.Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-551.48

DANIEL BRASIL FERREIRA PINTO

**QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS EM
SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO
ALTO RIO GRANDE - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em

Prof. Dr. Carlos Rogério de Mello

UFLA

Pesquisador Dr. Gilberto Coelho

UFLA

Dr. Athadeu Ferreira da Silva

CODEVASF

Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva.

DEG/UFLA - MG

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS-BRASIL

2007

Aos meus pais, Valéria e Paulo, e a minha irmã Adriana, que sempre estiveram
ao meu lado, apoiando-me incondicionalmente, acreditando firmemente
no meu potencial,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Setor de Engenharia de Água e Solo, pela oportunidade de realizar este trabalho.

À FAPEMIG (projeto CAG 117/03), pelos recursos disponibilizados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao laboratório de análise de água do Departamento de Engenharia e ao laboratório de análises do Departamento de Ciências do Solo, pelas análises contidas neste trabalho.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Primeiro a Deus, pela dádiva na minha vida.

Ao professor Antônio Marciano da Silva, pela orientação, amizade e confiança durante todo o tempo.

Ao professor Carlos Rogério de Mello, co-orientador, pela orientação, paciência e dedicação, que tornaram possível a realização deste trabalho.

Ao amigo e co-orientador professor Gilberto Coelho, pela orientação, convivência e ajuda prestada na realização deste trabalho.

Aos amigos Márcio Adalberto, Natalino, Gil Júlio, José Alves, Renato Antônio, Marcelo, Leandro, Leonardo e Donizete, pela convivência, amizade e por terem me ajudado no levantamento das informações contidas neste trabalho.

Aos funcionários Osvaldo e José Luis, pela amizade e convivência desde a graduação.

Aos proprietários das áreas das sub-bacias, pela confiança, amizade e ajuda prestada.

A minha futura esposa Viviane (Vi), que esteve ao meu lado, dando carinho, atenção, amor e amizade nas horas mais difíceis e sempre acreditando no meu potencial.

As laboratoristas do LAADEG, Pâmela e Juliana pela amizade e favores prestados na realização das análises.

A todos que de alguma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado.

BIOGRAFIA

Daniel Brasil Ferreira Pinto, filho de Paulo Rogério Brasil Pereira Pinto e Valéria de Paula Ferreira Brasil Pinto, nasceu em Lavras, MG, em 18 de agosto de 1.981.

Em agosto de 2000 ingressou na Universidade Federal de Lavras, onde, em julho de 2005, obteve o título de Engenheiro Agrícola.

Em agosto de 2005 iniciou o curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, também na Universidade Federal de Lavras, concentrando seus estudos na área de Engenharia de Água e Solo.

Em 6 de março de 2007, submeteu-se à defesa de dissertação para obtenção do título de “Mestre”.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Sub-bacias hidrográficas.....	3
2.2 Água: um bem público e dotado de valor.....	4
2.3 Água: qualidade X poluição	5
2.4 Fontes de poluição	6
2.4.1 Fontes pontuais	8
2.4.2 Fontes difusas	8
2.5 Influência da cobertura vegetal na qualidade da água	9
2.6 Atividades agropecuárias e a qualidade dos recursos hídricos.....	10
2.7 Parâmetros de qualidade da água.....	11
a) Potencial hidrogeniônico (pH).....	11
b) Temperatura da água	12
c) Turbidez.....	12
d) Sólidos	13
e) Matéria orgânica	13
f) Condutividade elétrica	14
g) Coliformes	15
h) Nitrogênio.....	15
i) Oxigênio dissolvido.....	16
j) Fósforo.....	17

2.8 Índice de Qualidade de Água (IQA)	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Aspectos Gerais	19
3.2 Modelo digital de elevação	21
3.3 Usos múltiplos da água	21
3.4 Uso atual do solo.....	21
3.5 Caracterização das áreas de estudo	22
3.5.1 Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha	22
3.5.2 Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela.....	27
3.5.3 Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela	32
3.6 Plano amostral de qualidade da água.....	38
3.6.1 Procedimento amostral	38
3.6.2 Seleção dos parâmetros de qualidade da água	39
3.7 Análise dos parâmetros de qualidade da água	39
a) Análises “ <i>in situ</i> ”	39
b) Análises laboratoriais	40
3.8 Índice de Qualidade de Água (IQA)	41
3.9 Enquadramento em classes da resolução CONAMA 357/05	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 Qualidade dos recursos hídricos superficiais.....	50
4.1.1 Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha	50
4.1.2 Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela.....	60
4.1.3. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela	69
4.1.4 Qualidade da água nos ambientes monitorados	76
4.2. Enquadramento dos recursos hídricos superficiais em classes estabelecidas pela Resolução 357/05 – CONAMA.	76
4.2.1. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha	76

4.2.2. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela.....	78
4.2.3. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela	79
4.2.4 Enquadramento da água nos ambientes monitorados	81
5. CONCLUSÕES	82
6. RECOMENDAÇÕES	83
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Categoria das fontes pontuais e difusas de poluição hídrica.....	7
TABELA 2: Uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha.....	25
TABELA 3: Uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela.....	30
TABELA 4: Uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela.....	36
TABELA 5: Pesos dos parâmetros de qualidade aplicados no cálculo do IQA.....	42
TABELA 6: Classificação do nível de qualidade da água conforme valores de IQA.....	42
TABELA 7: Limites da classe 2 - Resolução CONAMA 357/05.....	49
TABELA 8: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-01.....	50
TABELA 9: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-02.....	51
TABELA 10: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-03.....	51
TABELA 11: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-04.....	52
TABELA 12: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-05.....	52
TABELA 13: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-06.....	53

TABELA 14: Índice de Qualidade da Água nos pontos de amostragem na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, durante o período de monitoramento.	58
TABELA 15: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BV-01.	61
TABELA 16: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BV-02.	61
TABELA 17: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BV-03.	62
TABELA 18: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BV-04.	62
TABELA 19: Índice de Qualidade da Água nos pontos de amostragem na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela, durante o período de monitoramento.	67
TABELA 20: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BM-01.	70
TABELA 21: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BM-02.	70
TABELA 22: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BM-03.	71
TABELA 23: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BM-04.	71
TABELA 24: Índice de Qualidade da Água nos pontos de amostragem na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, durante o período de monitoramento.	74
TABELA 25: Resumo do enquadramento, de cada ponto amostrado na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, em classes da Resolução CONAMA 357/05.	78

TABELA 26: Resumo do enquadramento, de cada ponto amostrado na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela, em classes da Resolução CONAMA 357/05.	79
TABELA 27: Resumo do enquadramento, de cada ponto amostrado na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, em classes da Resolução CONAMA 357/05.	80

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos GD1 com rede de drenagem, sua localização no estado e das seções de controle das sub-bacias hidrográficas monitoradas.....	20
FIGURA 2: Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, pontos de amostragem de qualidade da água, usuários de água, hidrografia e modelo digital de elevação.....	23
FIGURA 3: Precipitação mensal na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, durante o período amostral (maio de 06 a janeiro de 07).	25
FIGURA 4: Mapa de uso atual do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha.	26
FIGURA 5: Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela, pontos de amostragem de qualidade da água, usuários de água, hidrografia e modelo digital de elevação.....	29
FIGURA 6: Precipitação mensal na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela no período amostral (maio de 2006 a janeiro de 2007).	30
FIGURA 7: Mapa de uso atual do solo da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela.	31
FIGURA 8: Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, pontos de amostragem de qualidade da água, usuários de água, hidrografia e modelo digital de elevação.....	34
FIGURA 9: Precipitação mensal na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, no período amostral (maio de 2006 a janeiro de 2007).	35
FIGURA 10: Mapa de uso atual do solo da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela.	37
FIGURA 11: Análise da qualidade da água "in situ".	40

FIGURA 12: Curvas médias de variação da qualidade em função das
concentrações..... 41

RESUMO

PINTO, Daniel Brasil Ferreira. **Qualidade dos recursos hídricos superficiais em sub-bacias hidrográficas da região Alto Rio Grande - MG.** 2007. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG¹.

A água, elemento essencial para vida, vem sofrendo drásticas modificações nos últimos tempos devido às ações antrópicas. Estudos relacionados à qualidade da água são de suma importância no contexto da sustentabilidade ambiental. Com este trabalho estudou-se o comportamento da qualidade da água em três ambientes distintos na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD 1 – Alto Rio Grande, MG. A primeira área de estudo apresenta 687 ha, compreendendo a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha, a qual é afluente do Rio Grande. A segunda área de estudo, com 178 ha, compreende a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Vista Bela, sendo este, afluente do Rio Aiuruoca. A terceira área de estudo, com 477 ha, compreende a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, o qual é afluente do Córrego Jaguara, que drena para o reservatório da UHE CEMIG/Camargos. A primeira sub-bacia encontra-se na Serra da Mantiqueira, a segunda e a terceira encontram-se no Planalto Campo das Vertentes. Os mapas de uso atual do solo de cada área, foram gerados a partir de levantamento em campo com auxílio de GPS. As amostras de qualidade foram coletadas no período de maio de 2006 a janeiro de 2007. Na primeira área foram amostrados 6 pontos, na segunda e na terceira 4 pontos. Os parâmetros analisados foram: potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica, salinidade, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrato (NO_3^-), nitrogênio amoniacal (NH_3), fósforo (PO_4), turbidez, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos (TDS), coliformes fecais (*Escherichia coli*), coliformes totais. Para os dados obtidos calculou-se o Índice de Qualidade da Água (IQA), proposto pelo IGAM e verificou-se o provável enquadramento em classes conforme Resolução 357/05 CONAMA. As condições ambientais refletiram-se tanto nos valores do IQA quanto no processo de enquadramento, identificando-se nítida diferença da sub-bacia Lavrinha em relação às demais, sendo a presença de áreas com mata nativa, o fator determinante desta situação. Constatou-se ainda que o principal fator causador do quadro crítico é o NMP de coliformes, o qual se associa com a pecuária. Em menor escala o OD e a DBO são também fatores limitantes, e, de forma bem evidente associa-se a presença de PO_4 ao cultivo de milho na sub-bacia da Marcela.

¹ Comitê de Orientação: Antônio Marciano da Silva – UFLA/DEG (Orientador); Carlos Rogério de Mello – UFLA/DEG; Gilberto Coelho – UFLA/DEG.

ABSTRACT

PINTO, Daniel Brasil Ferreira. **Surface water resources quality at watersheds of the Alto Rio Grande region, MG State.** 2007. 89 p. Thesis (Master of Science in Agricultural Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras – MG².

Water resources, essential element to life, have been seriously modified in last years, basically by human actions. Water quality studies have been very important to environmental management. This work aims at to study the behavior of surface water resources quality, in three specific environments belong to “Water Resources Unit for Planning and Management” GD 1, in Alto Rio Grande region, MG State. One of the watersheds monitored drainages area of 687 ha and it is nominated Ribeirão Lavrinha, being direct affluent of Rio Grande River, enclosed to Mantiqueira Mountains. Another watershed monitored drainages area of 178 ha and it is nominated Ribeirão Vista Bela, flowing direct to Aiuruoca River, in Campos das Vertentes sub-region. The third watershed is nominated Ribeirão Marcela and drainages area of 477 ha, being affluent of Jaguará River, which it flows direct to Hydropower Plant Camargos Reservoir/CEMIG. This watershed is also located at to Campos das Vertentes sub-region. In first watershed, the samples were collected in six locations; in second and third, in four locations. Land use map of each watershed was developed using GPS based on field observations. It was monitored, from May/06 to January/07, the following parameters: hydrogen potential (pH), Dissolved Oxygen (OD), electric conductivity (CE), salinity, temperature, Oxygen Biochemistry Demand (DBO), Oxygen Chemistry Demand (DQO), nitrate (NO_3^-), ammonia (NH_3), phosphorous (PO_4), turbidity, total soil, total dissolved soil (TDS), fecal coliform (*Escherichia coli*), total coliform. Water Quality Index (IQA), proposed by “Minas Gerais State Institute for Water Resources Management” (IGAM), was calculated for all samples. In addition, water bodies were classified in quality class according to CONAMA Resolution 357/05. The ambient conditions had in such a way reflected in the values of the IQA how much in the framing process, identifying itself clear difference of the Lavrinha watershed in relation to excessively, being the presence of areas with native bush, the determinative factor of this situation. Which was evidenced despite the main causing factor of the critical picture is the NMP of coliform, if associates with the milk productions. In lesser the scales, the OD and the DBO are also limits factors, and, of well evident form it associates presence of PO_4 to the culture of maize in the sub-basin of the Marcela.

² Guidance Committee: : Antônio Marciano da Silva – UFLA/DEG (Advisor); Carlos Rogério de Mello – UFLA/DEG; Gilberto Coelho – UFLA/DEG.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por água de boa qualidade tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas, devido ao crescimento desordenado da população. As atividades humanas ocorrem em bacias hidrográficas, sejam elas rurais ou urbanas, alterando suas características e contribuindo para a mudança do equilíbrio e da dinâmica dos recursos naturais.

A estas alterações está associado um aumento na geração de cargas poluentes que atingem os sistemas hídricos. O processo de urbanização desordenado e as atividades de agricultura e pecuária são, hoje, grandes responsáveis pela degradação da qualidade dos recursos hídricos superficiais.

A interferência do homem na qualidade dos recursos hídricos é hoje tão significativa que esta pode ser definida em função do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica. Este fato reflete a relação entre as atividades predominantemente desenvolvidas na bacia hidrográfica e o tipo de poluição gerada por cada uma delas.

As fontes difusas de poluição, especialmente a agricultura e a pecuária, têm sido objeto de atenção em muitos países, devido à dificuldade de se estabelecerem procedimentos de avaliação de impactos ambientais e da adoção de padrões aceitáveis, como outrora ocorreu com as fontes pontuais.

O estudo e o levantamento dos parâmetros de qualidade da água têm se tornado importantes aliados na busca do desenvolvimento sustentável e na preservação dos recursos hídricos. A compreensão da dinâmica destes parâmetros tem sido alcançada por meio de índices de qualidade da água (IQA).

O IQA mais usado em todo mundo foi proposto pela National Sanitation Foundation (NSF), dos Estados Unidos. O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) adaptou o IQA para as condições brasileiras, especialmente para o estado de Minas Gerais.

Em 17 de março de 2005, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou, no Diário Oficial da União, a Resolução 357, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Neste contexto objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade da água em três sub-bacias hidrográficas rurais da região do alto Rio Grande, ao longo do tempo, por meio do índice de qualidade de água proposto pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), e associar os resultados, ao uso dos recursos naturais nas sub-bacias hidrográficas e verificar o provável enquadramento dos ribeirões em classes estabelecidas pela Resolução CONAMA 357/05.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sub-bacias hidrográficas

Silveira (2001) define bacia hidrográfica como sendo uma área de captação natural da água da chuva que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório, ou seção controle. É composta, basicamente, de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar em um leito único no exutório.

As sub-bacias hidrográficas estão interligadas por uma rede hídrica, estabelecendo, assim, uma ordem hierárquica, fazendo com que cada bacia se interligue com uma outra hierarquicamente superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia hidrográfica. Assim, o termo microbacia, embora bastante difundido, é uma denominação empírica (Souza & Fernandes, 2000) que se refere às dimensões geofísicas limitadas pelos divisores de água, inferindo uma ordem de grandeza. Uma vez que sub-bacias de menor ordem vão interligando em sub-bacias de ordem superior, as dimensões assumem caráter relativo, sugerindo a substituição de microbacia por sub-bacia hidrográfica (Mello, 2003 e Souza & Fernandes, 2000).

Guerra & Cunha (1996) relatam que bacias hidrográficas são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, pois, nessa óptica, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza. Ainda de acordo com esses autores, em nações mais desenvolvidas, a bacia hidrográfica também tem sido utilizada como unidade de planejamento e gestão, compatibilizando os diversos usos e interesses pela água e garantindo sua qualidade e quantidade.

Atualmente, tanto em países desenvolvidos, quanto naqueles em desenvolvimento, como o Brasil, as bacias hidrográficas são utilizadas como

unidades de planejamento e gestão. Um exemplo concreto é o caso do estado de Minas Gerais, onde todo o Estado foi subdividido em Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH).

Os grandes trunfos do manejo integrado de sub-bacias hidrográficas, relatado por Costa (1987), são, de um lado o manejo partir de um limite natural, ou seja, envolve não a demarcação artificial da propriedade rural, mas todo um sistema natural e, de outro, a tentativa de conscientizar a população que habita a sub-bacia sobre a necessidade de conservar seus recursos naturais.

2.2 Água: um bem público e dotado de valor

A gestão das águas no Brasil passou por um período de grandes avanços desde o final da década de 80 até a promulgação da Lei das Águas (nº. 9433), de 08/01/1997. Esta lei é fundamentada em alguns princípios básicos, tais como: adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; garantia do uso múltiplo dos recursos hídricos; reconhecimento da água como um recurso finito, vulnerável e um bem de valor econômico. Instituiu, assim, a cobrança pelo seu uso e previsão de uma gestão descentralizada e participativa, com o deslocamento do poder de decisão para os níveis hierárquicos locais e regionais do governo, e a participação dos usuários, da sociedade civil organizada, das ONGs e de outros agentes por meio dos comitês de bacia.

Com esta lei, foram ainda definidos cinco instrumentos para o gerenciamento das águas no país, com o objetivo de promover a gestão e o controle dos recursos hídricos, todos eles dependentes de bases sólidas de dados. No primeiro grupo, encontram-se o plano de recursos hídricos e o enquadramento dos corpos d'água, que respondem pela gestão quantitativa e qualitativa da água. São instrumentos que fortalecem a relação entre a gestão dos recursos hídricos e do meio ambiente, a partir da formulação de metas de qualidade a serem alcançadas, tomando como base a Resolução 357/05

CONAMA. No segundo grupo, estão a outorga e a cobrança, elementos relevantes de controle dos usos desses recursos hídricos. O quinto instrumento é o sistema nacional de informações, destinado a coletar, organizar, criticar e difundir a base de dados relativa aos recursos hídricos.

Magrini & Santos (2001) enfatizam que, com a promulgação da lei das águas, foram introduzidas mudanças radicais na concepção da gestão ambiental e nos instrumentos tradicionalmente aplicados por esta lei, principalmente no rompimento do conceito de gestão vigente, calcado na divisão político-administrativo e na utilização de instrumentos de comando-controle. Estas mudanças obtiveram um importante resultado no sentido de conscientização ambiental, aprimorando os planos de manejo conservacionistas e dando ênfase aos planos diretores.

2.3 Água: qualidade X poluição

Quando se utiliza o termo "qualidade de água", é necessário compreender que o mesmo não se refere, necessariamente, a um estado de pureza, mas sim às características químicas, físicas e biológicas, e que, conforme essas características são estipuladas diferentes finalidades para a água.

Os conceitos de qualidade da água e poluição estão comumente interligados. Porém, a qualidade da água reflete sua composição, quando afetada por causas naturais e por atividades antropogênicas. A poluição, entretanto, decorre de mudanças nas qualidades físicas, químicas, radiológicas ou biológicas do ar, da água e do solo, causadas pelo homem ou por outras atividades antropogênicas, que podem ser prejudiciais ao uso presente, futuro e potencial do recurso.

Há um consenso mundial de que o crescimento da demanda mundial por água de boa qualidade ocorre a uma taxa superior à da renovabilidade do ciclo hidrológico. Esse crescimento tende a se tornar uma das maiores pressões

antrópicas sobre os recursos naturais do planeta neste século. A demanda aumentou mais de seis vezes entre 1900 e 1995, mais que o dobro das taxas de crescimento da população, e continua a crescer rapidamente, com a elevação do consumo pelos setores agrícola, industrial e urbano.

Tucci (2000) considera que as condições atuais de disponibilidade e demanda mostram que, na média e na maior parte do território brasileiro, não existe déficit de recursos hídricos. No entanto, observam-se situações desfavoráveis em períodos de estiagem no semi-árido brasileiro e em cidades de médio e grande porte. Ressalta, ainda, que as grandes concentrações brasileiras apresentam condições críticas de sustentabilidade, devido ao excesso de cargas de poluição doméstica e industrial e à ocorrência de enchentes urbanas, que contaminam os mananciais. As cidades de São Paulo e Recife exemplificam bem este quadro acima: a primeira importa a maior parte da água da bacia do Rio Piracicaba, devido à contaminação dos seus mananciais e a segunda enfrenta constantes racionamentos, mesmo com grande extração de água subterrânea.

