



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DANILO FRANCISCO TROVO GAROFALO

**INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA ESPACIAL DOS GEOSISTEMAS NA
REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA: UM
ESTUDO DE CASO NA ATA BACIA DO PIRACICABA-JAGUARI,
SUDESTE DO BRASIL**

CAMPINAS

2017

DANILO FRANCISCO TROVO GAROFALO

**INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA ESPACIAL DOS GEOSISTEMAS NA
REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA: UM
ESTUDO DE CASO NA ATA BACIA DO PIRACICABA-JAGUARI,
SUDESTE DO BRASIL**

**TESE APRESENTADA AO INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
DOUTOR EM GEOGRAFIA, NA ÁREA DE ANÁLISE
AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL.**

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCOS CÉSAR FERREIRA

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA TESE DEFENDIDA PELO ALUNO
DANILO FRANCISCO TROVO GAROFALO, E
ORIENTADA PELO PROF. DR. MARCOS CÉSAR
FERREIRA**

CAMPINAS

2017

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Marta dos Santos - CRB 8/5892

G19i Garofalo, Danilo Francisco Trovo, 1986-
Influência da estrutura espacial dos geossistemas na regionalização dos parâmetros de qualidade da água : um estudo de caso na Alta Bacia do Piracicaba-Jaguari, sudeste do Brasil / Danilo Francisco Trovo Garofalo. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Marcos César Ferreira.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Bacias hidrográficas. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Análise espacial. 4. Água - Qualidade. 5. Jaguari, Rio, Bacia (MG e SP). I. Ferreira, Marcos César, 1957-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Influence of the spatial structure of the geosystems on the water quality parameters regionalization : a case study in the upper Piracicaba-Jaguari river watershed, southeastern of Brazil

Palavras-chave em inglês:

Watersheds

Geographic information systems

Spatial analysis

Water quality

Jaguari River Basin (MG e SP)

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Doutor em Geografia

Banca examinadora:

Marcos César Ferreira [Orientador]

Sueli Yoshinaga Pereira

Veraldo Liesenberg

Archimedes Perez Filho

Andréia Medinilha Pancher

Data de defesa: 07-12-2017

Programa de Pós-Graduação: Geografia



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

AUTOR: Danilo Francisco Trovo Garofalo

**INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA ESPACIAL DOS GEOSISTEMAS
NA REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA: UM
ESTUDO DE CASO NA ATA BACIA DO PIRACICABA-JAGUARI,
SUDESTE DO BRASIL**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcos Cesar Ferreira

Aprovado em: 07 / 12 / 2017

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Marcos Cesar Ferreira - Presidente

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

Dr. Veraldo Liesenberg

Dra. Andreia Medinilha Pancher

A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 07 de dezembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, permitindo assim a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcos César Ferreira, pelo privilégio de sua impecável orientação, pela confiança depositada em mais um trabalho e, principalmente, pela amizade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo auxílio financeiro concedido a esta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Unicamp, pela estrutura, acolhida e conhecimentos adquiridos.

Aos professores e professoras, membros da banca examinadora, Dra. Sueli Yoshinaga Pereira, Dr. Archimedes Perez Filho, Dra. Andréia Midinilha Panher e Dr. Veraldo Liesenberg, pela participação, correções e sugestões.

À Professora Dra. Sueli Yoshinaga Pereira e ao Professor Dr. Marcelo Latuf, pela participação, correções e sugestões durante o exame de qualificação.

Ao Assessor ad-hoc da FAPESP, pelas recomendações nos pareceres dos relatórios científicos.

À minha namorada Ingrid, que esteve presente ao longo de todo o desenvolvimento desta pesquisa, auxiliando com ideias e sugestões.

Aos amigos e amigas, Cassiano G. Messias, Talytha Accioly S. Coelho, Joaquim E. Bernardes Ayer, Elcio Soares Marinho, Giovani Bino Rodrigues, Gilberto Victor Coradi e Raquel Ghazal, pela ajuda durante os trabalhos de campo.

Ao amigo Dr. Mateus Neves Barreto, pela ajuda nas análises estatísticas por aprendizado de máquina.

Aos funcionários e professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, em especial à Valdirene Pinotti, Maria Gorete Bernardelli, Valdir F. Olivieri, Ana Beatriz L. Silva e Cristina A. Moraes (Secretaria de Pós-graduação) e Edinalva de Novais Schultz, Elcio Soares Marinho e Antônio Guerreiro (Seção de Infraestrutura Operacional e Manutenção), pela presteza, eficiência e amizade.

Aos amigos e amigas, Joaquim E. Bernardes Ayer, Mateus Neves Barreto, Cassiano G. Messias, Vinícius B. Moreira, Marco A. Rodrigues, Fernanda Otero, Lucas Baldoni, Maico D.

Machado, Talytha Accioly S. Coelho, Giovani Bino Rodrigues, André dos S. Ribeiro, Edvaldo Ferreira e Talita Prates, pelo companheirismo, amizade, e sábias discussões.

À minha mãe, Márcia Aparecida Trovó, pelo exemplo, dedicação e carinho.

Aos meus afilhados, Diego e Tais, pela motivação de sempre seguir em frente.

À minha família, base da minha vida, que sempre me apoiou para que eu atingisse as minhas metas.

Aos colegas do Instituto de Geociências, pelos ensinamentos, momentos de descontração e amizade.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

A composição físico-química e microbiológica das águas de um determinado curso d'água é condicionada pelas características geomorfológicas, geológicas, pedológicas, climáticas, vegetação natural e pelos padrões de uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica correspondente. A qualidade da água pode ser analisada checando-se diferentes parâmetros. Todavia, em virtude do alto custo, análises periódicas de parâmetros de qualidade das águas (PQA) são realizadas apenas para uma pequena parcela dos corpos d'água brasileiros. Portanto, a busca por técnicas e métodos alternativos à análise *in situ*, que possibilitem a predição de valores de PQA é pertinente e atual. Esta tese de doutorado apresenta um procedimento metodológico para regionalização de parâmetros de qualidade da água de sub-bacias hidrográficas sem monitoramento *in situ*. O procedimento baseia-se no cálculo de valores de características biofisiográficas da paisagem de sub-bacias (4ª ordem), realizada por meio de técnicas de análise espacial e de dados de sensoriamento remoto, integrados a dados de qualidade da água obtidos a partir de métodos de regressão. A área de estudo selecionada é a alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (Bacia PJ), localizada no sul do Estado de Minas Gerais. A predição sugerida foi baseada no levantamento de 27 variáveis biofisiográficas (variáveis explicativas) para 44 sub-bacias e de 12 PQA (variáveis resposta), aferidos em 12 sub-bacias, em triplicata, nas quatro estações do ano, totalizando 144 análises para cada um dos PQA. Um total de 120 amostras foram reservadas para treinamento (83,33%) e 24 para validação (16,67%). Os algoritmos *Support Vector Regression* (SVR) e *K Nearest Neighbors Regression* (K-NNR) foram utilizados como modelos preditores para se estimar valores dos PQA, para 32 sub-bacias. O desempenho dos modelos SVR e k-NN foi avaliado utilizando o erro médio absoluto, o erro médio percentual absoluto e o coeficiente de determinação (R^2). Os resultados mostraram que o modelo K-NNR apresentou o melhor desempenho. Posteriormente, foram mapeadas regiões de qualidade de água (RQA) compostas por grupos homogêneos de sub-bacias hidrográficas, baseadas no conjunto de características formadas pelos PQA e por variáveis biofisiográficas, das 44 sub-bacias analisadas. O procedimento para a análise dos grupos homogêneos de sub-bacias (RQA) seguiu os pressupostos do método hierárquico de Ward. O número de RQA foi definido com a aplicação do método do índice de silhueta. Como resultado final da metodologia proposta, são apresentados dois níveis de regionalização das sub-bacias hidrográficas da Bacia PJ, um composto por duas RQA e outro composto por três RQA. A Região I é ocupada em sua maioria por florestas e suas sub-bacia, tanto no período seco quando no chuvoso, são as que mais apresentaram valores dos PQA em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357, de 2005. De modo geral, as Regiões II e III são ocupadas por cultivos agrícolas e pastagens, entremeados a fragmentos florestais, além de núcleos urbanos. As sub-bacias das Regiões II e III foram as que mais apresentaram PQA em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357, de 2005. Ao propor um método capaz de descrever padrões de qualidade da água em sub-bacias hidrográficas que não dispõem de monitoramento periódico, como é o caso de regiões brasileiras, este trabalho se configura em uma contribuição à gestão de recursos hídricos em áreas de mananciais.

Palavras-chaves: bacias hidrográficas, alto Piracicaba-Jaguari, geossistemas, análise espacial, qualidade da água, regionalização, hidrografia.

ABSTRACT

The physical, chemical and biological composition of water from a certain river system is driven by its geomorphological, geological, pedological, climate, natural vegetation as well as by the land use and land cover patterns of the selected watershed. The water quality can be checked by analyzing different water quality parameters (PQA). However, due to the high cost involved, frequent analyzes of the different water quality parameters are performed only for a given number of Brazilian river systems. Therefore, there is a current need for both techniques and alternative methods for analyzing the water quality parameters. This doctoral dissertation presents a methodological procedure to forecast, to spatialize and to regionalize water quality parameters in small watersheds without in-situ measurements. This procedure was performed by quantifying biophysiological characteristics of watersheds (4st order basins) by using spatial analysis and remote sensing techniques, integrating water quality parameter data from regression methods. The selected study area is the high Piracicaba-Jaguari river watershed, located in the southern part of the Minas Gerais State. Belonging to the Cantareira System, this particular watershed encompasses the main spring sources of the Piracicaba River - of great importance for the water supply of several cities of the São Paulo State and the metropolitan region of the São Paulo city itself. The suggested prediction was based on the survey of 27 biophysiological variables (explanatory variables) in 44 small watersheds and 12 water quality parameters (response variables) validated in 12 watersheds, in triplicate, in four seasons during the year, accounting therefore for 144 analyzes for each water quality parameter. A total of 120 samples were selected for training (83.33%) and 24 for validation (16.67%). The non-parametric regression algorithms such as the Support Vector Regression (SVR) and K-Nearest Neighbors Regression (K-NNR) were used as predictor models to estimate PQA values for the 32 small watersheds. The performance of the SVR and k-NN models was evaluated using the mean absolute error, the mean absolute percentage error, and the coefficient of determination (R^2). The results show that the K-NNR model presented the best performance. The results also show that the regression models highlighted the ability to identify water quality parameters from biophysiological variables. After, water quality regions from similar small watershed groups were mapped based on the set of characteristics of the water quality parameters and the biophysiological variables of the 44 small watersheds. For the water quality region, correlational similarity and distances were used. The assumptions of the Ward's hierarchical method were used for the analysis of the homogeneous groups of watershed.

Keywords: High Piracicaba-Jaguari river watershed, geosystems, spatial analysis, water quality, regionalization, hydrography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Mapa de localização da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG) e seus respectivos municípios.	32
Figura 2.2 - Mapa Altimétrico da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG) e seus respectivos domínios fisiográficos.	34
Figura 2.3 - Mapa Geológico da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG).	35
Figura 2.4 - Geossistemas da APA Fernão Dias com destaque à Bacia PJ.....	39
Figura 2.5 - Arrecadação por setor da economia em municípios da Bacia PJ. Fonte: modificado de IBGE Cidades (acessado em 11/04/2017). Org.: Garofalo, 2017.	41
Figura 2.6 - Diagrama da área ocupada por cultivos agrícolas e silvicultura nos municípios integrantes da Bacia PJ. Fonte: IBGE Cidades - http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1 , acessado em 11/04/2017. Org.: Garofalo, 2017.	43
Figura 2.7 - Diagrama da distribuição da população urbana e rural nos municípios integrantes da Bacia PJ - MG.....	45
Figura 2.8 - Proporção de população rural e urbana em 2010, nos municípios inseridos na Bacia PJ. Org.: Garofalo, 2017.....	46
Figura 2.9 - Densidade demográfica por setores censitários dos municípios da Bacia PJ – MG, em 2010. FONTE: IBGE (2011).....	46
Figura 2.10 - Gráfico dos volume captado e consumido e lançamento de carga orgânica por segmento de usuários nos municípios da Bacia PJ, no ano de 2016.	53
Figura 2.11 - Gráfico dos volume captado e consumido e lançamento de carga orgânica por segmento na Bacia PJ, no ano de 2016.....	54
Figura 4.1 - Fluxograma síntese do procedimento metodológico utilizado nessa pesquisa....	84
Figura 4.2 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia PJ.	86
Figura 4.3 - Mapa das isolinhas da Bacia PJ (equidistância de 20 m).	87
Figura 4.4 - Mapa do relevo sombreado da Bacia PJ.....	88
Figura 4.5 - Combinação das curvaturas vertical e horizontal para caracterização das formas de terreno. Fonte: Modificado de Dikau (1990) apud Valeriano et al. (2008).....	90
Figura 4.6 - Mapa da distribuição da chuva na Bacia PJ em quatro períodos trimestrais: (A) dezembro, janeiro e fevereiro; (B) março, abril e maio; (C) junho, julho e agosto; (D) setembro, outubro e novembro. Modificado de PINTO et al., 2011.	99
Figura 4.7 - Quadro Índice para leitura de NMP no dispositivo iMPNplate™-1600. Fonte: AEMTEK iMPNplate™-1600 User Manual and MPN Table v.1, 2012.	107

Figura 5.1 - Mapa de hierarquia fluvial das sub-bacias da Bacia PJ. Os números indicam o código de cada sub-bacia.....	113
Figura 5.2. Mapa clinométrico do relevo da Bacia PJ, e suas respectivas sub-bacias hidrográficas.....	114
Figura 5.3 - Mapas do percentual em área ocupada por classe clinométrica em cada sub-bacia.....	116
Figura 5.4 - Mapa de curvatura vertical do terreno na Bacia PJ.	117
Figura 5.5 - Mapa de curvatura horizontal do terreno na Bacia PJ.....	118
Figura 5.6 - Mapas do percentual em área ocupada por classe de forma do terreno.....	120
Figura 5.7 - Mapas de parâmetros morfométricos calculados para as sub-bacias.....	123
Figura 5.8 - Perfil espectral das classes de uso da terra identificadas na Bacia PJ.	125
Figura 5.9 - Coleção de mapas de uso da terra e cobertura vegetal da Bacia PJ – MG, conforme os classificadores SVM (A) e K-NN (B).	127
Figura 5.10 - Mapa de áreas em discordância entre as classificações SVM e K-NN.	130
Figura 5.11 - Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG), e suas respectivas sub-bacias hidrográficas.....	132
Figura 5.12 - Mapa síntese de uso da terra e cobertura vegetal da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG), e suas respectivas sub-bacias hidrográficas.	135
Figura 5.13 - Cartogramas de proporção de área (%) ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal.....	136
Figura 5.14 - Mapa de vias de circulação da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG), e suas respectivas sub-bacias hidrográficas.	138
Figura 5.15. Mapa de Geossistemas e sub-bacias hidrográficas da Bacia PJ, com destaque as sub-bacias hachuradas, as quais foram amostradas.	140
Figura 5.16 - Itinerário realizado em cada uma das campanhas de amostragem: A) campanha de amostragem 1; B) campanha de amostragem 2; e C) campanha de amostragem 3.....	140
Figura 5.17 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e Perfil Longitudinal do canal principal (D) da sub-bacia do córrego da Bela Vista (Sub-bacia2).	142
Figura 5.18 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e Perfil Longitudinal do canal principal da sub-bacia do córrego do Campestre (Sub-bacia 6).	144
Figura 5.19 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do ribeirão do Juncal (Sub-bacia 11). .	146