A diversidade, o número de fontes existentes e o potencial de contaminação química dos corpos d'água são bem grandes. Holt (2000) aponta que se, por um lado, a industrialização e a urbanização, juntamente com a intensificação das atividades agrícolas, têm resultado no aumento da demanda por água, por outro lado, aumentam o lançamento de contaminantes nos corpos d'água, contribuindo para a poluição hídrica. As maiores e mais significativas rotas de contaminação são ocasionadas por emissões diretas e indiretas dos esgotos tratados e não-tratados, escoamento e deposição atmosférica, e pelo processo de lixiviação do solo.

2.4 Fontes de poluição

Segundo Von Sperling (1995), poluição das águas é a adição de substâncias ou de formas de energia que, diretamente ou indiretamente, alteram

a natureza do corpo d'água de maneira que prejudique os legítimos usos que dele são feitos.

Novotny & Olen (1994) consideram que poluição é uma mudança física, química, radiológica ou alteração na qualidade biológica de um recurso (ar, solo ou água) devido às atividades humanas que são prejudiciais ao meio ambiente.

As variedades de poluentes lançados nos corpos d'água podem ser agrupadas em duas grandes classes: pontual e difusa. Na Tabela 1 podem ser observadas as principais categorias de poluentes que compõem cada classe, conforme definido por Davis et al. (1998), onde poluentes de maior representatividade incluem: material orgânico, nutrientes, os organismos patogênicos, material em suspensão, metais pesados, material orgânico tóxico e calor.

TABELA 1: Categoria das fontes pontuais e difusas de poluição hídrica.

Categoria das Fontes				
Categoria dos Poluentes	Fontes Pontuais		Fontes Difusas	
	E. Doméstico	E. Industrial	Esc. Agrícola	Esc. Urbano
M. O.	X	X	X	X
Nutrientes	X	X	X	X
Patogênicos	X	X	X	X
S. S.	X	X	X	X
Sais		X	X	X
M. T.		X		X
M. O. T.		X	X	
Temperatura		X		

M.O.=material orgânico, S.S.=sólidos suspensos, M.O.T.=material orgânico tóxico, M.T.= metais tóxicos. E. doméstico= efluente doméstico, E. industrial= efluente industrial, Esc. agrícola= escoamento agrícola, Esc. urbano= escoamento urbano. Fonte: Adaptado de Davis et al. (1998).

2.4.1 Fontes pontuais

Fontes pontuais de poluição são caracterizadas por uma descarga concentrada, em um ponto bem definido, como na saída de uma tubulação. As principais contribuições desta natureza se devem a sistemas de esgoto sanitário urbano não tratado ou parcialmente tratado e as descargas industriais (Novotny, 2003).

2.4.2 Fontes difusas

A magnitude da poluição não pontual, ou difusa, é enorme. Por causa desta fonte de poluição, milhões de pessoas sofrem com doenças de veiculação hídrica, bilhões de dólares em investimentos de desenvolvimento econômico são perdidos e trilhões de dólares em passivo ambiental estão sendo acumulados para as próximas gerações assumirem (Duda, 1993).

As condições que caracterizam fontes de poluição difusas podem ser resumidas da seguinte forma (Novotny, 2003):

- o lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionado, basicamente, à precipitação e ao uso do solo na bacia;
- os poluentes são transportados a partir de extensas áreas;
- as cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, mesmo porque não é possível identificar exatamente sua origem;
- o foco do monitoramento e abatimento de cargas de origem difusa devem ter caráter extensivo (sobre a bacia hidrográfica) e preventivo, com medidas de gerenciamento do escoamento superficial e não visando apenas o tratamento de efluentes;
- é difícil o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento de efluentes, uma vez que a carga poluidora lançada varia de acordo com a intensidade e a duração dos eventos meteorológicos, a extensão da área de produção naquele evento específico, dentre outros fatores;

Quanto à origem da poluição difusa, os ambientes considerados mais importantes são o rural (atividades de agricultura e pecuária) e o urbano (atividades residenciais, comerciais e industriais). Para cada tipo de uso do solo na bacia hidrográfica, podem-se observar características quantitativas e qualitativas de escoamento superficial bastantes distintas (Tong & Chen, 2002; Wurbs & James, 2002,).

2.5 Influência da cobertura vegetal na qualidade da água

O tipo de cobertura vegetal implica em distintos comportamentos nos atributos do solo e da água. A remoção das florestas tem causado aumento significativo dos processos que levam à degradação de imensas áreas, com prejuízos aos recursos hídricos e à biodiversidade. Rizzi (1981) abordou aspectos associados à importância das florestas nativas na produção e na conservação dos mananciais hídricos, com funções de interceptar a água da chuva, proporcionar condições ótimas de infiltração e reduzir o escoamento superficial.

Pires & Santos (1995) salientam que a retirada da cobertura vegetal gera a diminuição da precipitação local, da infiltração de água e do estoque de água subterrânea, causando a erosão dos solos e o assoreamento dos corpos d'água, além da alteração nos padrões de vazão e volume dos cursos d'água. Lima & Reichardt (1987) afirmam que, com a adoção de práticas adequadas de manejo, podem-se controlar as perdas de solo e nutrientes, além de preservar a qualidade das águas.

O uso da terra exerce significativa influência sobre a infiltração do solo e esta pode ser modificada pelo homem, por intermédio de seus programas de manejo (Lima, 1986). As constantes mudanças no uso do solo provocam significativas alterações no balanço de água, com reflexos nas camadas

superficiais e subsuperficiais, ocorrendo erosão, transporte de sedimentos e elementos químicos bioativos, causando modificações no sistema ecológico e na qualidade da água (Bolin & Cooh, 1983, citados por Toledo, 2001).

Silva et al. (2001) relatam que, quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, tanto menor a ocorrência de perda de solo e menor a degradação da água, notadamente nas regiões tropicais e subtropicais. Eles verificaram que as maiores taxas de escoamento superficial estavam relacionadas às menores porcentagens de cobertura vegetal e às maiores intensidades de precipitação. A presença de cobertura do solo proporcionou diminuição do escoamento superficial, da capacidade de transporte de agregados, do processo de selamento superficial (devido ao impacto das gotas de chuva) e um aumento da taxa de infiltração de água no solo.

2.6 Atividades agropecuárias e a qualidade dos recursos hídricos

O deflúvio superficial, em bacias hidrográficas com topografia acentuada, exploradas por agricultura e pecuária, apresenta grande energia para desagregar o solo exposto e transportar sedimentos para os corpos d'águas. Estes sedimentos são capazes de carregar, adsorvidos na sua superfície, nutrientes como o fósforo e compostos tóxicos, como agroquímicos (Merten & Minella, 2002).

Segundo os mesmos autores, a degradação dos mananciais, proveniente do deflúvio superficial agrícola, ocorre, principalmente, devido ao aumento da atividade primária das plantas e algas, em decorrência do transporte de nitrogênio e fósforo proveniente das lavouras e da produção animal. O crescimento excessivo de algas e plantas reduz a disponibilidade de oxigênio dissolvido nas águas, afetando adversamente o ecossistema aquático e causando mortalidade de peixes.

Entre as atividades agrícolas, a que representa maior risco à contaminação das águas é a suinocultura, devido à grande produção de efluentes altamente poluentes produzidos e lançados ao solo e nos cursos d'água sem tratamento prévio (EMBRAPA, 1998).

A utilização de dejetos de suínos como fertilizante orgânico também pode contribuir para a contaminação dos recursos hídricos se as quantidades aplicadas forem superiores à capacidade de absorção do solo e das plantas. Dessa forma, poderá haver contaminação das águas superficiais pelo deflúvio superficial, quando a capacidade de infiltração da água no solo for baixa, e contaminação das águas subterrâneas quando a infiltração da água no solo for elevada (Pote et al., 2001).

Segundo Lowrance et al. (1985), as atividades agrícolas, como pulverização com pesticidas e aplicação de fertilizantes, são as principais formas de entrada de contaminantes no meio rural. A contaminação da água é aumentada com a destruição das matas ciliares, com o uso do solo fora da sua condição de melhor aptidão e com o manejo inadequado do solo, dentre outros. O revolvimento intensivo do solo diminui drasticamente seus teores de matéria orgânica, atividade microbiológica e estabilidade de agregados (Rheinheimer, 2001, 2003). A menor agregação do solo aumenta a erosão (Reichert et al., 2001), potencializando o carreamento de poluentes dissolvidos ou ligados aos colóides até os mananciais aquáticos (Albuquerque et al., 2000).

2.7 Parâmetros de qualidade da água

a) Potencial hidrogeniônico (pH)

É o parâmetro que reflete a intensidade da condição ácida (H^+) ou alcalina (OH^-) de uma solução, em termos de concentração de íons de

hidrogênio $[H^+]$, sendo definido como o valor negativo do logaritmo da concentração molar de íons de hidrogênio.

$$pH = - \log [H^+] \quad (1)$$

De acordo com Esteves (1988), o pH pode ser considerado uma das variáveis ambientais mais importantes e complexas de se interpretar, devido ao grande número de fatores que pode influenciá-lo. Em geral, nas águas naturais, o pH é alterado pelas concentrações de íons H^+ originados da dissociação do ácido carbônico, que gera valores baixos de pH e das reações de íons de carbonato e bicarbonato com a molécula de água, que elevam os valores de pH para a faixa alcalina.

O pH da grande maioria dos corpos d'água varia entre 6 e 8. Ecossistemas que apresentam valores baixos de pH têm elevadas concentrações de ácidos orgânicos dissolvidos de origem alóctone e autóctone. Nesses ecossistemas, são encontradas altas concentrações de ácido sulfúrico, nítrico, oxálico e acético, além de ácido carbônico, formado, principalmente, pela atividade metabólica dos microrganismos aquáticos.

b) Temperatura da água

A temperatura da água pode influenciar no retardamento ou aceleração da atividade biológica, na absorção de oxigênio e na precipitação de compostos. Quando se encontra ligeiramente elevada, resulta na perda de gases pela água, gerando odores e desequilíbrio ecológico (Von Sperling, 1996).

c) Turbidez

A presença de partículas em suspensão, que causam a turbidez ou de substâncias em solução, relativas à cor, pode concorrer para o agravamento da

poluição. A turbidez limita a penetração de raios solares, restringindo a realização da fotossíntese que, por sua vez, reduz a reposição do oxigênio. Segundo Branco (1983), a precipitação dessas partículas perturba o ecossistema aquático. A turbidez é expressa pela unidade nefelométrica de turbidez (UNT).

d) Sólidos

A quantidade e a natureza da matéria dissolvida e não-dissolvida (em suspensão) que ocorre no meio líquido variam grandemente. Nas águas potáveis, a maior parte da matéria está na forma dissolvida e é constituída, principalmente, de sais inorgânicos e de pequenas quantidades de matéria orgânica e gases dissolvidos.

Branco (1983) ressalta que todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos, os quais podem ser classificados pelas suas características físicas (suspensos e dissolvidos) e químicas (orgânicos e inorgânicos). Segundo o mesmo autor, os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, ao passo que os sólidos fixos caracterizam a presença de matéria inorgânica ou mineral.

e) Matéria orgânica

Segundo Botelho (2003), a matéria orgânica presente nos corpos d'água e nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo causadora do principal problema de poluição das águas que está associado ao consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Os principais componentes orgânicos são os compostos de proteína, carboidratos, gorduras e os óleos, além da uréia e outros. Tendo em vista que não há necessidade de se caracterizar a matéria orgânica em cada um dos seus componentes e também a grande

dificuldade em fazê-lo em laboratório, usam-se métodos indiretos para a quantificação da mesma, ou do seu potencial poluidor. Nesta linha, pode-se recorrer a duas alternativas principais: a) medição do consumo de oxigênio, por meio da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e da demanda química de oxigênio (DQO); b) medição do carbono orgânico (carbono orgânico total, COT).

- Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Essa variável representa a medida da quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica contida na água, mediante processos biológicos aeróbicos. A DBO₅ é convencionalmente usada, pois considera a medida a 5 dias, incubada a 20°C, associada à fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceos (Von Sperling, 1995).

- Demanda química de oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio (DQO) está relacionada com a matéria orgânica e seu potencial poluidor. É uma medida da quantidade de oxigênio consumido pela oxidação química de substâncias orgânicas presentes nas águas (Von Sperling, 1995).

f) Condutividade elétrica

A condutividade elétrica de uma solução é a capacidade desta em conduzir a corrente elétrica. Esteves (1988) salienta que esta variável é de grande importância, visto que pode fornecer informações tanto sobre o metabolismo do ecossistema aquático como da produção primária (redução dos valores) e decomposição (aumento dos valores), como sobre outros fenômenos que ocorram na bacia de drenagem. Isso permite identificar os íons diretamente responsáveis pelo aumento da condutividade nas águas. Alguns fatores podem

influenciar na composição iônica dos corpos d'água, como a geologia da bacia e o regime das chuvas. A condutividade detecta, ainda, as fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos e as diferenças geoquímicas do rio principal e seus afluentes.

g) Coliformes

De acordo com Von Sperling (1995), as bactérias do grupo coliforme constituem o indicador de contaminação fecal mais comum, sendo aplicada como parâmetro bacteriológico básico na caracterização e na avaliação da qualidade das águas em geral. Recentemente, vários autores vêm sugerindo a utilização apenas da bactéria *Echerichia coli* como indicadora de poluição fecal, embora Fisher et al. (2000) tenham encontrado cepas de *Echerichia coli* em áreas de reserva florestal (ambientes protegidos da ação antrópica), o que sugere que a mesma possa ser também de origem autóctone.

h) Nitrogênio

O nitrogênio, um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos, possui uma dinâmica complexa em virtude dos vários estágios que pode assumir e dos impactos que a mudança do estado de oxidação pode trazer sobre os organismos vivos. Sawyer (1985) descreve esses estágios, enfatizando que a atmosfera serve como um reservatório no qual o nitrogênio é constantemente renovado pela ação da descarga elétrica e pela fixação das bactérias. Durante essas descargas, grandes quantidades de nitrogênio oxidam-se a N_2O_5 e a sua união com a água produz HNO_3 , normalmente carregado para a terra na chuva. Os nitratos são também produzidos pela oxidação direta do nitrogênio ou da amônia e encontram-se também nos fertilizantes comerciais.

Dessa forma, a presença de nitrogênio no meio aquático pode originar-se das fontes naturais de nitrogênio, tais como: chuva, material orgânico e

inorgânico, de esgotos domésticos e industriais e da drenagem de áreas fertilizadas. As formas apresentadas pelo nitrogênio nos ambientes aquáticos podem ser: nitrato (NO_3), nitrito (NO_2), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (aminas, aminoácidos, etc.) e nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos). As diferentes formas dos compostos de nitrogênio encontradas no meio aquático podem ser utilizadas como indicadores da qualidade sanitária das águas. Mota (1995) salienta que nitrogênio orgânico e amônia estão associados a efluentes e águas recém poluídas.

Com o passar do tempo, o nitrogênio orgânico é convertido em nitrogênio amoniacal e, posteriormente, se condições aeróbias estão presentes, a oxidação da amônia acontece, transformando-se em nitrito e nitrato. Conforme ressalta Von Sperling (1996), em um corpo d'água, a determinação da parcela predominante de nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição. Os compostos de nitrogênio, na forma orgânica ou de amônia, referem-se à poluição recente, enquanto que nitrito e nitrato, à poluição mais remota.

i) Oxigênio dissolvido

O oxigênio presente na água se encontra na forma de gás dissolvido, tendo sua origem a partir da dissolução do oxigênio atmosférico e da produção pelos organismos fotossintéticos.

A redução da concentração de oxigênio nos corpos d'água se deve, principalmente, à deposição de dejetos de origem orgânica. Para que ocorra a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio dissolvido nos seus processos respiratórios, levando a uma redução do mesmo. Em condições extremas de consumo total de oxigênio, pode dar origem a gases (H_2S) responsáveis por maus odores, não permitindo a vida de seres aeróbios.

O teor de oxigênio na água varia em função de vários fatores, sendo os principais, temperatura e altitude. Segundo Botelho (2003), no nível do mar, na temperatura de 20°C, a concentração de saturação é igual a 9,2 mg L⁻¹. Valores de OD superiores à saturação são um indicativo de presença de algas (fotossíntese). Já valores de OD bem inferiores à saturação, são indicam a presença de matéria orgânica.

j) Fósforo

Segundo Esteves (1988), o fósforo encontra-se, nas águas naturais e residuárias, quase que exclusivamente na forma de fosfato. Feitosa et al. (1997) enfatizam que, devido à ação dos microrganismos, a concentração de fósforo pode ser baixa (< 0,5 mg L⁻¹) em águas naturais e valores acima de 1,0 mg L⁻¹ são, geralmente, um indicativo de águas poluídas. O fósforo, por via antropogênica, é acrescido às águas por derivados de fertilizantes, inseticidas e pesticidas.

2.8 Índice de Qualidade de Água (IQA)

Na caracterização da qualidade da água, utilizam-se alguns parâmetros que representam suas características físico-químicas e biológicas, os indicadores de qualidade da água representam impurezas quando ultrapassam a determinados limites estabelecidos. Estes parâmetros foram estabelecidos pela National Sanitation Foudation (NSF) dos Estados Unidos, por meio de pesquisas junto a vários especialistas da área ambiental, para o desenvolvimento de um índice que indicasse a qualidade da água. Baseado neste estudo, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) desenvolveu o Índice de Qualidade da Água (IQA).

O IQA-NSF, modificado pelo IGAM, incorpora nove parâmetros considerados mais representativos para as condições brasileiras: oxigênio

dissolvido (OD), coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. Para cada parâmetro, foram traçadas curvas médias da variação da qualidade da água, em função das suas respectivas concentrações.

Outro índice de qualidade da água muito utilizado no Brasil é o da CETESB (2003). O IQA-NSF modificado pela CETESB é semelhante ao do IGAM, porém, em vez de utilizar o parâmetro nitrato, utiliza o nitrogênio total.

Outros autores, como Carvalho et al. (2000), desenvolveram seus próprios IQAs. Estes índices foram baseados na construção de curvas de qualidade e agregação ponderada de parâmetros selecionados.

Carvalho et al. (2004) utilizaram o IQA-IGAM para avaliar a qualidade da água do ribeirão Ubá, situado no município de Ubá, MG. Constataram que, a partir da entrada da cidade, bem como a montante desta, a água do ribeirão é de má qualidade, sofrendo tanto a poluição por esgotos domésticos quanto por efluentes industriais.

Toledo & Nicolella (2002) calcularam um índice de qualidade da água por meio do uso da técnica de análise fatorial e método de Bartlete em microbacias hidrográficas no município de Guaíra (SP). Os resultados obtidos indicaram uma diferença entre os valores de IQA para as três estações a montante da cidade de Guaíra e as duas estações a jusante, com valores médios de -1,757 e 2,35, respectivamente. Pela análise fatorial, oxigênio dissolvido, fósforo total, amônia e condutividade elétrica foram as variáveis que mais contribuíram na determinação do IQA.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Aspectos Gerais

O estado de Minas Gerais situa-se a região sudeste do Brasil, com área de 588.383 km², onde se encontra uma população de 20.595.499 habitantes (IBGE, 2006), distribuída em 853 municípios. Apresenta grande disponibilidade hídrica expressa pelas bacias dos rios São Francisco, Grande, Doce, Pardo, Jequitinhonha e Paranaíba.

A bacia do Rio Grande (61) é uma sub-bacia da bacia do Rio Paraná (6), com cerca de 145.000 Km² de área de drenagem, localizada entre os estados de Minas Gerais e São Paulo e subdivide-se em oito Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH): GD1, GD2, GD3, GD4, GD5, GD6, GD7 e GD8 dentro do estado de Minas Gerais.