Figura 5.20 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do ribeirão Sertão Grande (Sub-bacia 16).	148
Figura 5.21 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do rio Camanducaia (Sub-bacia 25)....	150
Figura 5.22 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do ribeirão do Campestre (Sub-bacia 20).	152
Figura 5.23 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do ribeirão das Posses (Sub-bacia 42).	154
Figura 5.24 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do córrego do Salto de Cima (Sub-bacia 41).....	156
Figura 5.25 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do córrego da Minhoca (Sub-bacia 34).	158
Figura 5.26 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do ribeirão dos Poncianos (Sub-bacia 31).	160
Figura 5.27 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do córrego Campo Verde (Sub-bacia29).	162
Figura 5.28 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do rio Jaguari (Sub-bacia 28).	164
Figura 5.29 - Mapas de precipitação acumulada durante os cinco dias precedentes às campanhas de amostragem realizadas no período seco (Inverno).....	165
Figura 5.30 - Mapas de precipitação acumulada durante os cinco dias precedentes às campanhas de amostragem realizadas no período chuvoso (Verão).	167
Figura 5.31 - Mapas de precipitação acumulada durante os cinco dias precedentes às campanhas de amostragem realizadas no período intermediário 1 (Outono).....	168
Figura 5.32 - Mapas de precipitação acumulada durante os cinco dias precedentes às campanhas de amostragem realizadas no período intermediário 2 (Primavera).	170

Figura 5.33 - Mapa da temperatura da água superficial do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.....	173
Figura 5.34 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade dos valores* da temperatura das águas em cada sub-bacia. * 4 períodos sazonais.	174
Figura 5.35 - Curso d'água referente ao ponto 2, desprovido de APP e altitude de 1078 m (20,21°C) (A); Curso d'água referente ao ponto 9, com APP e altitude de 1527 m (13,02°C) (B). Período intermediário II, outubro de 2016.	174
Figura 5.36 - Mapa da temperatura média anual da água superficial do canal principal das sub-bacias amostradas; e gráfico de tendência.	174
Figura 5.37 - Mapa da CE da água superficial do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.....	175
Figura 5.38 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade da CE das águas das sub-bacia amostradas.	176
Figura 5.39 - Mapa da condutividade elétrica média anual da água superficial do canal principal das sub-bacias amostradas; e gráfico de tendência.	176
Figura 5.40 - Mapa da turbidez das águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos; e gráficos de tendência da variável por período.....	177
Figura 5.41 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade dos valores* da temperatura das águas em cada sub-bacia. * 4 períodos sazonais.	178
Figura 5.42 - Curso d'água referente aos Pontos 2 (A) e 10 (B).....	178
Figura 5.43 - Mapa da turbidez média anual das águas do canal principal das sub-bacias amostradas; e gráfico de tendência.	178
Figura 5.44 - Mapa de TSD nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.....	179
Figura 5.45 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade* de TSD nas águas das sub-bacia amostradas nos quatro períodos. * 4 períodos sazonais.	180
Figura 5.46 - Mapa da concentração média anual de TSD das águas do canal principal das sub-bacias amostradas; e gráfico de tendência.	180

Figura 5.47 - Mapa do pH das águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.....	181
Figura 5.48 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade de pH* das águas das sub-bacia amostradas nos quatro períodos. * 4 períodos sazonais.	182
Figura 5.49 - Mapa do pH médio anual das águas do canal principal das sub-bacias amostradas e gráfico de tendência.	182
Figura 5.50 - Mapa da concentração de OD nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.....	183
Figura 5.51 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade de OD das águas das sub-bacia amostradas nos quatro períodos.....	184
Figura 5.52 - Mapa da concentração média anual de OD das águas superficiais do canal principal das sub-bacias amostradas; e gráfico de tendência.	184
Figura 5.53 - Mapa da concentração de nitrato nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável.	185
Figura 5.54 - Gráfico boxplot mostrando a variabilidade do nitrato* das águas das sub-bacia amostradas nos quatro períodos. * 4 períodos sazonais.	186
Figura 5.55 - Mapa da concentração média anual de nitrato nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas e gráfico e tendência.	186
Figura 5.56 - Mapa da concentração de cloreto nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável.	187
Figura 5.57 - Gráfico boxplot da variabilidade do cloreto das águas das sub-bacia nos quatro períodos.	188
Figura 5.58 - Mapa da concentração de cloreto nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas e gráfico de tendência.	188
Figura 5.59 - Mapa do NMP de <i>E. coli</i> nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.....	189
Figura 5.60 - Gráfico boxplot da variabilidade de <i>E. coli</i> das águas das sub-bacia nos quatro períodos.	190

Figura 5.61 - Mapa do NMP de <i>E. coli</i> nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas e gráfico de tendência.....	190
Figura 5.62 - Extrapolações dos PQA obtidas para 34 sub-bacias, para 4 períodos sazonais, pelo Modelo 1 (K-NNR), além dos valores medidos em campo para 10 sub-bacias, usadas no treinamento deste modelo.....	193
Figura 5.63 - Extrapolações dos PQA obtidas para 34 sub-bacias, para cada período sazonal, pelo Modelo 2 (SVR), além dos valores medidos em campo para 10 sub-bacias, usadas no treinamento deste modelo.....	195
Figura 5.64 - Extrapolações dos PQA obtidas para 32 sub-bacias, para 4 períodos sazonais, pelo método K-NNR, além dos valores medidos em campo para 12 sub-bacias, utilizadas no treinamento deste modelo.....	200
Figura 5.65 - Mapas de concentração dos parâmetros de qualidade da água nas sub-bacias da Bacia PJ para período Seco (Inverno).	202
Figura 5.66 - Mapas de concentração dos parâmetros de qualidade da água nas sub-bacias da Bacia PJ para período Chuvoso (Verão).....	203
Figura 5.67 - Mapas de concentração dos parâmetros de qualidade da água nas sub-bacias da Bacia PJ para período Intermediário I (Outono).	204
Figura 5.68 - Mapas de concentração dos parâmetros de qualidade da água nas sub-bacias da Bacia PJ para período Intermediário II (Primavera).....	205
Figura 5.69 - Mapa dos geossistemas e sub-bacias hidrográficas do alto rio Piracicaba-Jaguari – MG, com destaque as sub-bacias hachuradas, as quais foram utilizadas na validação do modelo composto.....	206
Figura 5.70 - Análise de silhueta para o agrupamento realizado pelo método de Ward.....	208
Figura 5.71 - Regiões de qualidade da água da Bacia PJ, representadas em dois clusters....	209
Figura 5.72 – Remanescente de Floresta Ombrófila Densa – sub-bacia 33. (Fonte: Moretti, 2011).....	210
Figura 5.73 – Remanescente de Floresta Ombrófila Mista – sub-bacia 26.....	210
Figura 5.74 – Estrada sob remanescente de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana – sub-bacia 31.....	210
Figura 5.75 – Epífitas (barba-de-velho, samambaia e bromélia) pendente em galhos e ramos – sub-bacia 31.....	210
Figura 5.76 – Trecho de curso d’água com mata ciliar parcialmente preservada – sub-bacia 31.....	210
Figura 5.77 – Trecho de curso d’água com mata ciliar preservada – sub-bacia 26.	210