As sub-bacias hidrográficas escolhidas para este estudo estão inseridas na UPGRH GD1 (Figura 1), e são relativas aos Ribeirões Lavrinha, Vista Bela e Marcela. Elas distinguem-se entre si em relação ao clima, relevo, predominância de solos, cobertura vegetal, hidrografia, usuários de água, etc., caracterizando assim ambientes que podem influenciar diferenciadamente o comportamento da qualidade da água.

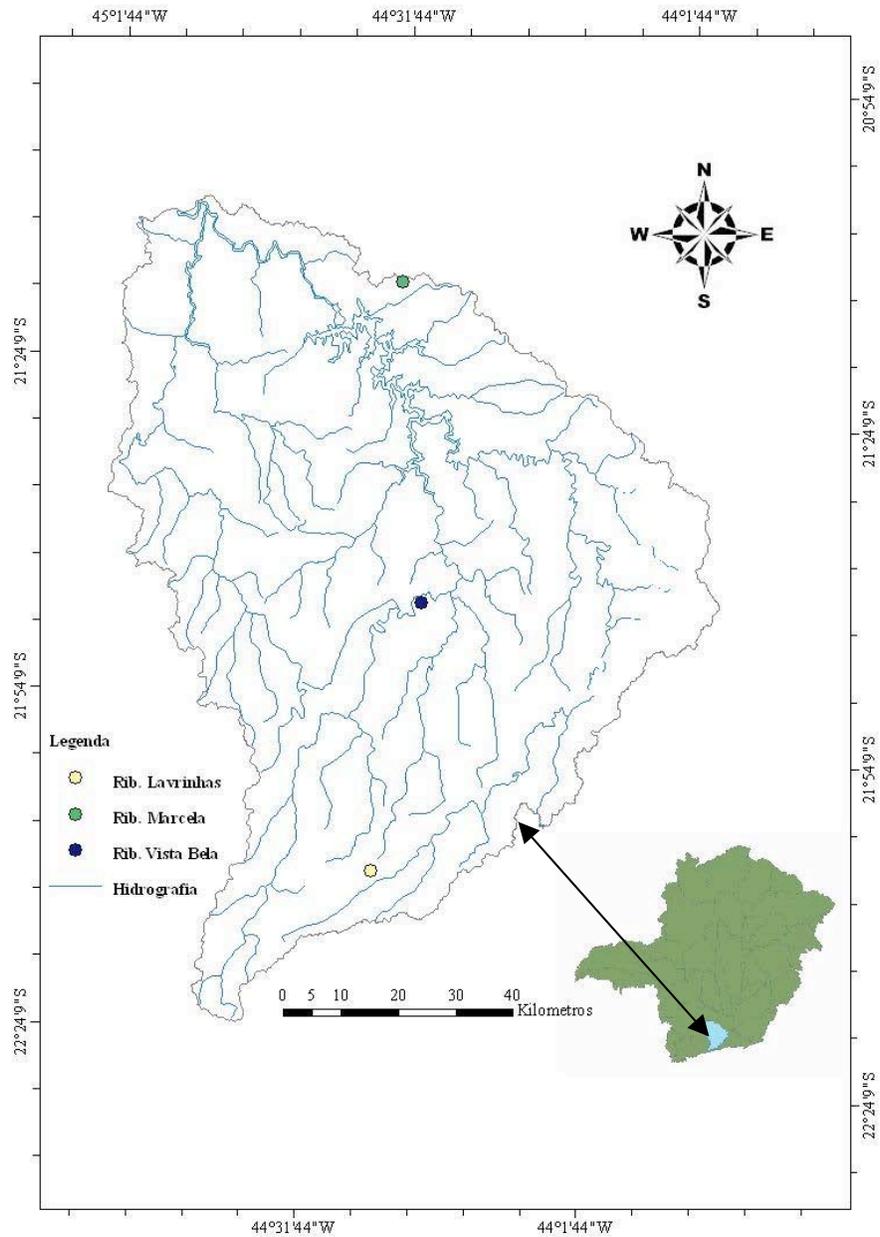


FIGURA 1: Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos GD1 com rede de drenagem, sua localização no estado e das seções de controle das sub-bacias hidrográficas monitoradas.

3.2 Modelo digital de elevação

Para a extração do modelo digital de elevação foram utilizadas cartas topográficas disponibilizadas pelo IBGE. Inicialmente, fez-se a digitalização das cartas, incluindo a rede de drenagem, as curvas de nível e os pontos cotados. Após a digitalização das mesmas, com o auxílio do programa ArcMap, versão 9.1, extraiu-se o modelo digital de elevação (DEM), com tamanho das células de 5 x 5 metros, o que conferiu ao DEM boa resolução.

3.3 Usos múltiplos da água

Com o auxílio de equipamento GPS, foi feito o levantamento de todos os usos de água em cada sub-bacia hidrográfica em estudo, contemplando tanto as captações de água quanto as descargas. Realizou-se também um senso para identificar o número de habitantes e o número de animais em cada uma.

3.4 Uso atual do solo

O uso e ocupação do solo foram levantados por meio de visitas às sub-bacias hidrográficas, com o auxílio de GPS. Após a aquisição destas informações, os dados foram processados em ferramenta CAD, construindo-se o mapa de uso atual do solo para cada sub-bacia hidrográfica.

Os mapas de uso e ocupação do solo foram gerados para subsidiar as discussões dos resultados de qualidade da água, procurando o entendimento da relação do uso atual do solo com a qualidade da água.

3.5 Caracterização das áreas de estudo

3.5.1 Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha

- **Localização**

Esta área de estudo possui 687 ha, compreende a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha (Figura 2), o qual deságua diretamente no Rio Grande, principal formador do Reservatório da UHE de Camargos/CEMIG, MG. Situa-se entre as coordenadas UTM “553842” e “557742” de longitude W e “7551369” e “7554369” de latitude S e entre as altitudes de 1159m e 1737m, no município de Bocaina de Minas. Esta sub-bacia foi escolhida previamente como sendo representativa da região da Serra da Mantiqueira, sendo caracterizada como uma bacia hidrográfica de cabeceira (Junqueira Junior, 2006; Silva & Mello, 2005).

- **Clima**

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo CWb, caracterizado como mesotérmico de verões brandos e suaves, com estiagem de inverno. A temperatura média anual está em torno de 18°C, tendo, no mês mais quente e no mês mais frio, temperaturas médias de 25,6°C e 13,1°C, respectivamente, com ocorrências de geadas, anualmente, nos meses de junho e julho (Junqueira Junior, 2006).

- **Hidrografia**

O dreno principal da sub-bacia, o ribeirão Lavrinha, possui 4.807 m de comprimento, desde sua nascente até o encontro com o Rio Grande. Na nascente e no encontro com o Rio Grande, o dreno encontra-se a 1.622 m e a 1.159 m de altitude, respectivamente.

- Mapa da área de estudo

Na Figura 2 encontra-se o mapa da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, com o modelo digital de elevação, os pontos de amostragem de qualidade da água, a localização dos usuários de água e a hidrografia da área.

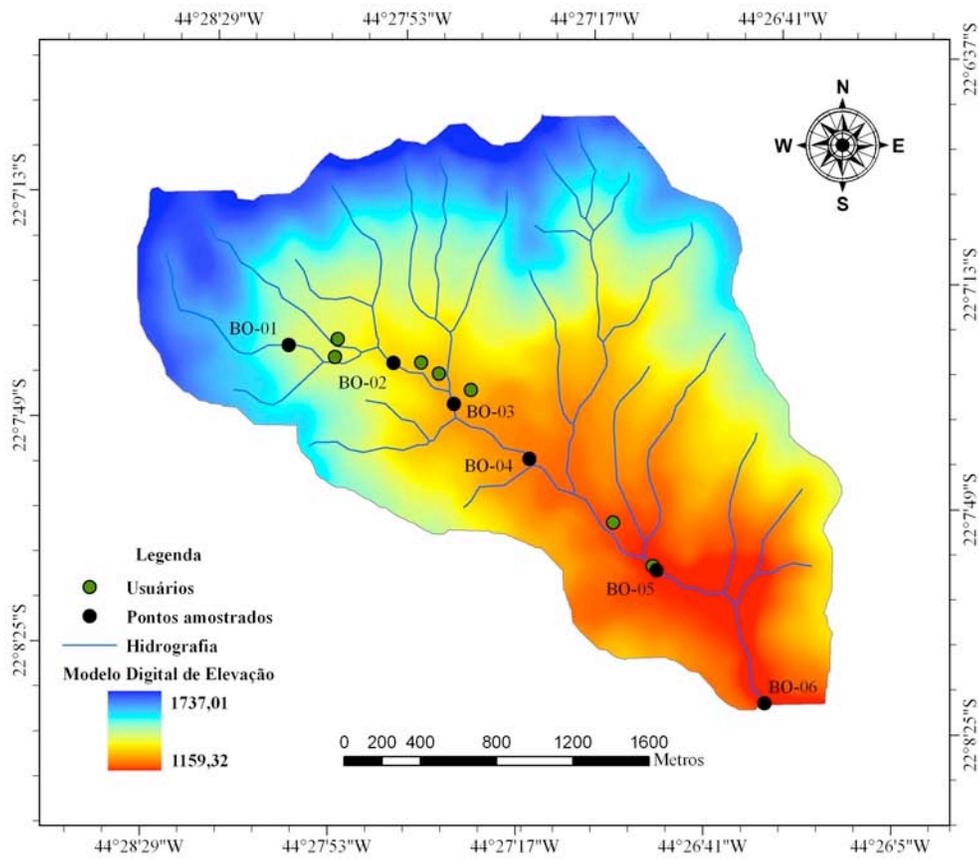


FIGURA 2: Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, pontos de amostragem de qualidade da água, usuários de água, hidrografia e modelo digital de elevação.

- Usuários de água

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha reside uma população de 32 habitantes, divididos em sete propriedades rurais. A água para abastecimento é captada acima do ponto BO-01 para cinco propriedades e em um tributário do ribeirão Lavrinha, entre o ponto BO-04 e BO-05, para as outras duas propriedades (Figura 2).

Na sub-bacia são criadas 131 cabeças de gado distribuídas nos pastos da área, juntamente com 36 carneiros. A produtividade média de leite na sub-bacia é de 12 litros por cabeça por dia, segundo relato de proprietários. Os currais presentes na região não oferecem infra-estrutura adequada e todos os dejetos são lançados diretamente no solo e nos cursos d'água, o que contribui para a degradação do manancial.

A água é usada para abastecimento, dessedentação de animais, além de irrigação das pequenas hortas de subsistência e limpeza dos currais. Verificou-se também a presença de um viveiro de mudas de eucalipto entre o ponto BO - 04 e o ponto BO-05 (Figura 2), onde é feita irrigação.

- Regime pluvial

Na Figura 3 apresenta-se a distribuição das chuvas ao longo do período experimental na sub-bacia. Verifica-se um período de estiagem no inverno e um elevado índice pluviométrico no verão, atingindo um total mensal de 432 mm no mês de janeiro de 2007.

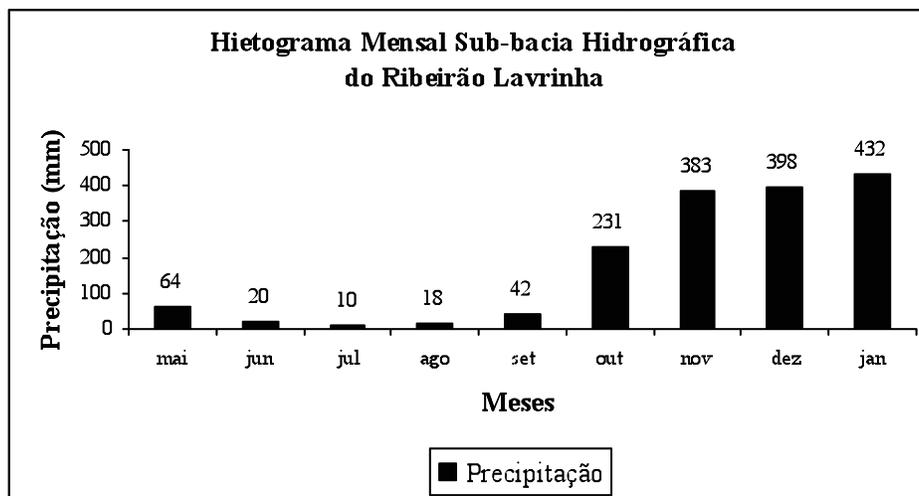


FIGURA 3: Precipitação mensal na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, durante o período amostral (maio de 06 a janeiro de 07).

- Uso e ocupação do solo

Na Tabela 2 encontram-se as classes de uso atual do solo presentes na sub-bacia, com as respectivas áreas. Verifica-se a predominância de ocupação por mata nativa e pastagem, devido à pecuária leiteira, seguida da regeneração e, por último a ocupação por várzea.

TABELA 2: Uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha.

Uso atual do solo	Área (ha)	Percentual (%)
Mata nativa	284,8	41,5
Pastagem	277,8	40,4
Regeneração natural	90,9	13,2
Vegetação de várzea	33,5	4,9
Total	687	100

Na Figura 4 apresenta-se o mapeamento do uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha. O ponto BO-01 encontra-se na

cabeceira da área, sendo mata nativa a paisagem no entorno do mesmo. O ponto BO-02 encontra-se logo abaixo do ponto de cabeceira, tendo, na margem direita, a ocupação por pastagem e, na margem esquerda, mata. A regeneração natural e a mata nativa compõem a paisagem ao entorno do ponto BO-03. O ponto BO-04 localiza-se numa área de predominância de mata na margem esquerda e pasto na margem direita. Os pontos BO-05 e BO-06 encontram-se sob ocupação por vegetação de várzea. O ponto BO-06 localiza-se na seção controle da sub-bacia.

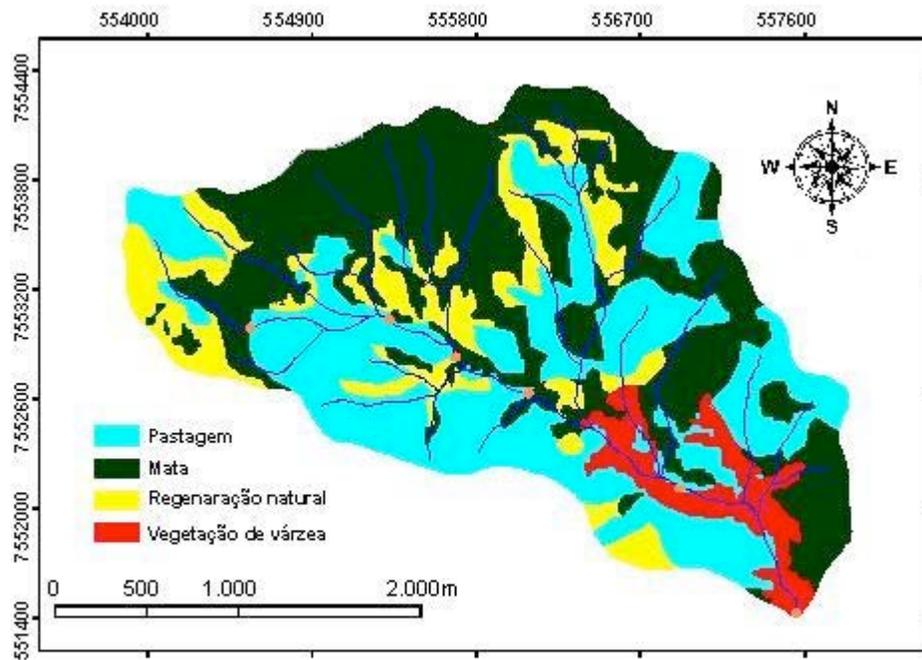


FIGURA 4: Mapa de uso atual do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha.

As pastagens predominantes na área, geralmente, são naturais e de baixa capacidade suporte, ocorrendo também a presença de pastagens plantadas, estas, porém, em menor escala, uma vez que a região apresenta grande dificuldade de mecanização agrícola devido à declividades acentuadas. Por ser uma área

bastante montanhosa e com grande variação de exposição à radiação solar, a preferência para formação de pastagens é a face sul da bacia, onde a incidência de luz solar é maior.

Na face norte, a ocupação é, predominantemente, por mata, cuja formação florestal, classificada por Veloso et al. (1991), é composta de Floresta Ombrófila Densa Montana. Esta área possui camadas de vegetação claramente definidas, com as copas das árvores formando uma cobertura, atingindo, em determinados locais, cerca de 20 m de altura.

3.5.2 Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela

- **Localização**

Com 177,82 ha, a sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela (Figura 5), localiza-se na margem direita do Rio Aiuruoca no município de Andrelândia. Situa-se entre as coordenadas geográficas, 44°26'38" e 44°24'21,1" de longitude W e 21°42'46" e 21°43'01" de latitude S, e entre as altitudes de 958m e 1.104m. Esta sub-bacia hidrográfica foi escolhida, com base em estudo ambiental prévio, como sendo representativa para estudos hidrológicos, associados à quantificação e à qualificação da água na região dos Campos das Vertentes, unidade geomorfológica na qual a sub-bacia se encontra (Silva & Mello, 2005).

- **Clima**

O clima no município de Andrelândia é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen, caracterizado como temperado com verões quentes e úmidos e invernos secos e frios. A temperatura média anual está em torno de 20°C (Giarola et al., 1997).

- Hidrografia:

O Ribeirão Vista Bela tem 1.916 m de extensão, desde sua nascente até o encontro com o Rio Aiuruoca. Sua nascente encontra-se a 1.031 m de altitude e a seção controle a 958 m de altitude.

- Usuários de água

Na sub-bacia do ribeirão Vista Bela reside uma população de 12 habitantes e 251 cabeças de gado, das quais 30 são para leite e 221 para corte.

Entre os pontos BV-01 e BV-02 existe uma represa com 1,12 ha de espelho d'água. Também na parte oeste da sub-bacia verificou-se a presença de uma "pocilga", a qual oferece maior risco à contaminação das águas, quando os dejetos são lançados ao solo e nos cursos d'água sem tratamento prévio, devido à grande produção de efluentes altamente poluentes.

A água é utilizada para abastecimento, dessedentação de animais, além de irrigação das pequenas hortas de subsistência e limpeza dos currais. Os currais presentes na área são de baixo nível tecnológico, apresentando grande risco de contaminação dos mananciais.

- Mapa da área de estudo

Na Figura 5 encontra-se o mapa da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela, com pontos de amostragem de qualidade da água, hidrografia, usuários de água e o modelo digital de elevação (DEM).

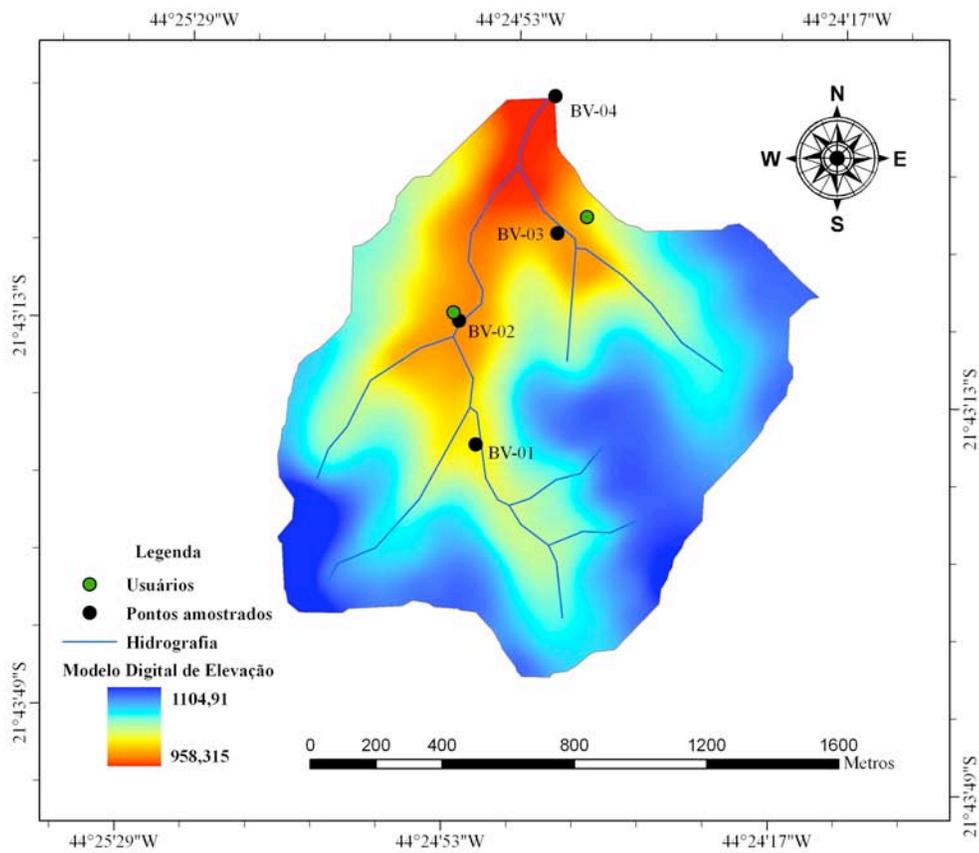


FIGURA 5: Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela, pontos de amostragem de qualidade da água, usuários de água, hidrografia e modelo digital de elevação.

- Regime pluvial

Na Figura 6 apresenta-se a distribuição das chuvas ao longo do período experimental na sub-bacia. Pode-se verificar que a ocorrência de chuvas no início de setembro estendendo-se até o final do verão.

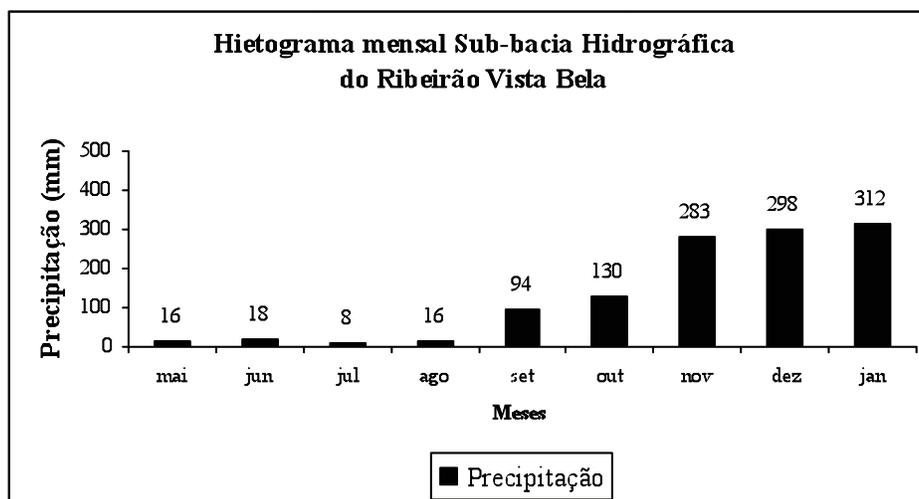


FIGURA 6: Precipitação mensal na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela no período amostral (maio de 2006 a janeiro de 2007).

- Uso e ocupação do solo

Na Tabela 3 apresentam-se as classes de ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela. Verifica-se a predominância de ocupação por pastagens, devido ao fato de a pecuária ser a principal atividade econômica da região, seguida por matas ciliares, presentes apenas em alguns trechos ao longo do Ribeirão e, por último, a ocupação por capineira e pomares.

TABELA 3: Uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela.

Uso atual do Solo	Área (ha)	Percentual (%)
Pastagem	157,42	88,53
Mata nativa	16,8	9,45
Capineira	2,7	1,52
Pomares	0,9	0,51
Total	177,82	100

Na Figura 7 apresenta-se o mapeamento do uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela. O ponto BV-01 encontra-se na

cabeceira da sub-bacia e as pastagens compõem a paisagem entorno do ponto. Verifica-se a presença de mata ciliar neste trecho, na margem esquerda do ribeirão, porém, com o desmatamento, a mata vem sofrendo uma redução ao longo do tempo. O ponto BV-02 localiza-se após o ponto de cabeceira, em um trecho de pastagens e sem presença de mata ciliar. Em um tributário do dreno principal encontra-se o ponto BV-03. Este é o dreno mais preservado da área, tendo a mata ciliar como paisagem ao seu entorno. O ponto BV-04 localiza-se na seção controle da sub-bacia e seu entorno é composto por pastagens.

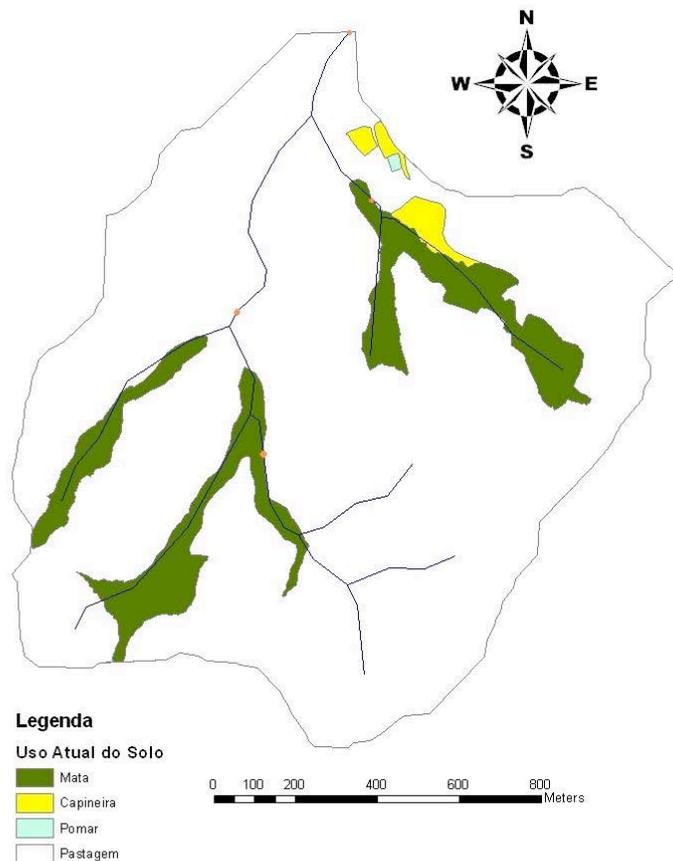


FIGURA 7: Mapa de uso atual do solo da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela.

As pastagens predominantes na área são naturais, com ocorrência também de pastagens plantadas em locais onde houve desmatamento. A capineira presente na área serve de alimentação para o gado.

A ocupação por mata, cuja formação florestal é composta por Floresta Semi-Decídua Montana, está presente apenas ao longo dos drenos (mata ciliar). As Florestas Semi-Decíduas, por coincidirem com solos mais férteis e úmidos, são características de grande atrativo para a agropecuária, fazendo com que estas áreas fossem drasticamente reduzidas.

3.5.3 Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela

- **Localização**

A sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela (Figura 8), com aproximadamente 477 ha, está localizada na margem direita do Córrego do Jaguará, que deságua diretamente no reservatório da UHE de Camargos/CEMIG, município de São João Del Rei, MG. Situa-se entre as coordenadas UTM “550169” e “552810” de longitude W e “7650163” e “7650989” de latitude S e entre as altitudes de 957m e 1.084m. Está inserida na unidade geomorfológica Planalto Campos das Vertentes (Gomes, 2005). A escolha desta área foi feita com base estudo hidrogeológico e pedológico, o qual a identificou como uma sub-bacia com boas condições de recarga dos aquíferos subterrâneos, e representativa para estudos hidrológicos.

- **Clima**

O clima na região da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela é do tipo Cwa (Giarola et al., 1997), caracterizado como temperado com verões quentes e úmidos e invernos secos e frios. A temperatura média anual está em torno de 19,2°C (Gomes, 2005).

- Hidrografia

O ribeirão Marcela tem 3.529 m de extensão, desde a nascente até a seção controle da sub-bacia. Sua nascente encontra-se a 1.036 m de altitude e, na seção controle, a 957 m de altitude.

- Usuários de água

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela os usos da água são mais impactantes na qualidade, pois, além de atender a pecuária leiteira, principal atividade econômica da região, a água é utilizada no controle fitossanitário da cultura do milho, que ocupa, aproximadamente, 80 ha da área (Figura 10).

A sub-bacia do ribeirão Marcela é constituída de sete propriedades rurais, onde reside uma população de 17 habitantes. São criadas 142 cabeças de gado leiteiro. A captação de água para abastecimento é feita próximo às nascentes dos tributários do ribeirão principal e de poços artesianos. Os dejetos dos currais e do galpão, onde são diluídos os produtos para controle fitossanitário da cultura do milho, são depositados diretamente no solo e no corpo d'água.

- Mapa da área de estudo

Na Figura 8 encontra-se o mapa da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, pontos de amostragem de qualidade de água, usuários de água, hidrografia e o modelo digital de elevação.

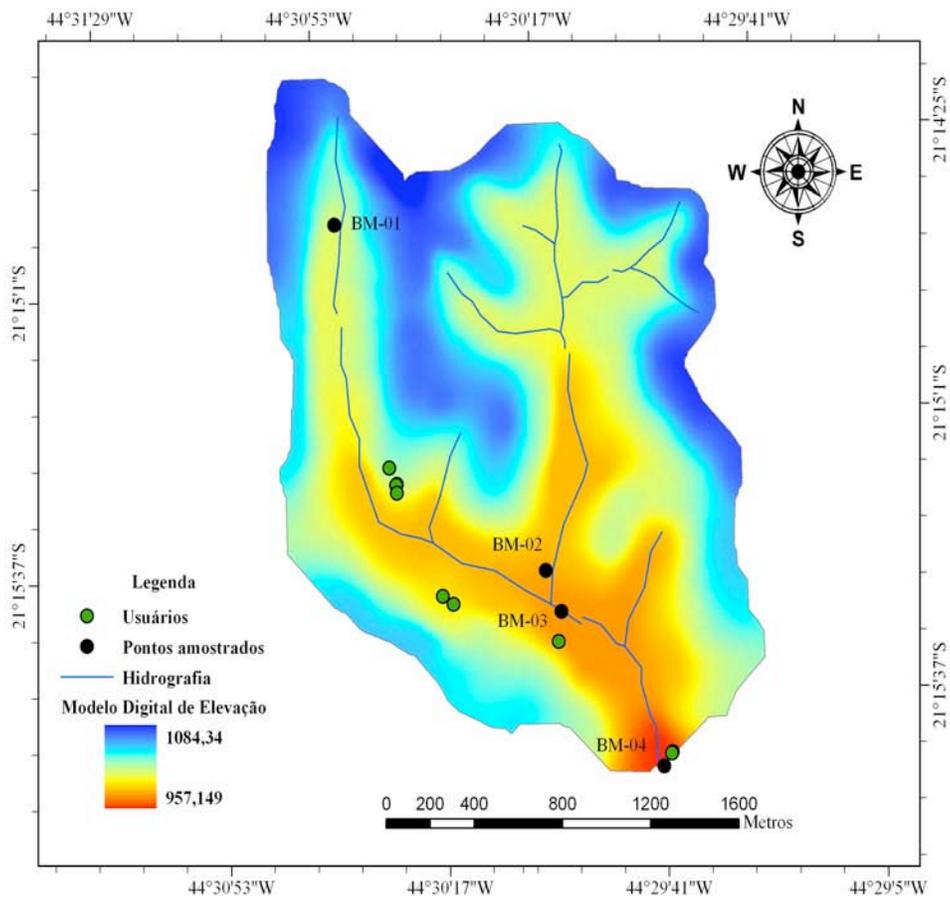


FIGURA 8: Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, pontos de amostragem de qualidade da água, usuários de água, hidrografia e modelo digital de elevação.

- Regime pluvial

Na Figura 9 apresenta-se a distribuição das chuvas ao longo do período experimental na sub-bacia. Esta região apresenta baixos índices pluviométricos no inverno e elevados índices no verão.

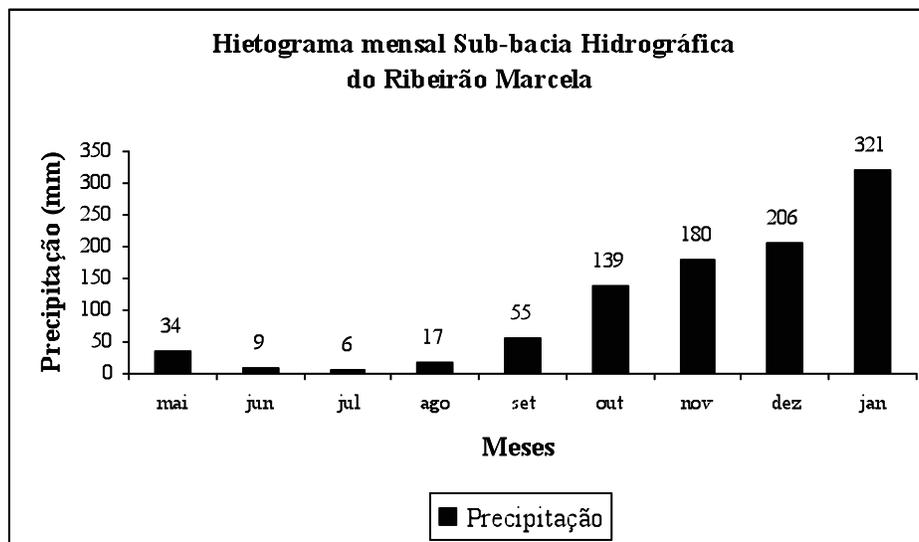


FIGURA 9: Precipitação mensal na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, no período amostral (maio de 2006 a janeiro de 2007).

- Uso e ocupação do solo

Na Tabela 4 apresentam-se as classes de ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela. Verifica-se a predominância de ocupação por pastagens devido ao fato de a pecuária ser a principal atividade econômica da região, seguida pela cultura do milho e, por último, a ocupação por mata nativa.

TABELA 4: Uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela.

Uso atual do solo	Área (ha)	Percentual (%)
Pastagem	374,75	78,47
Cultura de milho	79,73	16,69
Mata nativa	19,83	4,15
Lago	3,27	0,68
Total	477,58	100

Na Figura 10 apresenta-se o mapa de uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela. O ponto BM-01 localiza-se na cabeceira da sub-bacia, tendo uma mata na margem direita e o cultivo de milho na margem esquerda. O ponto BM-02 encontra-se em um tributário do ribeirão principal e a pastagem compõe a paisagem entorno do ponto. O ponto BM-03 encontra-se após a confluência do tributário com o dreno principal, localizando-se em áreas de pastagens. O ponto BM-05 localiza-se na seção controle da sub-bacia e, tanto na margem direita quanto na margem esquerda, a paisagem é composta por pastagens.

Percebe-se pequena diversidade de uso nas terras da sub-bacia, destacando-se pastagem, principalmente a natural, de baixa capacidade de suporte, apresentando variação da qualidade do pasto ao longo do ano.

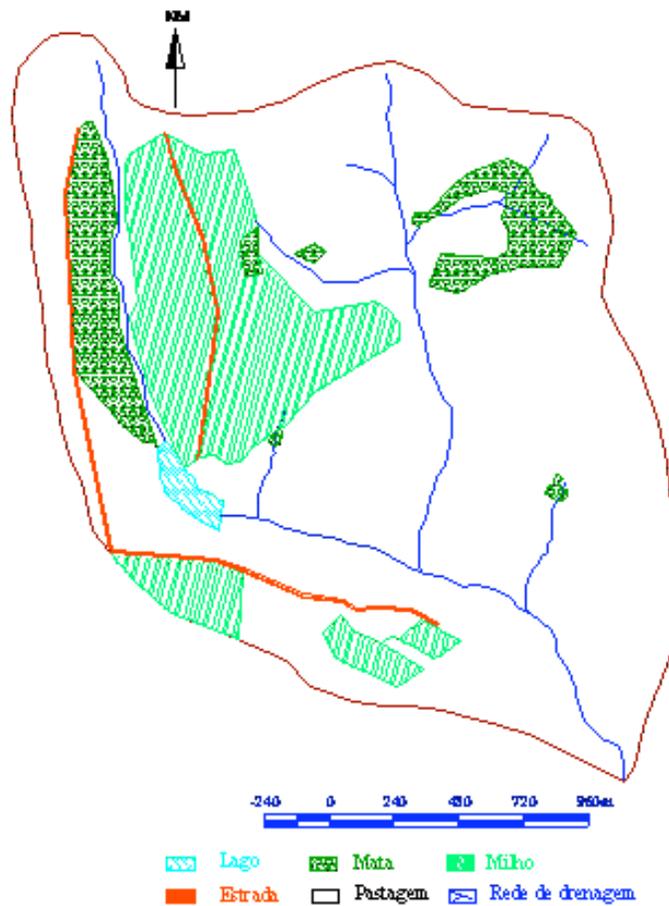


FIGURA 10: Mapa de uso atual do solo da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela.

Analisando-se as questões ambientais, percebe-se a inexistência de práticas de manejo conservacionistas, como plantio em nível, terraços, cordões de isolamento, bacias de contenção, rotação do pastejo, dentre outras. Pôde-se verificar, ainda, a adoção de queimadas como técnica de limpeza das pastagens. Esta constatação permite inferir que, além da subutilização das terras, os agricultores que nela trabalham contribuem paulatinamente para a degradação do solo e do sistema hídrico.

Outro fato que chama a atenção é a inexistência de mata ciliar ao longo da rede de drenagem e pouca cobertura vegetal nas proximidades das nascentes. Visualiza-se, na área de recarga de duas nascentes, a presença de lavoura de milho, na qual não foi constatada a adoção de práticas de manejo conservacionistas, o que pode ser indício de que estas nascentes estão sendo assoreadas e contaminadas diretamente com produtos agroquímicos carregados pelas enxurradas.

3.6 Plano amostral de qualidade da água

3.6.1 Procedimento amostral

Os locais de amostragem da qualidade da água foram escolhidos mediante estudo prévio em cada sub-bacia hidrográfica, inventariando-se todos os fatores que potencialmente poderiam influenciar, direta ou indiretamente, de forma significativa, a qualidade do corpo d'água, incluindo descargas, tanto pontuais quanto difusas e captações, as quais podem ter efeito significativo nos resultados.

Na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha foram adotados 6 pontos de coleta e nas demais, 4 pontos de coleta. O tipo de amostra adotado neste estudo foi o da amostragem simples, em que em um ponto central da seção transversal do rio, a uma profundidade de 15 a 30 cm da superfície, retira-se a amostra, tanto para a análise "in situ" quanto para a análise laboratorial.

Adotou-se uma metodologia específica de coleta e preservação de amostras, baseada no roteiro do Standard of Methods, 19th Edition, para garantir o acondicionamento e o armazenamento adequados, além do tempo máximo permitido entre a coleta e a análise, de maneira a não comprometer a integridade da amostra e, conseqüentemente, os resultados das análises. As amostragens foram mensais, de forma a descrever o comportamento dos corpos d'água ao

longo das estações climáticas, totalizando sete amostras em cada uma das sub-bacias hidrográficas, no período de maio de 2006 a janeiro de 2007.

3.6.2 Seleção dos parâmetros de qualidade da água

Os parâmetros avaliados foram: potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST), sólidos totais dissolvidos (TDS), coliformes totais, coliformes fecais, nitrogênio amoniacal (NH_3), nitrato (NO_3^-), temperatura, fósforo (PO_4), turbidez, condutividade elétrica e salinidade. A seleção dos parâmetros de qualidade da água foi baseada no índice de qualidade da água, que requer nove parâmetros para seu cálculo. Os outros parâmetros como DQO, nitrogênio amoniacal, sólidos totais dissolvidos, coliformes totais, condutividade e salinidade, foram selecionados por serem de grande importância na caracterização da qualidade dos recursos hídricos superficiais.

3.7 Análise dos parâmetros de qualidade da água

a) Análises “*in situ*”

Os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica e salinidade foram analisados no campo, com o auxílio de um equipamento multiparâmetro.

Periodicamente, o equipamento foi aferido e calibrado, se necessário, seguindo todas as normas contidas no manual. Na Figura 11 apresentam-se o procedimento de análise com o equipamento, bem como alguns detalhes do mesmo.



FIGURA 11: Análise da qualidade da água "in situ".

b) Análises laboratoriais

Os parâmetros DBO, DQO, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, coliformes totais e coliformes fecais foram analisados no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia (LAADEG) e os parâmetros fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrato e turbidez, no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Ciência do Solo (DCS), seguindo as normas do “*Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed.