Figura 5.78 – Remanescente de floresta ombrófila densa (primeiro plano) e cultivo de eucalipto, ao fundo.	211
Figura 5.79 – Remanescente de floresta ombrófila mista (primeiro plano) e eucalipto (segundo plano).	211
Figura 5.80 – Bairro Bom Jardim – sub-bacia 31.	211
Figura 5.81 – Ribeirão Monte Verte, com Serra dos Poncianos ao fundo – sub-bacia 33....	211
Figura 5.82 – Extensas áreas ocupadas por pastagem e grande parcela de eucalipto (canto superior direito) – sub-bacia 02.	212
Figura 5.83 – Pastagem, fragmento de floresta estacional semidecídua e cultivos de milho e repolho – sub-bacia 02.....	212
Figura 5.84 – Solo preparado para cultivo (primeiro plano), cultivos de milho e repolho (segundo plano) e pastagens, ao fundo – sub-bacia 03, mês de outubro.	212
Figura 5.85 – Fragmento de floresta estacional semidecídua e cultivos agrícolas ao fundo – sub-bacia 03.....	212
Figura 5.86 – Pastagem em colina ampla e fundo de vale com mata ciliar conservada – sub-bacia 03.....	213
Figura 5.87 – Vegetação secundária e bairro rural ao fundo – sub-bacia 10.	213
Figura 5.88 – Cultivo de repolho – sub-bacia 25.	213
Figura 5.89 – Fragmentos de Floresta Omb. Densa entremeados por cultivos de eucalipto – sub-bacia 25.....	213
Figura 5.90 – Bairro rural dos Tenentes – sub-bacia 09.	213
Figura 5.91 – Mata ciliar degradada, com erosão de margem devido ao pisoteio do gado – sub-bacia 02.....	213
Figura 5.92 – Pastagem degradada e área urbana do município de Camanducaia, ao fundo – sub-bacia 20.....	213
Figura 5.93 – Pastagem degradada em relevo de morro, com ocorrência de ravinas – sub-bacia 42.....	213
Figura 5.94 – Fundo de vale com supressão da mata ciliar, com por pastagem degradada destinada à criação de bovinos – sub-bacia 20.	214
Figura 5.95 – Colina ocupada por pastagem e fragmentos de floresta estacional semidecídua, às margens da Rodovia Fernão Dias – sub-bacia 21.	214
Figura 5.96 – Trecho de canal principal da sub-bacia 20, com supressão de mata ciliar.....	214
Figura 5.97 – Bairro rural Sertãozinho, com residências dentro dos limites das áreas de preservação permanente – sub-bacia 16.	214

Figura 5.98 - Regiões de qualidade da água da Bacia PJ, representadas em três regiões.214

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Arrecadação por setor da economia e produto interno bruto (PIB), por município da Bacia PJ.	41
Tabela 2.2 - Evolução dos setores econômicos dos municípios da Bacia JC entre 2005 e 2014.	42
Tabela 2.3 - Área ocupada por pastagens nos municípios integrantes da Bacia PJ.....	42
Tabela 2.4 - Área ocupada por cultivos agrícolas e silvicultura nos municípios integrantes da Bacia PJ.	43
Tabela 2.5 - População urbana, rural e total, e respectivos percentuais, em municípios integrantes da Bacia PJ, para os anos de 1991, 2000 e 2010.....	44
Tabela 2.6 - Tipo de abastecimento de água nos domicílios dos municípios da Bacia PJ em valores percentuais.	47
Tabela 2.7 - Destinação dos lixos domésticos nos municípios da Bacia PJ em valores percentuais.....	48
Tabela 2.8 - Destino dos efluentes domésticos nos municípios da Bacia PJ.....	50
Tabela 2.9 - Usuários de água ativos em cobrança, por segmento, nos municípios da Bacia PJ.	51
Tabela 2.10 - Volume captado e consumido e lançamento de carga orgânica por segmento de usuários nos municípios da Bacia PJ, no ano de 2016.	52
Tabela 2.11 - Volume captado e consumido e lançamento de carga orgânica por segmento na Bacia PJ, no ano de 2016.....	53
Tabela 4.1 - Materiais cartográficos utilizados durante a pesquisa.	81
Tabela 4.2 - Classes de declividade conforme proposto por EMBRAPA, 2004.....	89
Tabela 4.3 - Características das imagens obtidas pelas diferentes bandas do sensor OLI – LDCM.....	92
Tabela 4.4 - Variáveis explicativas utilizadas nos modelos de regressão e respectivos parâmetros e unidades de medida.	108
Tabela 4.5 - Variáveis resposta utilizadas nos modelos de regressão e respectivos parâmetros de qualidade da água.....	109
Tabela 5.1 - Classes de declividade segundo o método de classificação da EMBRAPA (2004).	114
Tabela 5.2 - Proporção em área das sub-bacias ocupada por classe de declividade do relevo.	115

Tabela 5.3 - Área das classes de forma do terreno por km ² e por proporções percentuais da área total da Bacia PJ.....	118
Tabela 5.4 - Proporção de área das sub-bacias ocupada por classe de forma do terreno.	119
Tabela 5.5 - Dados básicos das bacias hidrográficas e dos canais de drenagem analisados.	121
Tabela 5.6 - Parâmetros morfométricos que definem a densidade de drenagem e as características do relevo nas sub-bacias analisadas.....	122
Tabela 5.7 - Área das classes identificadas e suas proporções em porcentagem de acordo com os classificadores SVM e K-NN.....	126
Tabela 5.8 - Matrizes de Erro dos classificadores SVM (A.) 3 K-NN (B.), para as diferentes classes de uso da terra e cobertura vegetal na Bacia PJ – MG. Os valores em linha representam a performance do classificador enquanto que as colunas a referência.....	129
Tabela 5.9 - Proporção de área das sub-bacias ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal.....	133
Tabela 5.10 - Proporção de área das sub-bacias ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal, agrupadas.	134
Tabela 5.11 - Extensão viária e densidade de vias de circulação das sub-bacias da Bacia PJ.	139
Tabela 5.12 - Média dos valores dos parâmetros de qualidade de água no Inverno.	166
Tabela 5.13 - Média dos valores dos parâmetros de qualidade de água no Verão.	168
Tabela 5.14 - Média dos valores dos parâmetros de qualidade de água no Outono.....	169
Tabela 5.15 - Média dos valores dos parâmetros de qualidade de água na Primavera.....	171
Tabela 5.16 - Média anual dos valores dos parâmetros de qualidade das águas das sub-bacias da Bacia PJ.	171
Tabela 5.17 - Erro médio absoluto apresentado pelo método K-NNR na extrapolação dos PQA das sub-bacias 02 e 29.	191
Tabela 5.18 - Erro médio percentual absoluto apresentado pelo método K-NNR na extrapolação dos PQA das sub-bacias 02 e 29.	191
Tabela 5.19 - Erro médio absoluto apresentado pelo método SVR na extrapolação dos PQA das sub-bacias 02 e 29.	194
Tabela 5.20 - Erro médio percentual absoluto apresentado pelo método SVR na extrapolação dos PQA das sub-bacias 02 e 29.....	194
Tabela 5.21 - Erro médio percentual absoluto apresentado pelos métodos SVR e K-NNR na extrapolação dos PQA.	196

Tabela 5.22 - Erro médio absoluto apresentado pelos métodos SVR e K-NNR na extrapolação dos PQA.	196
Tabela 5.23 - Diferença entre o maior e menor por sub-bacia e período sazonal e média das diferenças.	197
Tabela 5.24 - Coeficiente de determinação (R^2) entre os valores observados e os valores extrapolados pelos modelos K-NNR e SVR	198
Tabela 5.25 - Diferença entre os valores aferidos no campo realizados nos dias 5 e 6 de junho de 2017 com os valores extrapolados para cada período sazonal.....	207

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Geossistemas e geofácies da APA Fernão Dias.....	39
Quadro 4.1 - Materiais utilizados na medição dos parâmetros de qualidade da água.....	82
Quadro 4.2 - Atributos morfométricos empregados na caracterização das sub-bacias, equação empregada no cálculo, e respectivas características.....	91
Quadro 4.3 - Faixas de medidas das concentrações dos parâmetros de qualidade da água dos materiais/métodos empregados, limites e teores máximos de concentração permitidos para águas das classes 1 e 2 (Brasil, 2005) e breve descrição dos sensores de medição.	103
Quadro 4.4 - Procedimentos realizados durante as campanhas de amostragem.	104
Quadro 4.5 - Procedimentos realizados na análise microbiológica.	106
Quadro 5.1 - Fotografias do local de coleta /análise do Ponto 1.....	141
Quadro 5.2 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 2.....	143
Quadro 5.3 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 3.....	145
Quadro 5.4 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 4.....	147
Quadro 5.5 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 5.....	149
Quadro 5.6 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 6.....	151
Quadro 5.7 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 7.....	153
Quadro 5.8 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 8.....	155
Quadro 5.9 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 9.....	157
Quadro 5.10 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 10.....	159
Quadro 5.11 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 11.....	161
Quadro 5.12 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 12.....	163
Quadro 5.13 - Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água referente à média anual.....	172