3.8 Índice de Qualidade de Água (IQA)

O Índice de Qualidade de Água adotado foi o proposto pelo IGAM, sendo calculado com base nos parâmetros: OD, coliformes fecais, pH, DBO, NO_3^- , PO_4 , temperatura, turbidez e sólidos totais. Para cada parâmetro foram traçadas, pelo National Sanitation Foundation, curvas médias da variação da qualidade da água, em função das suas respectivas concentrações (Figura 12).

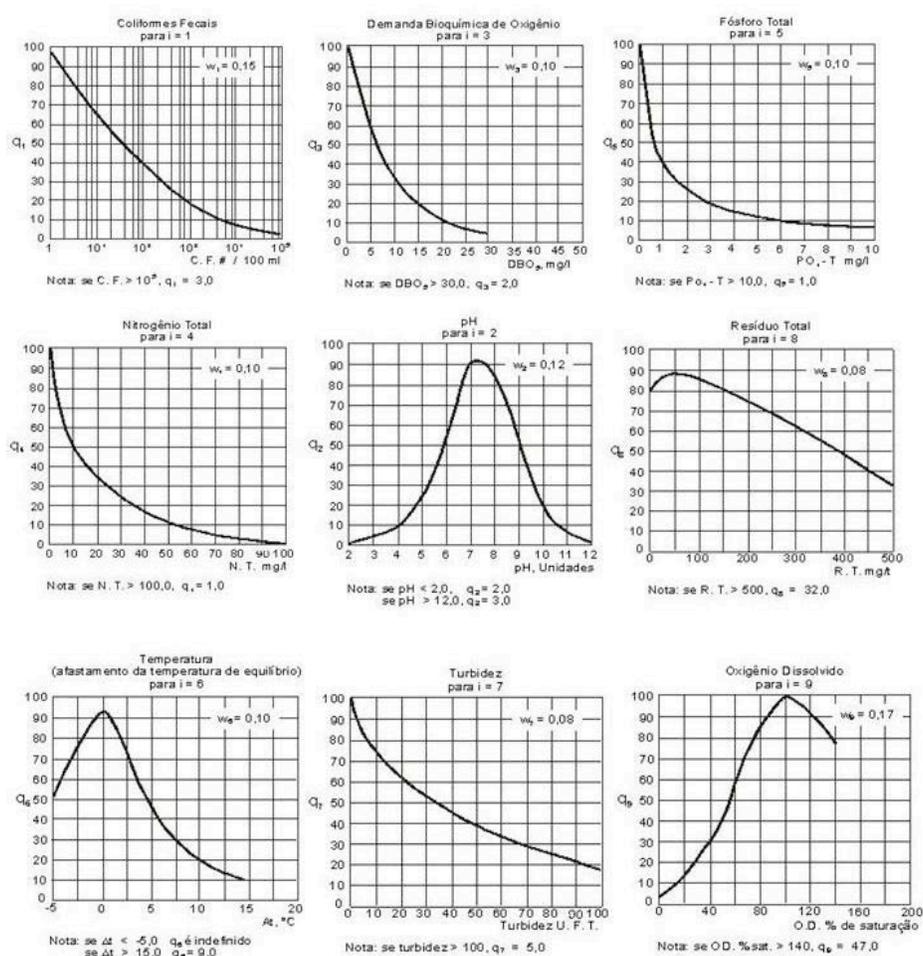


FIGURA 12: Curvas médias de variação da qualidade em função das concentrações.

Fonte: National Sanitation Foundation.

TABELA 5: Pesos dos parâmetros de qualidade aplicados no cálculo do IQA.

Parâmetro	Peso - Wi
Oxigênio Dissolvido - (OD - % OD)	0,17
Coliformes Fecais - (NMP / 100 mL)	0,15
Potencial Hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO - (mg L ⁻¹)	0,10
Nitratos - (mg L ⁻¹ NO ₃)	0,10
Fosfatos - (mg L ⁻¹ PO ₄)	0,10
Variação de Temperatura - (°C)	0,10
Turbidez - (UNT)	0,08
Resíduos Totais - (mg L ⁻¹)	0,08

Fonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2003).

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros conforme a fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \quad (2)$$

Em que: IQA é o índice de qualidade da água, q_i é a qualidade do parâmetro i obtido através da curva media específica de qualidade e W_i é o peso atribuído ao parâmetro, em função da sua importância na qualidade, entre 0 e 1. Os valores do IQA variam de zero a cem, conforme especificado na Tabela 6.

TABELA 6: Classificação do nível de qualidade da água conforme valores de IQA.

Nível de Qualidade	Faixa
Excelente	90 < IQA ≤ 100
Bom	70 < IQA ≤ 90
Médio	50 < IQA ≤ 70
Ruim	25 < IQA ≤ 50
Muito ruim	0 < IQA ≤ 25

Por meio das curvas médias de variação da qualidade em função das concentrações dos parâmetros, o IGAM ajustou regressões polinomiais para a determinação das equações para cálculo do IQA.

a) Oxigênio Dissolvido (OD)

Para a determinação do índice para oxigênio dissolvido, calcula-se a concentração de saturação de oxigênio.

$$C_s = (14,2 * e^{-0,0212 * T} - (0,0016 * C_{cl} * e^{-0,0264 * T})) * (0,994 - (0,0001042 * H)) \quad (3)$$

Em que: C_s é a concentração de saturação de oxigênio (mg L^{-1}), T a temperatura ($^{\circ}\text{C}$), C_{Cl} a concentração de cloreto (mg L^{-1}) e H a altitude (m).

Na seqüência calcula-se a porcentagem de oxigênio dissolvido, dada pela seguinte equação:

$$\%OD = (OD \div C_s) * 100 \quad (4)$$

Em que $\%OD$ é a porcentagem de oxigênio dissolvido, OD o oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) e C_s a concentração de oxigênio dissolvido (mg L^{-1}).

- Para $\%OD$ saturação ≤ 100 :

$$qs = 100 * (sen(y_1))^2 - [(2,5 * sen(y_2) - 0,018 * \%OD + 6,86) * sen(y_3)] + 1 \div (e^{y_4} + e^{y_5}) \quad (5)$$

$$y_1 = 0,01396 * \%OD + 0,0873 \quad (6)$$

$$y_2 = \pi \div 56 * (\%OD - 27) \quad (7)$$

$$y_3 = \pi * 85 - (OD - 15) \quad (8)$$

$$y_4 = (\%OD - 65) \div 10 \quad (9)$$

- Para $100 < \%OD$ saturação ≤ 140 :

$$qs = 0,0077142857 * (\%OD)^2 + 1,278542857 * (\%OD) + 49,8817 \quad (10)$$

- Para $\%OD$ saturação > 140 :

$$qs = 47,00 \quad (11)$$

b) Coliformes Fecais

O cálculo do índice para coliformes fecais é dado por:

- Para $CF \leq 10^5$ NMP / 100 mL.

$$qs = 98,24 - 34,7 * (\log(CF)) + 2,61 * (\log(CF))^2 + 0,107 * (\log(CF))^3 \quad (12)$$

- Para $CF > 10^5$ NMP / 100 mL.

$$qs = 3,00 \quad (13)$$

c) Potencial Hidrogeniônico (pH)

As equações para o cálculo do q_s para o parâmetro potencial hidrogeniônico são:

- Para $\text{pH} \leq 2,0$.

$$q_s = 2,0 \quad (14)$$

- Para $2,0 < \text{pH} \leq 6,9$.

$$q_s = -37,108 + 41,91 * pH - 15,70 * pH^2 + 2,41 * pH^3 - 0,091 * pH^4 \quad (15)$$

- Para $6,9 < \text{pH} \leq 7,1$.

$$q_s = -4,69 - 21,45 * pH - 68,45 * pH^2 + 21,63 * pH^3 - 1,59 * pH^4 \quad (16)$$

- Para $7,1 < \text{pH} \leq 12$.

$$q_s = -7698,19 + 3262,03 * pH - 499,49 * pH^2 + 33,15 * pH^3 - 0,81 * pH^4 \quad (17)$$

- Para $\text{pH} > 12$.

$$q_s = 3,0 \quad (18)$$

d) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

As equações para o cálculo do índice qs para o parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (DBO) são:

- Para $DBO \leq 30,0 \text{ mg L}^{-1}$.

$$qs = 100,95 - 10,71 * DBO + 0,495 * DBO^2 - 0,0111 * DBO^3 + 0,0001 * DBO^4 \quad (19)$$

- Para $DBO > 30,0 \text{ mg L}^{-1}$.

$$qs = 2,0 \quad (20)$$

e) Nitrato Total (NO_3)

As equações para o cálculo do índice qs para o parâmetro nitrato total (NO_3) são:

- Para $\text{NO}_3 \leq 10 \text{ mg L}^{-1}$.

$$qs = -5,1 * \text{NO}_3 + 100,17 \quad (21)$$

- Para $10 < \text{NO}_3 \leq 60 \text{ mg L}^{-1}$.

$$qs = -22,853 * \text{LN}(\text{NO}_3) + 101,18 \quad (22)$$

- Para $60 < \text{NO}_3 \leq 90 \text{ mg L}^{-1}$.

$$qs = 10000000000 * (\text{NO}_3)^{-5,1161} \quad (23)$$

- Para $\text{NO}_3 > 90 \text{ mg L}^{-1}$.

$$qs = 1,0 \quad (24)$$

f) Fosfato Total (PO₄)

Para o cálculo do q_s para o parâmetro fosfato total utilizaram-se as seguintes equações:

- Para PO₄ ≤ 10 mg L⁻¹.

$$qs = 79,7 * (PO_4 + 0,821)^{-1,15} \quad (25)$$

- Para PO₄ > 10 mg L⁻¹.

$$qs = 5,0 \quad (26)$$

g) Turbidez (Tu)

As equações para o calculo do q_s para o parâmetro turbidez (Tu) são:

- Para Tu ≤ 100 UNT.

$$qs = 90,37 * e^{(-0,0169*Tu)} - 15 * \cos(0,0571 * (Tu - 30)) + 10,22 * e^{(-0,231*Tu)} - 0,8 \quad (27)$$

- Para Tu > 100 UNT.

$$qs = 5,0 \quad (28)$$

h) Sólidos Totais (ST)

As equações para cálculo do q_s para o parâmetro sólidos totais (ST) são:

- Para $ST \leq 500 \text{ mg L}^{-1}$.

$$q_s = 133,17 * e^{(-0,0017*ST)} - 53,17 * e^{(-0,0141*ST)} + \left[\begin{array}{l} (-6,2 * e^{(-0,00462*ST)}) \\ * \text{sen}(0,0146 * ST) \end{array} \right] \quad (29)$$

- Para $ST > 500 \text{ mg L}^{-1}$.

$$q_s = 30,0 \quad (30)$$

i) Variação de Temperatura (ΔT)

As equações e as curvas desenvolvidas pela NFS levam em consideração as características dos corpos d'água e as variações climáticas dos EUA, sendo a variação de temperatura de equilíbrio o principal parâmetro afetado. Como em ambientes tropicais e subtropicais não há recebimento de cargas térmicas elevadas, as equações não condizem com a realidade brasileira, pois a variação da temperatura de equilíbrio é próxima de zero, ou seja:

$$\Delta T \approx 0$$

- Para $-0,625 < \Delta T \leq 0,625$.

$$q_s = 93,0 \quad (31)$$

O q_s adotado para a variação de temperatura neste estudo é constante e igual a 93,0.

3.9 Enquadramento em classes da resolução CONAMA 357/05

A Resolução 357/05 CONAMA dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e os padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, como a destinação das águas, conforme seu enquadramento.

A Resolução cita que, para que o enquadramento seja realizado, no mínimo uma amostra bimestral ao longo de um ano seja realizada. A classe 2 é considerada, pelos órgãos ambientais como o limite aceitável para abastecimento público. Na Tabela 7 apresentam-se os limites de alguns parâmetros para o enquadramento em classe 2, conforme a resolução CONAMA 357/05.

TABELA 7: Limites da classe 2 - Resolução CONAMA 357/05.

Parâmetros	Valor máximo
Oxigênio Dissolvido	não inferior a 5 mg L ⁻¹ O ₂
pH	6,0 a 9,0
DBO	DBO 5 dias a 20°C até 5 mg L ⁻¹ O ₂
Turbidez	até 100 UNT
Fósforo	até 0,1 mg L ⁻¹ P
<i>Echerichia. Coli</i>	até 2500 NMP/100 mL
Nitrogênio Amoniacal	até 3,7 mg L ⁻¹ N
Nitrato	até 10,0 mg L ⁻¹ N
Sólidos Totais Dissolvidos	até 500 mg L ⁻¹
Óleos e Graxas	Virtualmente ausentes

Os corpos d'água enquadrados na classe 2 têm suas águas destinadas: ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274/00; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Qualidade dos recursos hídricos superficiais

4.1.1 Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha

Nas Tabelas 8 a 13 apresentam-se os resultados de todos os parâmetros estudados, para os pontos amostrados nas avaliações realizadas na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha.

TABELA 8: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-01.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,83	7,60	7,51	8,22	8,25	8,36	8,16
OD (%)	93,00	111,50	104,00	130,50	89,50	79,50	78,50
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	32,2	29,5	26,8	12,3	66,6	33,8	9,3
Sal. (partes/mil)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	16,3	14,5	14,8	15,2	18,0	19,9	17,4
DBO (mg L^{-1})	1,80	0,01	0,20	0,25	0,90	0,35	0,35
DQO (mg L^{-1})	3,24	0,04	0,60	0,90	1,20	0,80	0,40
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	1,000	1,000	1,000	0,130	0,090	0,030	0,034
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,045	0,002	0,001	0,003
Turbidez (UNT)	1,6	1,62	0,60	0,89	0,82	1,15	1,14
S. T. (mg L^{-1})	22	50	50	28	21	15	45
S.T.D. (mg L^{-1})	20	20	48	12	15	9	35
C.F. (NMP/100ml)	4500	0	0	900	1500	2500	400
C.T. (NMP/100ml)	4500	0	0	900	1500	2500	400

pH=potencial hidrogeniônico, OD=oxigênio dissolvido, Cond= condutividade elétrica, Sal=salinidade, T=temperatura, DBO=demanda bioquímica de oxigênio, DQO=demanda química de oxigênio, NO_3^- =nitrito, NH_3 =nitrogênio amoniacal, PO_4 =fósforo, ST= sólidos totais, STD=sólidos totais dissolvidos, CF=coliformes fecais, CT=coliformes totais.

TABELA 9: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-02.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,42	7,10	7,48	7,88	7,96	8,19	7,68
OD (%)	78,00	85,50	110,00	145,00	128,00	85,00	69,50
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	49,5	56,0	29,1	76,4	62,7	14,4	12,8
Sal. (partes/mil)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	17,2	16,4	16,1	16,3	17,9	19,3	18,2
DBO (mg L^{-1})	1,45	0,31	0,50	0,75	1,20	0,40	0,39
DQO (mg L^{-1})	2,61	3,60	0,80	1,10	1,30	1,00	0,80
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	1,000	1,000	1,000	0,300	0,150	0,050	0,036
PO_4 (mg L^{-1})	0,050	0,050	0,050	0,051	0,002	0,001	0,003
Turbidez (UNT)	0,83	0,57	0,93	1,21	0,96	0,88	1,75
S. T. (mg L^{-1})	97	22	55	65	58	45	57
S.T.D. (mg L^{-1})	30	18	35	22	43	23	22
C.F. (NMP/100ml)	4500	0	2500	2500	1500	3000	400
C.T. (NMP/100ml)	4500	0	1100	2500	1500	3500	400

TABELA 10: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-03.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,24	7,27	7,54	7,87	8,23	8,04	8,25
OD (%)	86,00	122,50	106,00	72,00	126,00	79,50	70,50
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	26,1	88,4	12,8	16,4	33,4	15,1	12,3
Sal. (partes/mil)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	17,3	15,3	15,8	17,3	18,2	20,7	18,9
DBO (mg L^{-1})	1,70	0,09	1,30	0,85	1,30	0,40	0,53
DQO (mg L^{-1})	3,06	5,20	2,00	1,30	1,60	1,00	0,80
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	0,40	0,18	0,09	0,037
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,074	0,003	0,002	0,005
Turbidez (UNT)	0,92	1,22	1,00	1,06	1,09	1,12	1,65
S. T. (mg L^{-1})	145	49	45	68	58	48	40
S.T.D. (mg L^{-1})	50	3	40	18	17	24	15
C.F. (NMP/100ml)	4500	0	2500	2500	2500	4500	900
C.T. (NMP/100ml)	9500	0	2500	4500	4500	4500	4000

TABELA 11: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-04.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,35	7,47	7,95	8,04	7,76	7,80	8,01
OD (%)	68,50	124,00	106,50	118,00	152,00	70,50	64,50
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	35,4	29,0	61,9	54,2	15,2	15,3	13,6
Sal. (partes/mil)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	17,7	15,7	15,9	16,8	18,4	20,4	18,6
DBO (mg L^{-1})	1,60	1,36	0,80	0,90	1,20	0,40	0,54
DQO (mg L^{-1})	2,88	6,8	1,2	1,3	1,8	1,2	1,2
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	1,20	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	0,32	0,18	0,11	0,039
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,077	0,003	0,002	0,004
Turbidez (UNT)	1,02	1,75	0,71	1,56	1,22	1,34	1,98
S. T. (mg L^{-1})	67	83	47	75	52	52	32
S.T.D. (mg L^{-1})	22	35	39	17	42	29	28
C.F. (NMP/100ml)	4500	0	2500	4500	11000	15000	1100
C.T. (NMP/100ml)	4500	0	900	9500	11000	15000	4000

TABELA 12: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-05.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,32	7,57	8,10	8,10	8,01	7,82	8,15
OD (%)	74,50	85,50	107,00	115,50	144,00	63,00	92,00
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	30,0	25,2	21,2	118,0	12,8	15,8	13,5
Sal. (partes/mil)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	18,2	15,6	16,4	17,2	18,3	20,3	19,2
DBO (mg L^{-1})	1,05	0,09	0,65	1,2	1,35	0,4	1,38
DQO (mg L^{-1})	1,9	0,8	2,8	1,6	1	1,2	2,8
NO_3^- (mg L^{-1})	1,1	<1,00	1,30	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	0,59	0,20	0,12	0,039
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,074	0,003	0,003	0,004
Turbidez (UNT)	1,36	1,35	1,35	1,49	1,26	1,24	2,14
S. T. (mg L^{-1})	47	110	20	76	63	58	20
S.T.D. (mg L^{-1})	18	30	10	35	55	33	8
C.F. (NMP/100ml)	25000	0	1100	4500	4500	15000	4000
C.T.	25000	0	2500	9500	11000	15000	4000

(NMP/100ml)

TABELA 13: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BO-06.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,34	6,54	7,83	7,94	8,10	7,12	7,76
OD (%)	57,50	94,50	100,50	111,00	137,00	50,50	87,00
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	56,3	46,3	11,6	16,0	16,3	19,1	25,40
Sal. (partes/mil)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	18,1	15,8	16,4	17,7	18,5	22,8	19,40
DBO (mg L^{-1})	1,15	0,77	2,5	3,3	1,6	0,9	0,24
DQO (mg L^{-1})	2,07	1,2	2,8	4,4	2,4	2,0	2,40
NO_3^- (mg L^{-1})	1,1	<1	1,3	<1	<1	<1	<1
NH_3 (mg L^{-1})	<1	<1	<1	0,9	0,2	0,15	0,041
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,08	0,004	0,003	0,005
Turbidez (UNT)	2,68	1,6	2,85	2,01	1,98	1,79	2,75
S. T. (mg L^{-1})	170	72	62	79	83	63	20
S.T.D. (mg L^{-1})	32	18	59	18	30	42	18
C.F (NMP/100ml)	45000	0	2500	9500	9500	20000	4000
C.T (NMP/100ml)	45000	0	2500	9500	11000	25000	9000

O pH manteve-se próximo de 7,0, durante o inverno, em toda a sub-bacia e com uma tendência a alcalinidade, com valores superiores a 8,0, no verão. Estes resultados diferem dos resultados obtidos por Oliveira (1989) que, em estudos sobre a qualidade da água, em diferentes coberturas vegetais (pínus, eucalipto, café, pastagem e mata nativa), encontraram valores de pH entre 5,5 e 5,6, valor considerado pela literatura como sendo pH ácido (Botelho, 2003 e Von Sperling, 1996).

O pH da água é controlado pelo equilíbrio na concentração de compostos dissolvidos. Em águas naturais, esse equilíbrio (pH 7,0) depende da presença de íons carbonatos, como dióxido de carbono (CO_2), ácido carbônico (H_2CO_3), carbonatos e bicarbonatos (HCO_3^-), além de outros componentes naturais, como os ácidos húmico e fúlvico, resultantes da degradação da matéria

orgânica (Estados Unidos, 1986). As diferenças dos resultados obtidos neste estudo em relação aos de Oliveira (1989) podem estar relacionados a essas diferentes concentrações em cada ambiente estudado.

As concentrações de oxigênio dissolvido foram superiores à saturação, no período de agosto a outubro, em todos os pontos amostrados. O menor valor de OD ($5,24 \text{ mg L}^{-1}$) ocorreu no ponto BO-06, na amostragem de janeiro, enquanto que o maior valor de OD ($12,25 \text{ mg L}^{-1}$) ocorreu no ponto BO-01, na amostragem de julho. Segundo EMBRAPA (2004), a quantidade de oxigênio presente na água em condições normais depende da temperatura, da quantidade de sais presentes e da pressão atmosférica. A solubilidade dos gases aumenta com a diminuição da temperatura e da salinidade. Portanto, águas mais fria retêm maior quantidade de oxigênio, enquanto que águas salinas contêm menos oxigênio. Pelos dados da Tabela 8 pode-se observar que a temperatura da água, na amostragem de julho no ponto BO-01 foi de $14,5^{\circ}\text{C}$, o que, possivelmente, elevou o OD neste período em relação aos demais. A diferença de mais de 1°C na temperatura da água no mês de inverno se deve às condições de uso do solo próximas ao ponto BO-01, que é basicamente de Floresta Ombrófila Densa Montana (Figura 4), além de altitude elevada (Figura 2).

A condutividade elétrica da água na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha foi relativamente baixa ao longo do ano, variando de $9,3 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $118 \mu\text{S cm}^{-1}$, e considerada, pela literatura (EMBRAPA, 2004), com sendo uma condutividade elétrica normal em corpos d'água naturais sem poluição.

A temperatura da água, considerando todos os pontos, variou de $14,5^{\circ}\text{C}$ a $22,8^{\circ}\text{C}$. Pelas Tabelas de resultados das análises, observa-se que, nos pontos sem mata ciliar, a temperatura foi superior à dos pontos localizados dentro da mata. Este fato, possivelmente, está relacionado à incidência de radiação solar no corpo d'água, onde a cobertura vegetal intercepta os raios de luz solar.

A demanda bioquímica de oxigênio apresentou um valor máximo de 3,3 mg L⁻¹, que ocorreu no ponto BO-06, no mês de setembro e, apesar de o mesmo exceder o limite da classe 1, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (máximo de 3,0 mg L⁻¹ de DBO), é considerado um valor normal em cursos d'água não poluídos. Carvalho et al. (2004), analisando a qualidade da água do ribeirão Ubá, município de Ubá, MG, encontraram valores de 3,3 mg L⁻¹, na cabeceira do ribeirão e de até 263,1 mg L⁻¹, em um ponto localizado dentro da cidade. Uma das possíveis causas do resultado de 3,3 mg L⁻¹ de DBO encontrado no ponto BO-06 é o pisoteio do gado próximo ao ponto de amostra, uma vez que tanto na margem direita quanto na margem esquerda do ribeirão Lavrinha, neste ponto, o uso atual do solo é composto por pastagens e vegetação de várzea (Figura 4). Merten & Minella (2002) relatam que as atividades de pecuária são responsáveis por muitos problemas de poluição hídrica encontrados nas bacias hidrográficas brasileiras, elevando os teores de DBO e de fósforo.

Segundo EMBRAPA (2004), em sistemas aquáticos livres de poluição, são encontrados valores próximos de 2,0 mg L⁻¹, enquanto aqueles sujeitos a descargas de efluentes podem apresentar valores superiores a 10,0 mg L⁻¹. A DBO afeta diretamente o nível de oxigênio dissolvido na água: quanto maior seu valor, mais rapidamente o oxigênio desaparecerá do sistema, significando menor quantidade de oxigênio disponível para os organismos aquáticos.

Os valores de DQO encontrados na sub-bacia do ribeirão Lavrinha foram relativamente baixos, apresentando um mínimo de 0,04 mg L⁻¹ de DQO, no ponto BO-01 e um máximo de 6,80 mg L⁻¹ de DQO, no ponto BO-04, ambos os valores encontrados no inverno. A DQO é importante porque mostra a quantidade de matéria orgânica presente na água, se o seu nível for baixo demais, os organismos aquáticos poderão estar em risco.

As concentrações de nitrato (NO₃⁻) mantiveram-se constantes e abaixo de 1,0 mg L⁻¹, ao longo de todo o período amostral, do ponto BO-01 ao ponto

BO-03. Do ponto BO-03 até a seção controle da sub-bacia (ponto BO-06), alguns valores acima de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ foram encontrados. Na amostragem do mês de maio, valores de $1,1 \text{ mg L}^{-1}$ foram encontrados nos pontos BO-05 e BO-06. No mês de agosto, valores de $1,2 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_3^- foram encontrados no ponto BO-04 e, no mesmo mês, valores de $1,3 \text{ mg L}^{-1}$ nos pontos BO-05 e BO-06. A quantidade natural de nitrato e amônia em águas superficiais é baixa ($< 1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_3^-). Concentrações acima de 5 mg L^{-1} de NO_3^- , normalmente, indicam poluição por fertilizantes usados na agricultura ou dejetos humanos e de animais (EMBRAPA, 2004). Possivelmente, os valores acima de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_3^- estão associados à pecuária que, desde tempos remotos, é a principal atividade da região, mas que ainda não atingiu um nível alto de exploração, capaz de elevar a concentração de nitrato a valores acima do que é considerado limite.

A amônia (NH_3) ocorre naturalmente nos corpos d'água e tem origem na degradação de compostos nitrogenados, na matéria orgânica do solo e da água, na excreção de organismos e na redução do gás nitrogênio (N_2). A amônia é um importante nutriente para a manutenção da vida, porém, seu excesso pode ser acumulado nos tecidos do corpo, podendo causar efeitos secundários, como alteração do metabolismo ou aumento do pH (Estados Unidos, 1979).

Os valores de NH_3 encontrados foram menores que $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de NH_3 durante todo o período amostral. Segundo EMBRAPA (2004), a quantidade natural de amônia em águas superficiais é baixa, cerca de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$.

As concentrações de fósforo encontradas não ultrapassam $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de PO_4 , o que é considerado dentro dos padrões pela literatura especializada. Estados Unidos (1986) relatam que níveis de fósforo nestas condições não devem exceder a $0,25 \text{ mg L}^{-1}$ de PO_4 . Já a Resolução CONAMA 357/05 estabelece o valor de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de PO_4 como limite aceitável. Portanto, as águas da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha não apresentam problemas

associados a eutrofização, uma vez que não foram verificadas concentrações elevadas de nitrogênio e fósforo.

Os valores de turbidez encontrados nas águas do ribeirão Lavrinha são baixos, apresentando um máximo de 2,85 UNT, muito abaixo do limite estabelecido para a classe 1 (Resolução CONAMA 357/05), que é de 40 UNT. Estes resultados podem estar relacionados com as unidades pedológicas presentes na sub-bacia. Junqueira Junior (2006) relata que, em quase toda a área, há uma predominância de Cambissolo háplico, com 60% de areia. A areia não é diluída no curso d'água e decanta, não alterando, portanto, a turbidez da água.

Os sólidos totais (ST) variaram de 15 mg L⁻¹ a 170 mg L⁻¹. Em amostragens realizadas em dias chuvosos, foram observados maiores valores de ST, como o caso da amostragem de 10/05/2006, onde na seção controle da sub-bacia, foram encontrados 170 mg L⁻¹ de ST. Já em amostragens em épocas de estiagem, quando as chuvas são menos frequentes, os valores de ST encontrados foram baixos.

Processos de assoreamento e bloqueio total de rios ou lagos por conta do alto conteúdo de material em suspensão são responsáveis pelo desequilíbrio entre espécies e pelo desaparecimento completo de algumas formas de vida do ambiente aquático. As atividades fotossintéticas das plantas aquáticas podem, por sua vez, ser inibidas pela interferência da passagem de luz (EMBRAPA, 2004), fato que não aconteceu na sub-bacia, pois os valores de ST e STD foram consideravelmente baixos.

As concentrações de coliformes fecais e totais obtidas são elevadas, com valores que chegam até 45.000 NMP/100mL. Verifica-se que, no inverno, essas concentrações são mais baixas, podendo até em alguns casos, como no mês de julho não existir coliformes no ribeirão. Já no verão, essas concentrações chegam a valores elevados, considerados, pela literatura, fora do padrão normal geralmente encontrado nos corpos d'água e fora do limite estabelecido para

enquadramento na classe 3, que é de 4.000 NMP/100mL (Resolução CONAMA 357/05).

Pela Figura 4, pode-se verificar que as pastagens encontram-se em áreas consideradas ecologicamente frágeis, com declividades que chegam 45% (Figura 2). Na mesma Figura, observam-se áreas que eram ocupadas por mata, hoje estão a solo exposto, havendo constante escoamento superficial direto em dias chuvosos, transportando materiais, como solo e fezes, diretamente para o curso d'água. O fato das análises indicarem altos índices de coliformes fecais, possivelmente está relacionado com o escoamento superficial direto e com a criação de animais na área, pois a dessedentação destes, ocorre diretamente no curso d'água e nas nascentes, ocasionando uma degradação do manancial.

- **Índice de Qualidade da Água (IQA)**

O IQA calculado para a sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, encontra-se na Tabela 14.

TABELA 14: Índice de Qualidade da Água nos pontos de amostragem na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, durante o período de monitoramento.

Data de amostragem	IQA-(IGAM)					
	BO-01	BO-02	BO-03	BO-04	BO-05	BO-06
10/05/06	67,41	64,71	64,44	63,56	57,41	50,89
03/07/06	95,52	95,08	93,87	92,25	95,02	91,72
07/08/06	94,78	71,25	70,79	70,60	73,19	69,15
17/09/06	72,47	62,41	68,99	66,78	66,58	62,38
22/10/06	71,61	71,24	68,57	56,97	59,96	61,77
03/12/06	69,54	69,85	68,20	60,74	59,74	55,10
07/01/07	76,53	75,13	70,86	69,51	68,04	68,95
MÉDIA	78,26	72,81	72,25	68,63	68,56	65,71

Pela Tabela 14, nota-se que o comportamento do IQA no mês de julho foi excelente, tendo uma variação de 91,72 (ponto BO-06) a 95,52 (ponto BO-01). Estes altos índices estão ligados à ausência de coliformes fecais neste período, pois este parâmetro, representa 17 % no cálculo do IQA. Uma possível causa da ausência de coliformes fecais é a rotatividade do gado nas pastagens e o baixo índice pluviométrico nesta época do ano na região, não ocasionando, portanto o escoamento superficial direto.

Os valores inferiores de IQA foram verificados na amostragem do mês de maio, variando entre 50,89 (ponto BO-06) a 67,41 (ponto BO-01). No instante desta amostragem ocorria chuva e o escoamento superficial era nítido, fato este que influenciou nos resultados obtidos, elevando os valores de coliformes, sólidos totais e sólidos totais dissolvidos (Tabelas 8 a 13).

Nota-se que, a partir do mês de outubro, quando as precipitações ficam mais frequentes na região (Figura 3), a qualidade da água sofre uma degradação. O efeito de diluição pela água da chuva não ocorreu, o que pode estar relacionado com o fato de o escoamento superficial direto transportar material orgânico e inorgânico, presente nas pastagens para dentro do ribeirão. Portanto, o efeito transportador do deflúvio foi maior que o de diluição. Este fato também foi observado por Carvalho et al. (2004) e Carvalho et al. (2000).

Do mês de setembro a janeiro, o IQA variou de 56,97 a 72,42, enquadrando-se em nível médio a bom de qualidade, conforme descrito na Tabela 6. O parâmetro coliformes fecais foi decisivo nos resultados de IQA, elevando-o quando este parâmetro apresenta mínimas concentrações e baixando-o quando as concentrações apresentaram-se elevadas. As elevadas concentrações de coliformes fecais coincidem com períodos de chuva na região, sendo o escoamento superficial direto o responsável pelo transporte do material fecal para as águas do ribeirão. Merten & Minella (2002) relatam que as atividades de pecuária representam grande risco a qualidade de corpos d'água, quando nestas

não são adotadas práticas de manejo conservacionistas, elevando os valores de DBO e coliformes fecais.

Na média, o IQA apresentou-se de nível bom, da cabeceira até o ponto BO-03 e nível médio do ponto BO-04 até a seção controle, sendo o parâmetro coliforme o que mais interferiu no cálculo do índice de qualidade da água.

O fato de o IQA ser superior no trecho da cabeceira até o ponto BO-03 e inferior deste até a seção controle, está intimamente relacionado com a ocupação do solo. No primeiro trecho, há predominância de ocupação por mata e regeneração natural, e a mata ciliar está presente nas margens do ribeirão Lavrinha. Já no segundo trecho, observa-se um domínio das pastagens na ocupação do solo, mesmo em locais considerados áreas de preservação permanente (APP). Além da ocupação do solo, práticas de manejo também interferem na qualidade da água. As queimadas são frequentes e adotadas como práticas de limpeza das pastagens, deteriorando tanto o solo quanto as águas da sub-bacia.

4.1.2 Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela

Os resultados das análises de qualidade da água para todos os parâmetros estudados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela encontram-se nas Tabelas 15 a 18.

TABELA 15: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BV-01.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,75	7,90	7,38	6,83	7,15	7,89	6,41
OD (%)	72,50	96,00	122,00	99,00	135,00	84,00	60,00
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	49,7	16,2	23,4	63,0	24,8	90,3	96,9
Sal. (partes/mil)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	18,2	16,1	17,4	19,9	17,2	24,0	25,7
DBO (mg L^{-1})	2,15	0,04	1,20	2,90	1,85	1,20	1,95
DQO (mg L^{-1})	3,87	1,20	1,50	3,60	2,40	2,00	5,60
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	1,60	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	0,75	0,4	0,22	0,81
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,08	0,04	0,004	0,005
Turbidez (UNT)	2,55	3,42	4,1	4,23	6,45	5,59	7,89
S. T. (mg L^{-1})	50	83	42	71	75	69	47
S.T.D. (mg L^{-1})	12	32	37	15	37	37	12
C.F. (NMP/100ml)	4500	0	0	2500	1100	2500	15000
C.T. (NMP/100ml)	4500	0	0	4500	11000	2500	25000

TABELA 16: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BV-02.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,54	6,62	7,01	7,04	7,65	7,27	6,01
OD (%)	78,50	77,50	88,00	121,50	109,00	95,00	69,50
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	40,1	20,7	93,0	43,9	25,5	66,0	14,9
Sal. (partes/mil)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	20,3	17,6	23,4	22,3	19,5	25,6	27,1
DBO (mg L^{-1})	1,25	1,77	2,30	2,80	2,00	1,40	1,95
DQO (mg L^{-1})	2,25	4,80	3,20	3,30	3,30	2,80	6,40
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	1,30	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	0,78	0,45	0,22	0,78
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,08	0,06	0,008	0,006
Turbidez (UNT)	7,37	9,19	6,52	5,11	6,48	6,12	8,96
S. T. (mg L^{-1})	67	80	75	70	100	69	47
S.T.D. (mg L^{-1})	35	30	55	43	53	41	22

C.F. (NMP/100ml)	9000	11000	2500	2500	1100	3500	9000
C.T. (NMP/100ml)	9000	11000	2500	25000	25000	25000	15000

TABELA 17: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BV-03.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,23	6,55	7,18	8,27	7,76	7,67	6,01
OD (%)	79,50	80,50	92,00	70,00	121,50	87,50	72,50
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	39,4	42,6	10,1	70,1	16,9	82,7	15,9
Sal. (partes/mil)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	18,1	16,4	19,4	19,1	17,2	23,0	23,1
DBO (mg L^{-1})	0,60	2,22	0,60	3,20	2,20	1,30	1,39
DQO (mg L^{-1})	1,08	3,80	1,20	4,60	4,60	2,40	3,90
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	0,80	0,48	0,25	0,79
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,074	0,05	0,097	0,087	0,011	0,01
Turbidez (UNT)	4,25	2,77	2,43	3,12	4,05	4,98	5,78
S. T. (mg L^{-1})	85	57	27	72	68	73	25
S.T.D. (mg L^{-1})	23	55	20	12	60	48	23
C.F. (NMP/100ml)	45000	25000	250	450	2500	3500	11000
C.T. (NMP/100ml)	45000	25000	250	450	4500	4500	15000

TABELA 18: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BV-04.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,31	6,79	6,65	7,21	6,69	6,68	6,13
OD (%)	90,50	70,00	74,50	104,50	106,50	72,50	78,50
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	37,8	44,3	68,8	99,0	32,8	31,7	22,8
Sal. (partes/mil)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	19,8	16,3	19,5	20,1	17,8	25,0	24,6
DBO (mg L^{-1})	0,90	0,40	0,90	0,80	2,20	1,40	0,39
DQO (mg L^{-1})	1,62	2,40	1,20	2,20	1,86	2,00	1,20
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	0,63	0,52	0,26	0,78
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08	0,011	0,011
Turbidez (UNT)	3,97	3,02	3,82	4,01	3,89	4,59	5,15
S. T. (mg L^{-1})	75	20	78	58	100	70	35
S.T.D. (mg L^{-1})	35	13	27	20	78	59	28

C.F. (NMP/100ml)	45000	2500	2500	4500	1500	3500	400
C.T. (NMP/100ml)	45000	9500	2500	4500	2500	4500	700

O pH apresentou-se neutro, na maioria dos pontos amostrados, dentro de todo o período amostral. Um único valor de pH acima de 8,0 (pH alcalino) foi encontrado, no ponto BV-03, em setembro de 2006. O pH mostrou-se com uma ligeira tendência a acidez em certas épocas do ano, em alguns trechos do ribeirão. Isto também ocorreu na sub-bacia do ribeirão Lavrinha e já foi explicado.

Durante o período de agosto a outubro, o oxigênio dissolvido apresentou valores elevados, estando, em alguns casos, acima da saturação, como em agosto e outubro, no ponto BV-01, em setembro e outubro, nos pontos BV-02 e BV-04 e em outubro, no ponto BV-03. Como a temperatura não foi necessariamente menor nesses meses, o que possibilitaria um maior oxigênio dissolvido, a explicação encontra bases na presença de algas. Segundo Botelho (2003), valores superiores à saturação são indicativos da presença de algas (fotossíntese), enquanto que valores bem inferiores a saturação são indicativos da presença de matéria orgânica (provavelmente esgoto e dejetos de animais) no curso d'água. Além disso, segundo EMBRAPA (2004), os níveis de oxigênio dissolvido têm variações sazonais, em período de 24 horas, pois a fotossíntese como principal fonte de oxigênio dissolvido nos corpos d'água varia de acordo com a quantidade de luz solar que chega nas algas.

A condutividade elétrica da água manteve-se praticamente constante e abaixo de $100 \mu\text{S cm}^{-1}$, em todos os pontos amostrados da sub-bacia do ribeirão Vista Bela, independente da época do ano. As pequenas variações da condutividade elétrica da água ocorridas nesta área podem estar ligadas a variações da temperatura da água em cada época do ano. De acordo com EMBRAPA (2004), a condutividade elétrica da água depende da concentração de ânions e cátions presentes na solução e da temperatura e, por isso, essas medidas devem estar sempre associadas. Outro fato é a variação da concentração

de sais presentes na água ao longo do ano, alterando também a condutividade elétrica.