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APHA	<i>American Public Health Association</i>
APP	Área de Preservação Permanente
ASTER GDEM	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model</i>
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cm	Coefficiente de manutenção
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CT	Coliformes totais
DBO	Demanda biológica de oxigênio
Dd	Densidade de drenagem
Dh	Densidade hidrográfica
DQO	Demanda química de oxigênio
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EPS	Extensão do percurso superficial
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
GPM	<i>Global Precipitation Mission</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	Índice de Qualidade de Água
Ir	Índice de Rugosidade
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>

k-NNR	<i>K Nearest Neighbors Regression</i>
k-NNR	<i>K Nearest Neighbors</i>
Landsat	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LDCM	<i>Landsat Data Continuity Mission</i>
MAE	<i>Mean absolute error</i>
MAPE	<i>Mean absolute percentage error</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
METI	<i>Ministry of Economy, Trade and Industry</i>
MRL	<i>Multiple Linear Regression</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NBR	Normas Brasileiras
NMP	Número mais provável
NSF	<i>National Sanitation Foundation</i>
OD	Oxigênio dissolvido
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
pH	Potencial hidrogeniônico
ppm	Parte por milhão
PQA	Parâmetros de qualidade da água
RMSE	<i>Root-mean-square error</i>
RQA	Regiões de qualidade da água
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SIAB	Sistema de Informação da Atenção Básica
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
SVR	<i>Support Vector Regression</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
TSD	Total de sólidos dissolvidos
Tt	Textura topográfica
UNT	Unidades nefelométricas de turbidez
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	29
1.1 Apresentação.....	29
1.2 Hipótese	31
1.3 Objetivo geral	31
1.3.1 Objetivos específicos.....	31
2. ÁREA DE ESTUDO	32
2.1 Localização da área de estudo.....	32
2.2 Caracterização biofisiográfica	33
2.2.1 Geomorfologia e Geologia.....	33
2.2.2 Hidrografia	35
2.2.3 Clima	36
2.2.4 Vegetação	37
2.2.5 Unidades de Paisagem.....	38
2.3 Dinâmica socioeconômica	40
2.3.1 Dinâmica econômica	40
2.3.2 Dinâmica demográfica	44
2.4 Saneamento básico.....	47
2.4.1 Abastecimento de água nos domicílios	47
2.4.2 Destinação dos resíduos sólidos domésticos.....	48
2.4.3 Destinação dos efluentes domésticos	49
2.5 Demandas de água na Bacia PJ.....	50
2.6 Projeto “Conservador das Águas”	54
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	56
3.1 Apresentação.....	56
3.2 Características físicas, químicas e biológicas de águas superficiais.....	56
3.2.1 Propriedades físicas.....	56
3.2.1.1 Temperatura.....	56
3.2.1.2 Condutividade Elétrica	57
3.2.1.3 Turbidez.....	58

3.2.1.4 Total de Sólidos Dissolvidos (TSD).....	58
3.2.2 Propriedades químicas.....	59
3.2.2.1 pH.....	59
3.2.2.2 Oxigênio dissolvido.....	60
3.2.2.3 Nitrogênio/nitrato.....	61
3.2.2.4 Cloreto.....	62
3.2.3 Propriedades biológicas – Coliformes totais e <i>E. coli</i>	63
3.4 – Relação entre estrutura espacial da paisagem e padrão de qualidade de água.....	64
3.4.1 Variáveis fisiográficas das bacias hidrográfica.....	65
3.4.2 Variáveis de uso da terra e cobertura florestal.....	67
3.5 – Extrapolação de parâmetros de qualidade da água.....	71
3.6 – Formação de Regiões de Qualidade da água a partir do agrupamento de sub-bacias hidrográficas.....	73
3.7 Análise Geoespacial e Sensoriamento Remoto.....	76
3.7.1 Modelos Digitais de Elevação (MDE).....	76
3.7.2 Aplicação de classificadores digitais no mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal.....	79
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	81
4.1 Material.....	81
4.1.1 Base cartográfica.....	81
4.1.2 Softwares destinados à análise geoespacial.....	81
4.1.3 Material destinado à aferição de PQA.....	82
4.2 Metodologia.....	82
4.3 Técnicas utilizadas.....	85
4.3.1 Cálculo das variáveis biofisiográficas.....	85
4.3.1.1 Delimitação das sub-bacias hidrográficas da Bacia PJ.....	85
4.3.1.2 Cálculo da clinometria do relevo.....	88
4.3.1.3 Cálculo da forma do terreno.....	89
4.3.1.4 Cálculo dos parâmetros morfométricos.....	90

4.3.1.5 Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal	91
4.3.1.6 Mapeamento da densidade de vias de circulação	96
4.3.2 Análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água superficial do canal principal de sub-bacias hidrográficas	96
4.3.2.1 Delineamento amostral	97
4.3.2.2 Períodos sazonais de amostragem	98
4.3.2.3 Cálculo da entrada de água, por precipitação, nas sub-bacias.....	99
4.3.2.4 Procedimentos analíticos empregados na análise dos PQA	101
4.3.3 Extrapolação de parâmetros de qualidade da água e regionalização de sub-bacias hidrográficas.....	107
4.3.3.1 Extrapolação de parâmetros de qualidade da água.....	107
4.3.3.1.1 Modelos de extrapolação	107
4.3.3.1.2 Conjunto de dados	108
4.3.3.1.3 Variáveis resposta – tratamento de dados ausentes	109
4.3.3.1.4 Variáveis resposta – subdivisão para treinamento e teste.....	109
4.3.3.1.5 Modelo de extrapolação - <i>K-Nearest Neighbor Regressor</i> (K-NNR)	110
4.3.3.1.6 Modelo de extrapolação - <i>Support Vector Regression</i> (SVR).....	110
4.3.3.1.7 Análise do desempenho dos modelos	111
4.3.3.1.8 Modelo composto	111
4.3.3.2 O Método Ward aplicado na regionalização de sub-bacias hidrográficas.....	112
4.3.3.3 Determinação do número ideal de regiões de qualidade da água.....	112
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
5.1 Parâmetros biofisiográficos	113
5.1.1 Delimitação das sub-bacias hidrográficas	113
5.1.2 Clinometria do relevo.....	113
5.1.3 Forma do terreno	117
5.1.4 Parâmetros morfométricos	121
5.1.5 Uso da terra e cobertura vegetal da Bacia PJ	124
5.1.6 Densidade de vias de circulação.....	138

5.2 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água superficial do canal principal das sub-bacias hidrográficas amostradas	140
5.2.1 Sub-bacias amostradas e itinerário das campanhas de amostragem	140
5.2.2 Caracterização das sub-bacias amostradas	141
5.2.3 Parâmetros e indicadores de qualidade das águas	165
5.2.3.1 Inverno.....	165
5.2.3.2 Verão	166
5.2.3.3 Outono	168
5.2.3.4 Primavera.....	170
5.2.3.5 Média anual	171
5.2.4 Análise por parâmetro de qualidade da água	173
5.2.4.1 - Propriedades físicas.....	173
5.2.4.1.1 - Temperatura.....	173
5.2.4.1.2 Condutividade Elétrica	175
5.2.4.1.3 Turbidez	177
5.2.4.1.4 Total de Sólidos Dissolvidos (TSD)	179
5.2.4.2 Propriedades químicas.....	181
5.2.4.2.1 pH.....	181
5.2.4.2.2 Oxigênio dissolvido	183
5.2.4.2.3 Nitrato	185
5.2.4.2.4 Cloreto	187
5.2.4.3 Propriedades biológicas.....	189
5.2.4.3.1 <i>E. coli</i>	189
5.3 Extrapolação de parâmetros de qualidade da água	191
5.3.1 Modelo 1 - K-Nearest Neighbor regressor (K-NNR).....	191
5.3.2 Modelo 2 - Support Vector Regression (SVR)	194
5.3.3 Comparação do desempenho obtido pelos modelos K-NNR e SVR	196
5.3.4 Modelo 3	199
5.4 Regiões de qualidade da água da Bacia PJ	207