A temperatura da água foi influenciada diretamente pela temperatura ambiente, verificando-se que, durante o inverno, a temperatura da água apresentou uma média próxima de 18°C e, no verão, temperatura média próxima de 22°C. Nota-se que a temperatura medida no ponto BO-02 em todas as amostragens apresenta-se superior aos demais pontos amostrados. A explicação para este fato está associada à existência de uma represa acima do ponto, fazendo com que a água receba mais irradiação solar aumentando sua temperatura. Mesmo com uma temperatura um pouco mais elevada neste ponto, esta não é tão expressiva, para acelerar as atividades biológicas dos organismos vivos presentes na água.

Pela Tabela 15 verifica-se um valor máximo de 2,90 mg L⁻¹ de DBO no ponto BV-01 na amostragem de setembro. Este valor é considerado normal pela literatura. Segundo EMBRAPA (2004), em sistemas aquáticos que não estão poluídos, são comuns valores de DBO próximos de 2,0 mg L⁻¹, enquanto aqueles sujeitos a descargas de efluentes podem apresentar valores superiores a 10,0 mg L⁻¹. A DBO afeta diretamente o nível de oxigênio dissolvido na água, quanto maior, mais rapidamente o oxigênio desaparecerá do sistema. No ribeirão Vista Bela, os níveis de DBO encontrados não afetaram o oxigênio dissolvido, por serem muito baixos. Porém, a adoção de práticas de manejo conservacionistas é necessária para que, no futuro, a sub-bacia não apresente condições críticas de qualidade da água, principalmente no manejo da suinocultura, que representa elevado risco de degradação dos mananciais.

Não foram encontrados valores elevados de DQO na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela, em nenhuma amostragem. Na sub-bacia inexistente despejo de efluentes, devido à pequena população. Por isso, os maiores valores foram de 5,60 mg L⁻¹ (Tabela 15), no ponto BV-01 e de 6,40 mg L⁻¹

(Tabela 16) no ponto BV-02, ambas no mês de janeiro. Estas concentrações podem estar relacionadas à pocilga existente na sub-bacia que, apesar dos efluentes de serem lançadas diretamente no solo e no corpo d'água, ainda não atingiram níveis alarmantes de poluição. Porém como citado no parágrafo anterior, esta atividade merece uma atenção especial.

As concentrações de nitrato (NO_3^-) mantiveram-se constantes e abaixo de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_3^- , ao longo de todo período amostral, exceto na amostragem do mês de agosto, quando as concentrações atingiram $1,6 \text{ mg L}^{-1}$ e $1,3 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_3^- nos pontos BV-01 e BV-02 respectivamente. Como o ocorrido na sub-bacia do ribeirão Lavrinha, possivelmente, o fato de o resultado apresentar valores acima de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_3^- está associado à pecuária que, desde tempos remotos, é uma das principais atividades econômicas da região, sendo os dejetos de animais o principal causador deste resultado. No entanto, não é suficiente para promover poluição substancial dos recursos hídricos superficiais. É importante ressaltar que, nesta sub-bacia, a criação extensiva apresenta-se em baixo nível tecnológico e o número de animais por hectare ultrapassa os limites citados na literatura, merecendo, esta atividade, uma atenção especial quanto ao manejo.

O nitrogênio amoniacal, ou simplesmente amônia, não ultrapassou $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ em nenhum ponto de coleta, durante todo o período. Os valores encontrados de NH_3 estão dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos ambientais. Conforme relatado por EMBRAPA (2004) e já citado no texto, valores abaixo de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de NH_3 são normais em águas superficiais não poluídas.

O fósforo é um nutriente indispensável a todas as formas de vida. Em sistemas aquáticos, o fósforo está presente como fosfato orgânico e fosfato inorgânico. É um nutriente limitante, que controla o crescimento de algas. Se todo o fósforo for utilizado, o crescimento das plantas cessará, independente da

quantidade de nitrogênio presente. As concentrações de PO_4 obtidas nas análises foram inferiores a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de PO_4 , chegando a um valor máximo de $0,097 \text{ mg L}^{-1}$ de PO_4 (Tabela 17) no ponto BV-03, na amostragem de setembro. Este valor extremo de PO_4 é considerado, por alguns autores, como sendo normal em rios e riachos livres de poluição. Estados Unidos (1986) relatam que os níveis de fósforo nestas condições não devem exceder a $0,25 \text{ mg L}^{-1}$ de PO_4 . Já o CONAMA, na Resolução 357/05, estabelece que o limite para a classe 1 não deve exceder o valor de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de PO_4 .

A turbidez apresentou-se relativamente baixa, menor que 10 UNT, em todos os pontos de amostragem. A menor turbidez obtida foi de 2,43 UNT no ponto BV-03, na amostragem de agosto e a maior de 9,19 UNT, no ponto BV-02 na amostragem de julho. Os valores de turbidez encontrados na sub-bacia são considerados normais para rios e ribeirões livres da poluição e enquadram-se na classe 1 da Resolução CONAMA 357/05, onde o limite é de 40 UNT.

Os sólidos totais e os sólidos totais dissolvidos apresentaram valores relativamente baixos, com uma pequena elevação no verão, quando as chuvas são mais frequentes na região. O valor máximo de sólidos totais foi de 100 mg L^{-1} (Tabela 16 e Tabela 18) no ponto BV-02 e BV-04, ambos na amostragem de outubro.

Já as concentrações de coliformes encontradas foram bem elevadas, como o ocorrido na sub-bacia do ribeirão Lavrinha, apresentando valores de até 45.000 NMP/100ml, valor encontrado no ponto BV-04 (Tabela 18), nos meses chuvosos. No ponto BV-01, ou seja, na cabeceira da sub-bacia, a mata ciliar está quase extinta e as pastagens ganham, cada vez mais, seu espaço. Do ponto BV-02 até a seção controle da sub-bacia (ponto BV-04), a mata ciliar não está presente nas margens do Ribeirão Vista Bela (Figura 7), contribuindo para a degradação do manancial. Possivelmente, o alto índice de coliformes (45.000 NMP/100ml) encontrado seção controle da sub-bacia está relacionado com a

pecuária e a provável presença de escoamento superficial, depositando material no corpo d'água.

Como o ocorrido na sub-bacia do ribeirão Lavrinha, os elevados valores de coliformes fecais encontrados nas análises estão intimamente relacionados com o uso e ocupação do solo. Como descrito na Tabela 3, a ocupação por pastagens representa 88% da área da sub-bacia, sendo a pecuária um potencial degradador do curso d'água, principalmente quando esta atividade é praticada sem a adoção de práticas de manejo conservacionistas.

- **Índice de Qualidade da Água (IQA)**

Na Tabela 19 apresenta-se o IQA calculado para cada amostragem, na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela. É importante ressaltar que o ponto de amostragem BV-03 encontra-se em um tributário do dreno principal da sub-bacia. Os demais pontos de amostragem encontram-se no dreno principal, o ribeirão Vista Bela.

TABELA 19: Índice de Qualidade da Água nos pontos de amostragem na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela, durante o período de monitoramento.

Data de amostragem	IQA-(IGAM)			
	BV-01	BV-02	BV-03	BV-04
10/05/06	64,91	61,32	55,26	55,43
03/07/06	93,67	60,19	54,19	67,04
07/08/06	91,69	67,85	79,69	68,10
17/09/06	68,59	67,43	69,91	67,71
22/10/06	69,93	71,84	67,90	69,98
03/12/06	69,05	68,13	68,00	66,32
07/01/07	56,91	56,83	58,21	72,38
MÉDIA	73,54	64,80	64,74	66,71

Pela Tabela 19, nota-se que o IQA na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela encontra-se de médio a bom. Em julho e agosto, o IQA apresentou-se excelente na cabeceira e de médio a bom nas demais áreas da sub-bacia. Os valores de IQA encontrados na amostragem do mês de maio foram baixos, enquadrando-se no nível médio de qualidade. Este fato pode estar relacionado com os altos índices de coliformes fecais encontrados nas análises laboratoriais.

O ponto BV-01, situado na cabeceira, apresentou IQA variando de 56,91 e 93,67. O alto valor de 93,67 calculado para a amostragem do mês de julho, deve-se à ausência de coliformes fecais no corpo d'água nesta época do ano (Tabela 15).. O baixo valor calculado para a amostragem do mês de janeiro se deve ao fato de a mata ciliar que existia no local não existir mais, passando a ocupação do solo de mata para pastagem. A retirada da cobertura vegetal implica na diminuição da capacidade de infiltração de água no solo e, conseqüentemente na elevação do escoamento superficial direto, sendo este o responsável pelo transporte de materiais para o corpo d'água. Além deste fator, o alto índice pluviométrico nesta época do ano também contribui para o escoamento superficial, sendo a intensidade de precipitação nesta época superior à capacidade de infiltração de água no solo.

O IQA no ponto BV – 04, seção controle da sub-bacia, manteve-se praticamente estável durante todo período amostral variando de 55,43 a 72,38. Neste ponto, observou-se redução dos coliformes fecais no período de chuva, pois, no período de seca os valores de coliformes chegaram a 45000 NMP/100ml enquanto que no período chuvoso (janeiro) os valores de coliformes foram abaixo de 1000 NMP/100ml (Tabela 18). Na Figura 6 tem-se a distribuição das chuvas ao longo do ano na sub-bacia hidrográfica.

Já no ponto BV-01 não se observou o efeito de diluição dos coliformes pela chuva, tendo sido a amostragem de janeiro a que apresentou maiores concentrações de coliformes, chegando a 25.000 NMP/100ml. Como já relatado,

existia mata ciliar neste trecho até meados de dezembro, passando-se a ocupação do solo a pastagem a partir deste período.

No geral, o IQA na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela apresentou-se em nível médio a bom de qualidade, dependendo da época do ano. A predominância de pastagem e a ausência de mata ciliar ao longo do ribeirão contribuem, acentuadamente, para a degradação do curso d'água. A adoção de práticas de manejo conservacionistas na área é indispensável. A pecuária extensiva é considerada uma atividade de alto potencial degradador dos recursos hídricos superficiais, uma vez que em geral nesta atividade, não são adotadas práticas de manejo conservacionistas. A mata ciliar torna-se indispensável neste tipo de atividade, pois estas podem servir como barreiras (filtros) do material transportado pelo escoamento superficial.

4.1.3. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela

Nas Tabelas 20 a 23 apresentam-se os resultados das análises de qualidade da água em todas as amostragens realizadas na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela. Faz-se necessário ressaltar que no ponto BM-02, não foi possível realizar análises nas datas 10/05/06, 17/09/06 e 03/12/06. Além desse fato, praticamente toda a vazão deste dreno, nestas épocas, estava sendo captada para atender as necessidades do proprietário, o que faz com que o dreno não apresente uma lâmina suficiente para a amostragem.

TABELA 20: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BM-01.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,05	6,31	6,47	7,91	7,64	7,89	7,95
OD (%)	79,00	68,00	85,50	106,00	126,50	58,00	52,00
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	39,7	70,9	15,4	40,6	61,3	34,5	3,8
Sal. (partes/mil)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	18,4	14,7	15,5	18,3	18,7	22,2	22,8
DBO (mg L^{-1})	1,10	0,82	1,50	0,30	2,30	1,50	0,18
DQO (mg L^{-1})	1,98	6,80	2,00	2,00	2,00	2,20	0,85
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	0,72	0,72	0,31	0,41
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,067	0,06	0,015	0,015
Turbidez (UNT)	5,1	1,17	1,68	2,13	3,15	2,65	3,19
S. T. (mg L^{-1})	115	42	68	63	50	75	25
S.T.D. (mg L^{-1})	43	40	65	12	23	62	10
C.F. (NMP/100ml)	25000	0	0	4500	9500	500	400
C.T. (NMP/100ml)	25000	0	0	4500	9000	500	400

TABELA 21: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BM-02.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	*	7,91	7,11	*	7,28	*	7,04
OD (%)	*	123,50	81,50	*	120,00	*	70,00
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	*	17,9	48,2	*	11,8	*	13,20
Sal. (partes/mil)	*	0,1	0,1	*	0,1	*	0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	*	16,9	16,8	*	19,9	*	27,0
DBO (mg L^{-1})	*	0,58	0,90	*	2,30	*	1,60
DQO (mg L^{-1})	*	8,90	1,20	*	1,9	*	8,40
NO_3^- (mg L^{-1})	*	<1,00	<1,00	*	<1,00	*	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	*	<1,00	<1,00	*	0,56	*	0,94
PO_4 (mg L^{-1})	*	0,05	0,051	*	0,24	*	0,74
Turbidez (UNT)	*	47,71	35,54	*	68,97	*	64,23
S. T. (mg L^{-1})	*	143	80	*	127	*	172
S.T.D. (mg L^{-1})	*	53	50	*	105	*	43
C.F. (NMP/100ml)	*	0	9500	*	25000	*	15000
C.T. (NMP/100ml)	*	0	9500	*	75000	*	25000

TABELA 22: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BM-03.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,13	6,91	6,60	6,07	6,68	6,84	6,46
OD (%)	88,50	79,50	89,50	78,50	129,00	52,00	54,00
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	41,1	68,7	36,1	98,0	18,1	25,8	16,7
Sal. (partes/mil)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	20,7	16,4	17,8	19,0	18,5	24,3	26,6
DBO (mg L^{-1})	3,25	0,72	1,7	0,3	2,65	1,6	0,9
DQO (mg L^{-1})	3,42	4,4	2,4	1,9	2,68	2,9	1,2
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	1,7	<1,00	<1,00	0,47	0,78	0,39	0,86
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,051	0,085	0,018	0,025
Turbidez (UNT)	5,93	3,86	3,63	4,95	6,23	5,89	5,48
S. T. (mg L^{-1})	50	105	90	49	68	78	43
S.T.D. (mg L^{-1})	33	38	67	17	33	69	18
C.F. (NMP/100ml)	95000	0	9500	9000	9500	1000	900
C.T. (NMP/100ml)	95000	0	9500	25000	9500	1000	1100

TABELA 23: Resultados das análises de qualidade da água, para os parâmetros estudados, nas datas de coleta no ponto BM-04.

Parâmetros avaliados	Datas de amostragem						
	10/05/06	03/07/06	07/08/06	17/09/06	22/10/06	03/12/06	07/01/07
pH	6,15	6,42	6,73	7,16	7,82	7,05	7,39
OD (%)	85,50	66,00	81,10	90,00	121,00	65,50	49,50
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	40,5	23,7	87,5	16,9	16,1	23,2	18,6
Sal. (partes/mil)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
T. ($^{\circ}\text{C}$)	19,4	14,9	16,7	17,1	21,4	22,4	27,7
DBO (mg L^{-1})	1,45	0,18	2,70	1,65	2,85	1,80	1,20
DQO (mg L^{-1})	2,61	8,60	4,00	2,68	2,68	3,30	2,00
NO_3^- (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
NH_3 (mg L^{-1})	<1,00	<1,00	<1,00	0,74	0,77	0,46	0,91
PO_4 (mg L^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,091	0,095	0,025	0,035
Turbidez (UNT)	4,03	1,97	1,41	2,15	1,97	2,35	3,26
S. T. (mg L^{-1})	80	55	105	78	87	81	17
S.T.D. (mg L^{-1})	78	47	93	20	63	78	13
C.F. (NMP/100ml)	45000	900	0	4500	4500	1100	900
C.T. (NMP/100ml)	45000	900	0	4500	4500	1100	900

O pH, nos pontos BM-01 e BM-04, apresentou tendência à acidez ($\text{pH} < 7,00$) nos meses de seca (Tabelas 20 e 23) e neutro nos demais períodos do ano. O ponto BM-01 localiza-se na cabeceira da sub-bacia (Figura 8) e foi verificada a presença de mata ciliar no seu entorno (Figura 10). No ponto BM-02, o pH apresentou-se neutro (pH próximo de 7,00) em todas as amostragens e, no ponto BM-03, o pH apresentou ligeira tendência à acidez, durante todo o período amostral.

O oxigênio dissolvido apresentou grandes variações durante o período amostral. Em amostragens realizadas em dias chuvosos, como a do mês de outubro, o OD foi superior à saturação. Carvalho et al. (2004) verificaram este fato no ribeirão Ubá, MG, onde, em amostragens em dias chuvosos, foram encontrados valores de OD superiores aos demais. Já os baixos valores de OD encontrados nas amostragens durante o verão podem estar relacionados à temperatura, sendo que quanto maior a temperatura, menor o OD presente no curso d'água. A temperatura da água esteve entre 15°C e 19°C , no inverno e entre 18°C e 27°C , no verão.

As concentrações de DBO apresentaram resultados variando de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ a $3,3 \text{ mg L}^{-1}$. Como já relatado, em sistemas aquáticos livres de poluição (descargas de efluentes), valores próximos a $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ de DBO são considerados normais pela literatura. O valor de $3,3 \text{ mg L}^{-1}$ de DBO foi verificado no ponto BM-03, que se situa nas proximidades de dois currais que atendem, praticamente, a todo gado presente na sub-bacia, sendo esta uma provável explicação para este fato.

O nitrato (NO_3^-) encontrado em toda a sub-bacia manteve-se praticamente constante e sempre abaixo de $1,00 \text{ mg L}^{-1}$. Segundo EMBRAPA (2004), a quantidade natural de nitrato e amônia em águas superficiais é baixa ($< 1,00 \text{ mg L}^{-1}$).

As concentrações de amônia observadas na sub-bacia foram abaixo de $1,00 \text{ mg L}^{-1}$, com exceção da amostragem do mês de maio, no ponto BM-03, onde atingiu $1,7 \text{ mg L}^{-1}$. Uma grande área de cultivo de milho está presente na área, podendo, em períodos chuvosos, transportar nutrientes aplicados no preparo do solo, para o corpo d'água.

O fósforo encontrado no ponto BM-02 variou de $0,051 \text{ mg L}^{-1}$ a $0,74 \text{ mg L}^{-1}$ de PO_4 , tendo o menor valor encontrado no inverno e o maior no período das chuvas na região. Os valores de $0,24 \text{ mg L}^{-1}$ e de $0,74 \text{ mg L}^{-1}$ de PO_4 , encontrados nos meses de outubro e janeiro respectivamente, são considerados elevados pelos órgãos ambientais (CONAMA e IGAM). O período em que foram encontrados os altos valores de PO_4 coincide com o período de safra do milho na região. As fortes chuvas ocorridas nos últimos meses, na sub-bacia (Figura 9), geraram escoamento superficial, transportando altas taxas deste nutriente para o curso d'água.

A turbidez na sub-bacia foi relativamente baixa (menor que 10 UNT), com exceção do ponto BM-02, no qual este parâmetro variou de 35,54 a 68,97 UNT. Como já relatado, a área, no entorno do ponto BM-02 é utilizada para plantio de milho, sendo assim, o solo fica exposto boa parte do ano, permitindo o transporte das partículas do solo pelo escoamento superficial para dentro do curso d'água. Nas áreas próximas ao ponto, verifica-se (Figura 10) ausência de mata ciliar, contribuindo ainda mais para o escoamento. Seguindo deste mesmo raciocínio, devido às características hidrológicas de alguns pontos na sub-bacia, verifica-se que os sólidos totais (Tabela 21) apresentaram valores elevados no ponto BM-02, quando comparados com os demais pontos de amostragem.

Os coliformes fecais sofreram o efeito de diluição pela água de chuva, em todos os pontos amostrais. As maiores concentrações de coliformes foram observadas no período de seca, na região, atingindo valores de até 95.000 NMP/100ml (ponto BM-03). Já as menores concentrações foram observadas no

período chuvoso (média de 1.000 NMP/100ml), quando a vazão do curso aumentou, levando à diluição das concentrações de coliformes.

Práticas de manejo devem ser adotadas nesta sub-bacia, pois a qualidade da água encontra-se seriamente comprometida, tanto pelas lavouras de milho quanto pela atividade pecuária. O tributário onde encontra-se o ponto BM-02 deve ter seu curso restituído, pois, além de comprometido quanto à qualidade, o curso apresenta problemas consideráveis de quantidade de água.

- **Índice de Qualidade da Água (IQA)**

O IQA calculado para todos os pontos amostrados na sub-bacia do ribeirão Marcela encontra-se na Tabela 24. A metodologia de cálculo foi a mesma adotada nas demais sub-bacias.