6. CONCLUSÕES	216
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	219
8. APÊNDICES	232
8.1 Apêndice 1	232
Apêndice A. Temperatura da água dos pontos amostrados, aferida em triplicata, por período de amostragem.	232
Apêndice B. Condutividade elétrica da água dos pontos amostrados, aferida em triplicata, por período de amostragem.....	232
Apêndice C. Turbidez da água dos pontos amostrados, aferido em triplicata, por período de amostragem.....	232
Apêndice D. TSD da água dos pontos amostrados, aferida em triplicata, por período de amostragem.....	233
Apêndice E. pH da água dos pontos amostrados, aferida em triplicata, por período de amostragem.....	233
Apêndice F. Oxigênio Dissolvido da água dos pontos amostrados, aferido em triplicata, por período de amostragem.	233
Apêndice G. Concentração de NO^3 da água dos pontos amostrados, aferido em triplicata, por período de amostragem.....	234
Apêndice H. Concentração de Cl^- da água dos pontos amostrados, aferido em triplicata, por período de amostragem.	234
Apêndice I. Coliformes totais da água dos pontos amostrados, por período de amostragem.....	234
Apêndice J. <i>E. coli</i> da água dos pontos amostrados, por período de amostragem.	234
8.2 Apêndice 2	235
Apêndice A. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo SVR para o período de Inverno.	235
Apêndice B. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo SVR para o período de Verão.....	236
Apêndice C. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo SVR para o período de Outono.....	237
Apêndice D. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo SVR para o período de Primavera.	238
8.3 Apêndice 3	239
Apêndice A. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR para o período de Inverno.....	239

Apêndice B. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR para o período de Verão.	240
Apêndice C. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR para o período de Outono.	241
Apêndice D. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR para o período de Primavera.	242
8.4 Apêndice 4	243
Apêndice A. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR com 12 sub-bacias de treinamento para o período de Inverno.	243
Apêndice B. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR com 12 sub-bacias de treinamento para o período de Verão.	244
Apêndice C. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR com 12 sub-bacias de treinamento para o período de Outono.	245
Apêndice D. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR com 12 sub-bacias de treinamento para o período de Primavera.	246
8.5 Apêndice 5	247
Apêndice A. Coeficiente de correlação (r) entre os PQA e as variáveis biofisiográficas. .	247

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O uso intensificado dos solos, os processos erosivos decorrentes da utilização acima da capacidade de suporte dos solos, a contaminação dos corpos hídricos de áreas agrícolas e/ou urbanas, e a logística envolvida na captação das águas superficiais, são alguns dos problemas estruturais que têm ocupado a atenção de gestores públicos e privados. O abastecimento hídrico em regiões metropolitanas tem exigido que a água seja trazida de áreas cada vez mais distantes, onerando o custo final da água a ser consumida. Além disto os corpos d'água são muitas vezes utilizados como receptores para os lançamentos de esgotos urbanos, efluentes industriais e águas de drenagens oriundas das áreas exploradas pela agropecuária (PALÁCIO, 2004; HIRATA, 2008; TUNDISI et al., 2016).

A composição físico-química e microbiológica das águas de um determinado rio é condicionada pelas características geomorfológicas, geológicas, pedológicas, climáticas, composição vegetal natural e pelo uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica correspondente (MATSUMURA TUNDISI, 2008; LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2014). Como um dos impactos do manejo e ocupação inadequados do uso da terra, associados às características naturais da bacia hidrográfica, destaca-se a alteração na composição microbiológica e físico-química das águas dos corpos hídricos. Estas alterações podem ser avaliadas por meio da análise e monitoramento de parâmetros de qualidade das águas superficiais (e.g. pH, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos, nitrato, cloreto, coliformes totais, etc.), importantes instrumentos para o planejamento e gestão de recursos hídricos.

Todavia, na maioria dos casos, estas análises são onerosas, a depender da frequência, quantidade de parâmetros aferidos, quantidade de corpos d'água e da acessibilidade a estes, além da quantidade de profissionais envolvidos. Em virtude disto, análises periódicas de parâmetros de qualidade das águas superficiais são realizadas apenas para uma pequena parcela dos corpos d'água brasileiros, geralmente aqueles de maior ordem. Dessa forma, a busca por alternativas complementares para a implementação de técnicas/métodos de predição de parâmetros de qualidade de água é pertinente e atual.

Neste contexto, técnicas de análise espacial e dados de sensoriamento remoto se configuram como importantes instrumentos para a extrapolação de parâmetros de qualidade das águas em sub-bacias desprovidas de análises periódicas de PQA. Estas técnicas permitem a inferência indireta do comportamento dos parâmetros hídricos a partir das características

fisiográficas e de uso da terra e cobertura vegetal das sub-bacias, que contribuem direta ou indiretamente pela composição físico-química e microbiológica das águas superficiais.

A relevância deste procedimento está na possibilidade de se conhecer a curva de concentração de PQA de uma população de sub-bacias sem dados disponíveis, a partir da relação entre dados de PQA medidos apenas para um grupo amostral de sub-bacias e suas características biofisiográficas (FERREIRA, 1991).

A regionalização de sub-bacias hidrográficas pode ser empregada para espacializar grupos (clusters) de sub-bacias hidrográficas com padrões de qualidade da água semelhantes entre si, com base em um conjunto de características formadas pelos parâmetros de qualidade da água e pelas variáveis biofisiográficas. Tal abordagem baseia-se nos conceitos integrados de unidade de paisagem apresentado por Bertrand (1972), e de geossistemas, formulado por Sotchava (1977, 1978). O geossistema destaca-se como a unidade mais importante de classificação da paisagem, pois as interdependências dos fenômenos são melhores vistas sob sua perspectiva, permitindo a análise das inter-relações dos componentes da paisagem (FERREIRA et al., 2008).

Dentro desta perspectiva, esta pesquisa de doutorado justifica-se como contribuição à predição e espacialização de PQA em sub-bacias hidrográficas sem monitoramento periódico, a partir da estrutura dos geossistemas terrestres.

É importante lembrar também, que a área onde foi desenvolvida esta pesquisa, a alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG), está inserida nos limites geográficos da APA Fernão Dias-MG, sendo esta, uma das principais justificativas que levou à criação e implantação da unidade de conservação, dada a significância da produção hídrica da região da serra da Mantiqueira.

1.2 Hipótese

Parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de sub-bacias hidrográficas que não possuem monitoramento periódico, podem ser estimados, de forma alternativa à análise *in situ*, a partir da quantificação de elementos constituintes da estrutura espacial da paisagem, definidos pela morfometria e morfologia do relevo, cobertura vegetal natural e uso e ocupação da terra das bacias hidrográficas.

1.3 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é apresentar um procedimento metodológico para extrapolação e regionalização de parâmetros de qualidade da água de sub-bacias hidrográficas não contempladas com coletas de amostras de água, baseado em quantificação de características biofisiográficas de sub-bacias, realizada por meio de técnicas de análise espacial, dados de sensoriamento remoto e mapas temáticos, integrados a dados de qualidade da água.

1.3.1 Objetivos específicos

- a) Caracterizar as variáveis biofisiográficas de sub-bacias da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG): uso da terra e cobertura vegetal, densidade de estradas, declividade das vertentes, curvatura vertical do terreno, curvatura horizontal do terreno e parâmetros morfométricos (densidade de drenagem, densidade hidrográfica, coeficiente de manutenção, extensão do percurso superficial, textura topográfica e índice de rugosidade);
- b) Medir e analisar parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas do canal principal de uma amostra composta por doze sub-bacias selecionadas dentro da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG) (pH, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, total de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, resistividade, salinidade, nitrato, cloreto, coliformes totais e *E. coli*); e
- c) Analisar a relação entre a estrutura espacial da paisagem e parâmetros de qualidade da água de sub-bacias e, propor uma regionalização dos parâmetros de qualidade da água (PQA) integrada aos geossistemas da área de estudo.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização da área de estudo

A área de estudo desta pesquisa de doutorado é formada pela alta bacia hidrográfica do rio Piracicaba-Jaguari (MG) (Bacia PJ) (2.1A), localizada na região meridional do Estado de Minas Gerais, junto à divisa com o Estado de São Paulo (Figura 2.1B). Esta área representa a porção da bacia hidrográfica do rio Piracicaba dentro dos limites geográficos do Estado de Minas Gerais (Figuras 2.1B e 2.1C). Com área de drenagem de aproximadamente 1.158 km², a Bacia PJ abrange integralmente os municípios de Extrema, Itapeva e Toledo e parte dos municípios de Camanducaia (94,3%) e Sapucaí-Mirim (37,5%) (Figura 2.1A).

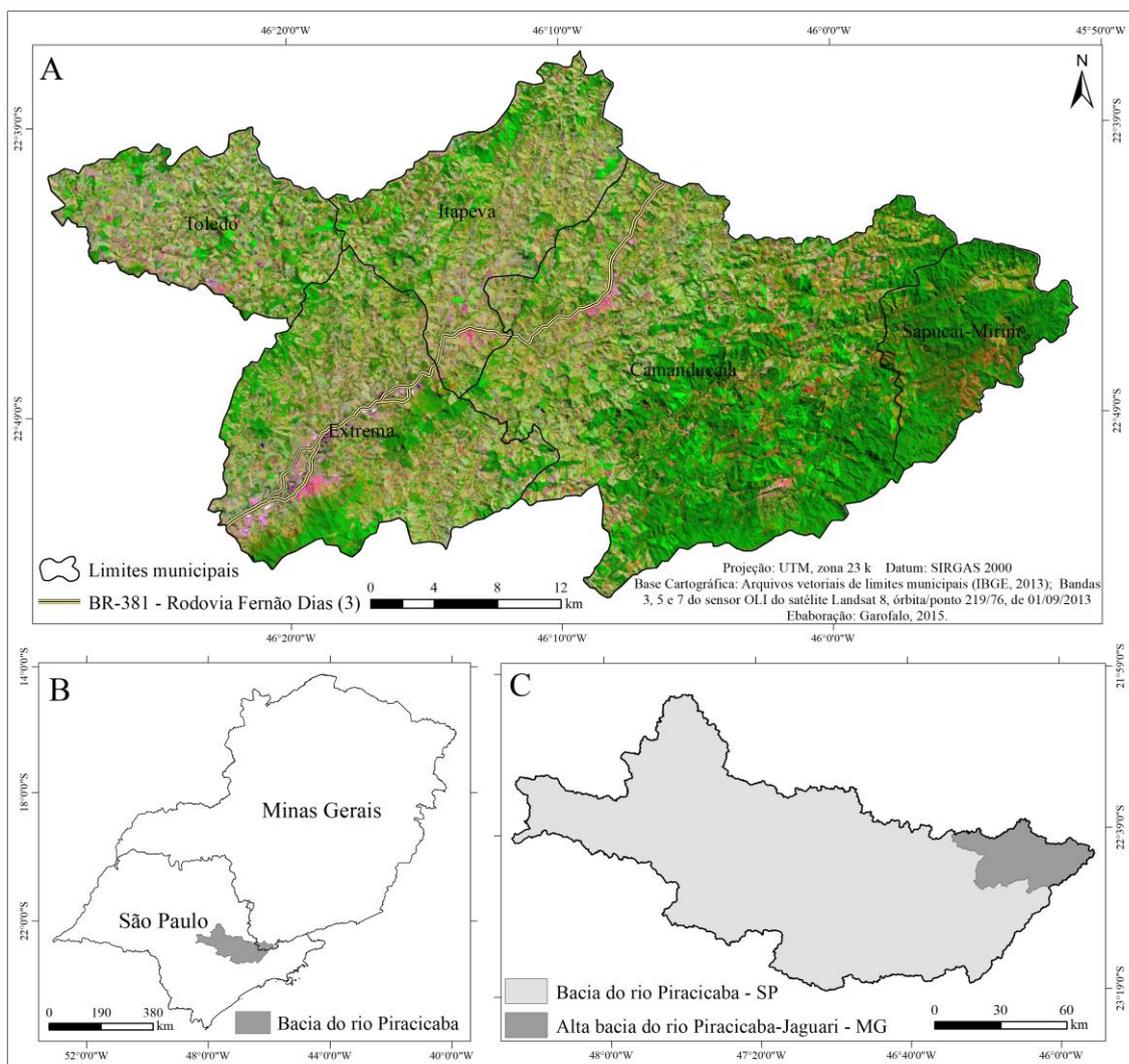


Figura 2.1 - Mapa de localização da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG) e seus respectivos municípios.

O município de Camanducaia representa 43% da área total da Bacia PJ, ocupando uma área de 497,5 km², sendo este, o município de maior extensão territorial da área de estudo. A área territorial de Extrema é de aproximadamente 243 km², correspondendo à 30% da área da Bacia PJ; Itapeva representa 15,4% da Bacia PJ (177,97 km²); Toledo, 136,7km² ou 11,7% da área da Bacia PJ. Já os 37,5% da área do município de Sapucaí-Mirim inseridos na Bacia PJ abrange uma área de 103 km², ou 8,9% da Bacia PJ.

A Bacia PJ está inserida na APA Fernão Dias, a qual teve sua origem no licenciamento ambiental do projeto de duplicação da BR-381 (Rodovia Fernão Dias) (Figura 2.1). A fim de mitigar os impactos ambientais nas áreas de entorno da BR-381, o Relatório de Impacto Ambiental do empreendimento estabeleceu como condicionante ambiental para a realização da duplicação, a criação e implantação de uma Área de Proteção Ambiental, denominada APA Fernão Dias, instituída oficialmente pelo Decreto Estadual nº38. 925, de 17/07/1997 (IBITU, 1998; MATTOS, 2011).

2.2 Caracterização biofisiográfica

2.2.1 Geomorfologia e Geologia

“As faixas marginais do Cráton São Francisco configuram extensos planaltos soerguidos e escalonados, produtos da atuação de processos tectônicos de complexa história evolutiva fanerozoica de reativações tectono-magmáticas que culminaram com a abertura do Atlântico Sul” (NOVO et al., 2015). A área da Bacia PJ engloba parte da porção austral destas faixas e apresenta dois diferentes domínios fisiográficos definidos por Moreira e Camelier (1977): Serra da Mantiqueira (Domínio I) e Planalto - Sul de Minas (Domínio II) (NOVO et al., 2015) (Figura 2.2).

O Domínio I compreende as porções Oeste e Leste da Bacia PJ. De acordo com Novo et al. (2015), este Domínio caracteriza linhas de serra paralelas, retilíneas e orientadas segundo NNE, com escarpas íngremes e topos aguçados, sendo que suas cristas podem superar os 2.000 m de altitude (Figura 2.2). Já o Domínio II corresponde à porção central da Bacia PJ, que é produto da erosão remontante dos contrafortes da Serra da Mantiqueira pelos cursos d'água principais, sendo formadas extensas áreas rebaixadas preenchidas por coberturas pedológicas recentes e sedimentos quaternários (BRASIL, 1979; ALMEIDA, 1997; NOVO et al., 2015). O Domínio II apresenta orientação SW-NE com relevos uniformes, do tipo Mar de Morros, com evidências de dissecação e relevos de colinas amplas associadas a depósitos sedimentares aluviais e coluviais. Em termos lito-estruturais, a região

do Domínio II corresponde à uma Zona de Cisalhamento Principal, fortemente marcada por lineamentos de direção SW-NE (NOVO et al., 2015), com destaque à falha de Camanducaia (Figuras 2.2 e 2.3).