TABELA 24: Índice de Qualidade da Água nos pontos de amostragem na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, durante o período de monitoramento.

Data de amostragem	IQA-(IGAM)			
	BM - 01	BM - 02	BM - 03	BM - 04
10/05/06	55,89	*	51,45	54,83
03/07/06	92,63	84,18	88,03	70,80
07/08/06	90,87	57,20	62,26	89,95
17/09/06	68,15	*	63,28	66,73
22/10/06	62,47	54,63	60,29	65,33
03/12/06	61,59	*	56,65	61,95
07/01/07	69,40	54,68	67,53	63,69
MÉDIA	71,57	62,67	64,21	67,61

Pelos dados da Tabela 24, observa-se que os valores de IQA encontrados na amostragem do mês de maio foram baixos, sendo classificados como de nível médio de qualidade, devido a altos valores de coliformes fecais e DBO, correspondendo a 15% e 10%, respectivamente, no cálculo do IQA.

Nota-se que o IQA do mês de julho enquadra-se no nível bom nos pontos BM-02, BM-03 e BM-04 e excelente no ponto BM - 01. De acordo com as Tabelas 20 a 23, verifica-se que as concentrações de coliformes fecais e DBO foram baixas e as de OD foram elevadas, resultando nos altos índices de qualidade da água encontrados na cabeceira da sub-bacia.

Pelos dados da Tabela 24, verifica-se que o IQA, na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, foi médio, exceto na amostragem do mês de julho. Constata-se que o IQA mostra uma diminuição da cabeceira para seção controle, este fato pode estar relacionado com o aumento a área de drenagem, tornando a qualidade mais susceptível a degradação. No de inverno, o IQA do ponto BM - 03 apresentou menor valor do que o do ponto BM - 04, o que pode estar ligado ao fato do tributário (onde encontra-se o ponto BM - 02) estar seriamente comprometido pelas ações antrópicas, principalmente agricultura e pecuária. Além deste fato nas campanhas de campo foi verificado que todo dejetos animal provindo dos currais são depositados nas margens do Ribeirão Marcela, contribuindo também para a poluição das águas.

Na seção controle da sub-bacia o IQA manteve-se estável, exceto na amostragem do mês de agosto, fato explicado por não ter sido detectado a presença de coliformes fecais no período.

No geral, a sub-bacia do ribeirão Marcela apresenta-se em nível médio de qualidade, porém, é necessário que práticas de manejo sejam adotadas, pois, segundo relato de moradores da sub-bacia, tanto a qualidade quanto a quantidade de água vêm reduzindo consideravelmente ano após ano.

Os parâmetros coliformes fecais, oxigênio dissolvido, pH e fósforo foram os que mais influenciaram no cálculo do IQA, na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela.

4.1.4 Qualidade da água nos ambientes monitorados

A sub-bacia do ribeirão Lavrinha apresenta-se em melhores condições de preservação do que as demais. Quando se comparam o uso e ocupação do solo, nas três sub-bacias estudadas, verifica-se que, na sub-bacia do ribeirão Lavrinha, a mata nativa compõe boa parte da paisagem na área e a mata ciliar está presente em diversos trechos da rede de drenagem. Na sub-bacia do ribeirão Vista Bela, a mata ciliar está presente apenas até o ponto BV-02 e as pastagens correspondem a 88% da área total da sub-bacia. Já na sub-bacia do ribeirão Marcela, a ocupação predominante é por pastagens e cultivos agrícolas, e a mata ciliar encontra-se apenas nas nascentes.

O fato da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha apresentar predominância de ocupação por mata nativa permite associar com o melhor nível de qualidade da água apresentado em relação às demais áreas estudadas.

Por outro lado o uso e a ocupação do solo (pastagem e agricultura) da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, foram os principais fatores a levarem à condição de pior qualidade da água em relação às demais sub-bacias.

4.2. Enquadramento dos recursos hídricos superficiais em classes estabelecidas pela Resolução 357/05 – CONAMA.

4.2.1. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha

Do ponto BO-01 ao ponto BO-04, a maioria dos parâmetros apresentaram-se dentro dos limites da classe 1, exceto coliformes fecais, que violaram a classe 2 em uma amostragem, fazendo com que o ponto de cabeceira

e o ponto BO-04 se enquadrassem na classe 3. Os valores de coliformes fecais variaram de 0 a 4.500 NMP/100 ml, sendo que a Resolução CONAMA 357/05 estabelece o limite de 200 coliformes em 80% ou mais de, pelo menos 6 amostras coletadas bimestralmente ao longo do ano, para a classe 1 e de 1.000 coliformes para a classe 2.

O ponto BO-05 também foi enquadrado na classe 3, devido ao mesmo problema anterior, ou seja, os coliformes fecais foram determinantes no enquadramento. O oxigênio dissolvido apresentou valores abaixo de 6 mg L⁻¹ (5,45mg L⁻¹ amostragem do dia 03/12/2006), sendo o limite da classe 1 estabelecido pela Resolução não inferior, em nenhuma amostra, a 6 mg L⁻¹, fazendo com que este parâmetro levasse o enquadramento em classe 2. Porém, foram encontrados valores de até 2,5x10⁴ NMP/100 mL para o parâmetro coliformes fecais, fazendo com que o ponto se enquadre na classe 3.

Na seção controle da sub-bacia (ponto BO – 06), foram encontrados valores de DBO acima de 3 mg L⁻¹ (3,3 mg L⁻¹ amostragem do dia 10/05/2006), OD abaixo de 6 mg . L⁻¹ (5,35 mg L⁻¹ e 5,24mg L⁻¹ nas amostragens dos dias 03/12/2006 e 07/01/2007 respectivamente) o que enquadraria o curso d'água neste ponto na classe 2. Porém encontraram-se valores de coliformes fecais de até 4,5x10⁴ NMP/100 ml (amostragem do dia 10/05/2006), impedindo o enquadramento do curso d'água neste ponto mesmo na classe 3.

Como pode-se observar o parâmetro coliformes fecais foi determinante no enquadramento, reduzindo em alguns pontos, de classe 1 para a classe 3, em outros de classe 2 para classe 3 e em um caso impossibilitando o enquadramento em qualquer classe. Na Tabela 25 apresenta-se um resumo do enquadramento em classes conforme Resolução CONAMA 357/05 para cada ponto amostrado.

TABELA 25: Resumo do enquadramento, de cada ponto amostrado na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, em classes da Resolução CONAMA 357/05.

Ponto	Enquadramento	Parâmetro Violado	Uso do solo no entorno do ponto
BO-01	Classe 3	C. F	Mata nativa
BO-02	Classe 3	C. F	Mata nativa, mata em regeneração e pastagem
BO-03	Classe 3	C. F	Mata nativa, mata em regeneração e pastagem
BO-04	Classe 3	C. F	Mata ciliar estreita e pastagem
BO-05	Classe 3	C. F e OD	Pastagem
BO-06	Sem enquadramento	C.F, OD e DBO	Várzea e pastagem

4.2.2. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela

Nos pontos BV – 01 e BV – 02 o parâmetro OD apresentou valores de 5,65 e 5,35 mg L⁻¹ de O₂ respectivamente, o que levaria ao enquadramento na classe 2. Contudo o parâmetro, coliformes fecais apresentou valores de até 15000 e 11000 NMP/100ml nos respectivos pontos, fato que não ocorreu apenas uma vez impossibilitando o enquadramento mesmo na classe 3. Os demais parâmetros analisados encontram-se abaixo dos limites da classe 1.

A DBO encontrada em uma das amostragens no ponto BV–03 chegou ao valor de 3,3 mg L⁻¹ de DBO. Este valor levaria o tributário (BV–03) ao enquadramento na classe 2, porém, valores de até 45.000 NMP/100ml de coliformes fecais foram encontrados, tirando o enquadramento em qualquer classe da Resolução.

No ponto BV–04, situado na seção controle da sub-bacia, foram verificados valores de 5,81 mg L⁻¹ de O₂, o que levaria ao enquadramento na

classe 2. Porém, altos valores de coliformes (45.000 NMP/100mL) encontrados fazem com que o curso d'água não se enquadre nem em classe 3.

Como o ocorrido na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha, o parâmetro coliformes foi determinante no enquadramento.

Na Tabela 26 apresenta-se um resumo do enquadramento para todos os pontos amostrados na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Vista Bela nas classes da Resolução CONAMA 357/05.

TABELA 26: Resumo do enquadramento, de cada ponto amostrado na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Vista Bela, em classes da Resolução CONAMA 357/05.

Ponto	Enquadramento	Parâmetro Violado	Uso do solo no entorno do ponto
BV-01	Sem enquadramento	C. F	Pastagem
BV-02	Sem enquadramento	C. F	Pastagem
BV-03	Sem enquadramento	C. F e DBO	Mata ciliar estreita e pastagem
BV-04	Sem enquadramento	C. F e OD	Pastagem

4.2.3. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela

No ponto BM-01, situado na cabeceira da sub-bacia, o valor crítico de OD foi de 5,23 mg L⁻¹ de O₂, o que levaria o curso d'água ao enquadramento em classe 2. Porém, altos valores de coliformes fecais foram encontrados (25.000 NMP/100ml), fazendo com que o curso não seja enquadrado nem em classe 3.

No ponto BM-02, além dos altos valores de coliformes, assim como no ponto BM-01, os valores de PO₄ encontrados em duas amostragens também ultrapassam os limites da classe 3, tirando o enquadramento do tributário neste trecho.

O OD crítico no ponto BM-03 foi de 5,03 mg L⁻¹ de O₂ e o maior valor de DBO foi de 3,25 mg L⁻¹ de DBO, enquadrando o ribeirão Marcela neste trecho em classe 2. Porém, como ocorreu nos demais pontos, os valores de coliformes ultrapassaram os limites da classe 3, não podendo este ponto ser enquadrado em classes da Resolução.

O ponto BM-04 encontra-se no mesmo caso do ponto BM-01, onde seria enquadrado em classe 2, se não fossem os elevados valores de coliformes fecais encontrados. Os demais parâmetros apresentaram-se dentro dos limites da classe 1 para todos os pontos amostrados.

Na Tabela 27 apresenta-se o resumo do enquadramento dos pontos amostrados na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela em classes da Resolução CONAMA 357/05.

TABELA 27: Resumo do enquadramento, de cada ponto amostrado na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, em classes da Resolução CONAMA 357/05.

Ponto	Enquadramento	Parâmetro Violado	Uso do solo no entorno do ponto
BM - 01	Sem enquadramento	C. F	Mara ciliar e cultura do milho
BM - 02	Sem enquadramento	C. F e PO4	Cultura do milho
BM - 03	Sem enquadramento	C. F e DBO	Pastagem
BM - 04	Sem enquadramento	C. F e OD	Pastagem

4.2.4 Enquadramento da água nos ambientes monitorados

Conforme analisado para o IQA as condições ambientais também se refletem no processo de enquadramento, identificando-se nítida diferença da sub-bacia Lavrinha em relação às demais, sendo novamente a presença de áreas de mata o possível fator determinante desta situação. Contata-se ainda que o principal fator causador do quadro crítico é o NMP de coliformes, o qual se associa com a pecuária. Em menor escala o OD e a DBO são também fatores limitantes, e, de forma bem evidente associa-se a presença de PO₄ ao cultivo de milho na sub-bacia da Marcela.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados neste estudo, ressaltam-se as seguintes conclusões:

- a) O Índice de Qualidade da Água apresenta-se como uma boa ferramenta de suporte á gestão dos recursos hídricos, mostrando boa sintonia com o processo de enquadramento nas classes de uso da água.
- b) A pecuária extensiva, juntamente com o baixo nível tecnológico empregado nesta atividade, nas três sub-bacias foram determinantes no nível da qualidade da água, concorrendo para a elevação dos valores de coliformes fecais e DBO.
- c) A agricultura “intensiva” (cultivo de milho), na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, possivelmente foi responsável pelos altos índices de fósforo encontrados no ribeirão.
- d) A presença da mata nativa, de mata em processo de regeneração e nas áreas ciliares, explicam o melhor nível da qualidade da água num dos ambientes estudados.
- e) Práticas de manejo sustentável fazem-se necessárias nas três sub-bacias hidrográficas para reduzir os problemas relacionados à poluição hídrica.

6. RECOMENDAÇÕES

Como sugestão para minorar os problemas de qualidade da água nas três sub-bacias hidrográficas sugere-se:

- Adoção de práticas de conservação do solo e da água;
- Recuperação da vegetação ciliar;
- Isolamento das nascentes, construção de bebedouros para o gado, a fim de minimizar o pisoteio próximo as nascentes e nas margens dos drenos;
- Rotação de pastagens;
- Construção de tanques de decantação para os efluentes oriundos dos currais e reutilização deste material como fertilizante na agricultura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 141-151, jan./mar. 2000.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington: American Water Works Association Environment Federation, 1995. 1268 p.

BOTELHO, C. G. **Gestão da qualidade do tratamento e do abastecimento de água**. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 2003. 180 p.

BRANCO, S. M. **Hidrologia aplicada à engenharia sanitária**. 2. ed. São Paulo - SP, Editora CETESB, 1983.

BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W.; et al. In: PORTO, R. L. L. (org), **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991. v. 3, 411 p.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações das atividades agropecuárias com parâmetros físicos e químicos da água, **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 5, p. 618-622, set./out. 2000.

CARVALHO, C. F.; FERREIRA, A. L. Qualidade das águas do Ribeirão Ubá – MG. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, p. 1-8, jul./set. 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. 2003. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2002**. São Paulo, 2003. 274 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2003**. São Paulo, 2004. 273 p.

COSTA, L. M. Temos de evoluir para uma visão mais abrangente. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, p 79-80, mar. 1987.

DAVIS, M. L.; CORNWELL, D. A. **Introduction to environmental engineering**. 3. ed. Boston, WCB McGraw-Hill, 1998.

DUDA, A. M. Addressing Nonpoint Sources of Water Pollution Must Become an International Priority. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 28, n. 3/5, p. 1-11, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Avaliação da qualidade das águas**: manual prático. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 55 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Aves e Suínos. **Manejo de dejetos de suínos**. Concórdia, 1998. 31 p. (Boletim Informativo de Pesquisa, 11).

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Bacteriological ambient water quality criteria for marine and fresh recreational waters**. Cincinnati, OH: Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, 1986. (EPA 440/5-84-002).

ESTADOS UNIDOS. National Research Council. **Subcommittee on Ammonia. Ammonia**. Baltimore: University Park Press, 1979.

ESTEVEZ, F. A. Fundamentos de Limnologia, Interciência/Finep. **Ecologia Brasiliensis**, v. 1, p. 575, 1988.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Fortaleza, CE: Editora CPRM, 1997.

FISHER, D. S.; STEINER, J. L.; ENDALE, D. M.; STUEDEMAANN, J. A.; SCHOMBERG, H. H.; FRANZENEBBERS, A. J.; WILKISON, S. R. The Relationship of Land Use Practices to Surface Water Quality in the Upper Oconee Watershed of Georgia, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, n. 1/2, p. 39-48, Mar. 2000.

GIAROLA, M. F. B.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O. CHAGAS, C. S.; FERREIRA, M. M. **Solos da região sob influência do reservatório da hidrelétrica de Itutinga/Camargos (MG)**: perspectiva ambiental. Convênio CEMIG/UFLA/FAEPE. Lavras: UFLA, 1997. 101 p.

GOMES, N. M. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela na Região do Alto Rio Grande, MG.** 2005 124 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-339.

HOLT, M. S. Sources of Chemical Contaminants and Routes into the Freshwater Environment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 38, p. 21-27, Apr. 2000. Supplement 1.

IGAM, 2003. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/>>. Acesso em: 19 jan. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2006. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 2007.

JUNQUEIRA JUNIOR, J. A. **Escoamento de nascentes associado à variabilidade espacial de atributos físicos e uso do solo em uma bacia hidrográfica de cabeceira do Rio Grande, MG.** 2006 84 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas.** Piracicaba, SP: ESALQ, 1986. 242 p. (Texto básico para a disciplina “Manejo de Bacias Hidrográficas”).

LIMA, W. P.; REICHARDT, K. **Regime de água do solo sob floresta homogênea de eucalipto e de pinheiro.** Piracicaba: CENA, 1987. 31 p. (Boletim Científico, 43).

LOWRANCE, R.; LEONARD, R.; SHERIDAN, J. Managing riparian ecosystems to control no point pollution. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 40, n. 1, p. 87-91, 1985.

MAGRINI, A.; SANTOS, M. A. O Modelo Brasileiro de Gerenciamento de Recursos Hídricos. In: **Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas**, cap. 2, Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais, 2001.

MELLO, C. R. de. **Estudo hidrológico em micro-bacia hidrográfica com regime de escoamento efêmero**. 2003. 133 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, out./dez. 2002.

MOTA, S. **Preservação de recursos hídricos**. ABES, 1995.

NOVOTNY, V. **Water quality: diffuse pollution and watershed management**. New York: John Wiley, 2003.

NOVOTNY, V.; OLEM, H. **Water quality: prevention, identification, and management of diffuse pollution**. New York: John Wiley and Sons, 1994.

OLIVEIRA, F. A. **Produção e qualidade da água em bacias hidrográficas contendo diferentes coberturas vegetais na região de agudos, São Paulo**. 1989. 96 p. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

PARRY, R. Agricultural phosphorus and water quality: a U. S. Environmental Protection Agency perspective. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 27, n. 2, p. 258-261, Mar./Apr. 1998.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos. Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 110, p. 4-45, 1995.

POTE, D. H.; REED, B. A.; DANIEL, T. C.; NICHOLS, D. J.; MOORE, P. A.; EDWARDS, D. R. Water-quality effects of infiltration rate and manure application rate for soils receiving swine manure. **Journal Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 56, n. 1, p. 32-37, 2001.

REICHERT, J. M.; WOHELEMBERG, E. V.; SILVEIRA M. J.; GONÇALVES, C. S. Erosão em entre - sulcos sob distintas intensidades de chuva, declividade do solo e horizonte do solo. In: PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. (Ed.). **Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos**. Santa Maria: ABRH, 2001. cap. 5, p. 81-97.

RHEINHEIMER, D. S. **Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino**. Nova Boemia: Agudo, 2001. 115 p.

RHEINHEIMER, D. S. **Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino**. Nova Boemia: Agudo, 2003. Ano II, 115 p.

RIZZI, N. E. Função da floresta na manutenção da qualidade da água para uso humano. **Floresta**, Curitiba, v. 15, n. 1/2, p. 54-65, jan./dez. 1981.

SAWYER, C. N. Fertilization do Lakes by Agricultural and Urban Drainage. **Journal New England Water Works Association**, Holliston, v. 61, p. 109-127, 1985.

SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L. **Chemistry for environmental engineering**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1985.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. **Estudos hidrológicos sobre o regime de escoamento das sub-bacias hidrográficas de drenagem da região Alto Rio Grande à montante da UHE de Camargos/CEMIG**. Relatório final do Projeto P&D 076, CEMIG/ANEEL, 2005. 500 p.

SILVA, D. D. Escoamento Superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de cobertura num Podzólico- Vermelho Amarelo com preparo e cultivo em contornos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 1, p. 12-20, jan. 2001.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: EDUSP, 2001. p. 35-51.

SIMS, J. T.; SIMARD, R. R.; JOERN, B. C. Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 27, n. 2, p. 277-293, Mar./Apr. 1998.

SOUZA, L. S.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para planejamento e gestão sustentável das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 15-20, nov./dez. 2000.

TOLEDO, A. M. A. **Evolução espaço-temporal da estrutura da paisagem e sua influência na composição química das águas superficiais dos ribeirões Piracicamirim e Cabras (SP)**. 2001. 94 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 181-186, jan./mar. 2002.

TONG, S. T. Y.; CHEN, W. Modeling the Relationship Between Land Use and Surface Water Quality. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 66, p. 377-393, 2002.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. Cenários da Gestão da Água no Brasil: Uma Contribuição para a Visão Mundial da Água, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 31-43, 2000.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptado a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias)**, v. 1, Belo Horizonte, MG, 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Ed. SAGRAC, 1995. v. 1.

WURBS, R. A.; JAMES, W. P. **Water resources engineering**. London: Prentice Hall, 2002.