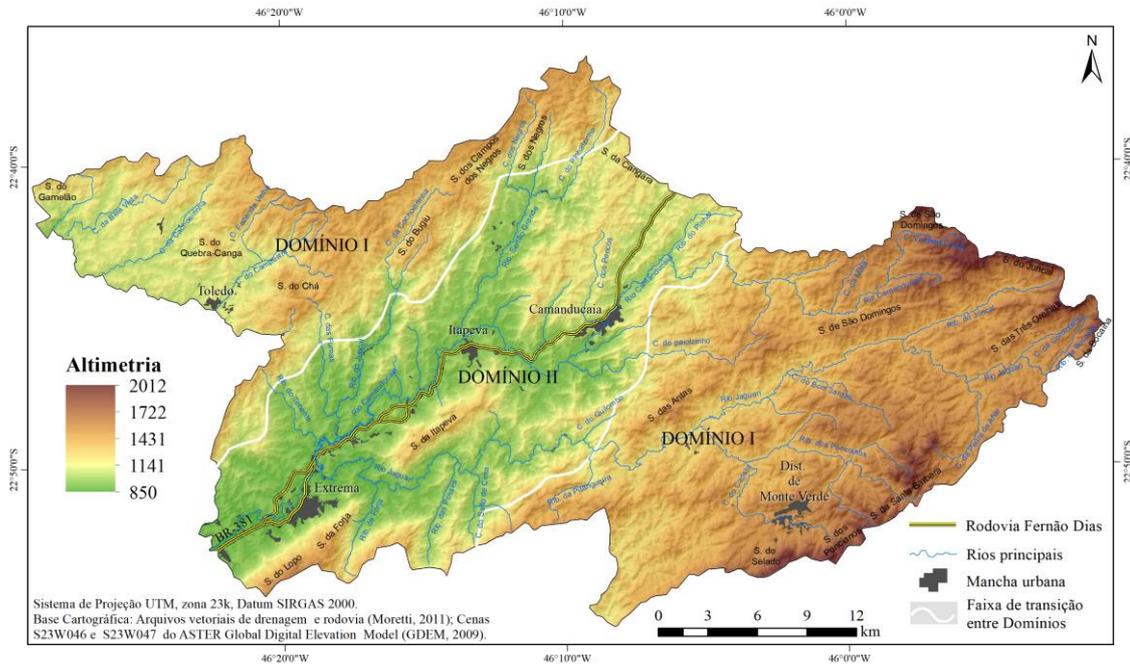


Figura 2.2 - Mapa Altimétrico da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG) e seus respectivos domínios fisiográficos.

As principais unidades geológicas do arcabouço geológico da Bacia PJ são os Complexo Varginha-Guaxupé e Mantiqueira, os Granitos Gonçalves e Serra do Lopo, o Granitóide Piracaia e a Suíte Bragança Paulista (CPRM et al., 2014) (Figura 2.3).

O Complexo Varginha-Guaxupé é constituído por duas litofácies principais, o ortognaisse migmatítico (NPvog) e o paragnaisses migmatítico (NPvp), ambos da era do Neoproterozoicos (CPRM et al., 2014).

O Complexo Mantiqueira, do Paleoproterozóico, é composto predominantemente por ortognaisses bandados, com intercalações de anfíbolitos e metaultramáfica. A Suíte Bragança Paulista é formada por dois litotipos, o tonalito e o granodiorito foliados (CPRM et al., 2014) (Figura 2.3).

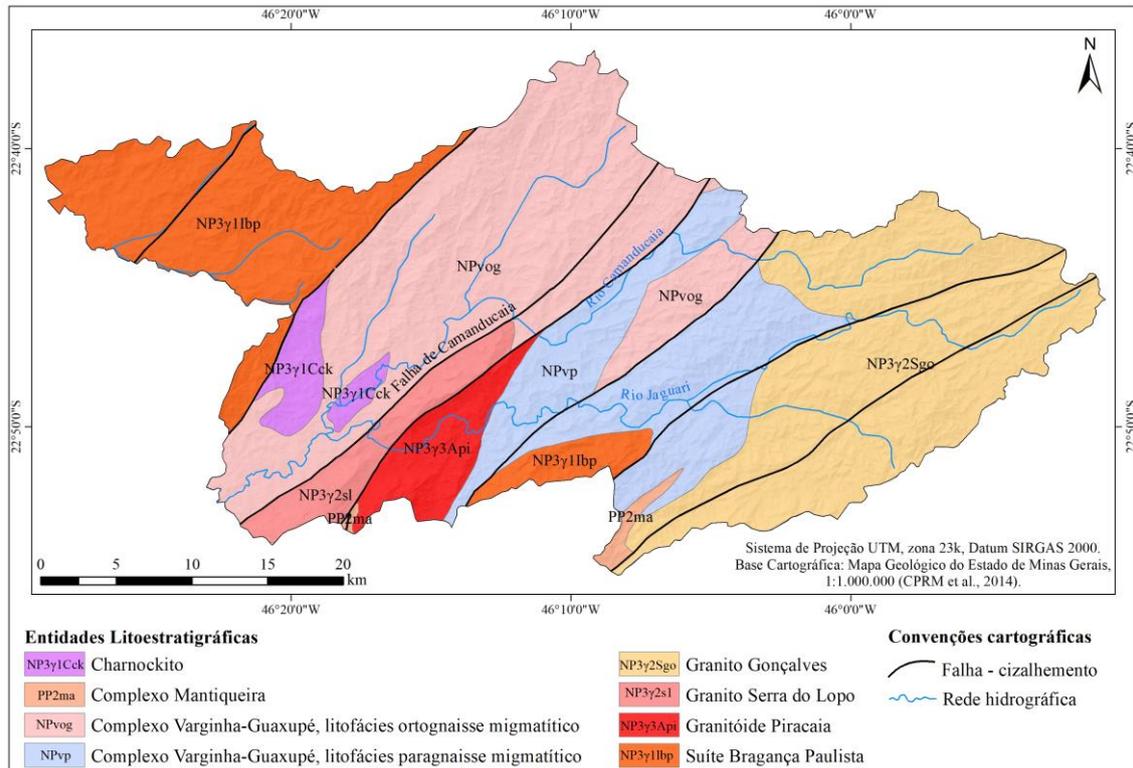


Figura 2.3 - Mapa Geológico da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG).

2.2.2 Hidrografia

O rio Jaguari flui de és-nordeste para oés-sudoeste e tem como principal tributário o rio Camanducaia, com deságue em trecho próximo à área urbana do município de Extrema (Figura 2.2). A foz e nível de base do rio Jaguari correspondem ao ponto de encontro com o rio Atibaia, no Estado de São Paulo, onde se dá a formação do rio Piracicaba. Os corpos d'água da Bacia PJ constituem um dos principais mananciais de abastecimento do Sistema Cantareira, instalado com o intuito de abastecer, parcialmente, a região metropolitana de São Paulo (NOVO et al., 2015). Ademais, o rio Atibaia abastece uma série de outros municípios inseridos na bacia do rio Piracicaba, tais como grande parte dos municípios da Região Metropolitana de Campinas, incluindo este, que tem 95% do seu abastecimento fornecido pelo rio Atibaia.

As especificidades geológicas-estruturais da Bacia PJ conferem à sua rede hidrográfica padrões de drenagem do tipo retangular, treliça, dendrítica e paralela, além de variável densidade de drenagem (IBITU, 1998; MORETTI, 2011). As porções leste, oeste e sudoeste da Bacia PJ apresentam, principalmente, drenagem do tipo retangular, que indica padrões em duas direções principais, com presença de ângulos retos nas confluências dos canais (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As redes de drenagem do tipo treliça, ou seja, em que os tributários de maior ordem são alongados, retilíneos e quase que paralelos entre si e transversais ao curso principal (CHRISTOFOLETTI, 1980), ocorrem principalmente na porção centro-sul da Bacia PJ, nas imediações do distrito de Monte Verde. Algumas áreas das porções sudoeste (contraforte sudeste da Serra do Chá) e nordeste (contraforte sul da Serra do Juncal) da Bacia PJ apresentam padrão de drenagem do tipo paralela, em que uma série de cursos de água flui parcialmente paralela entre si.

Já as redes de drenagem com padrão do tipo dendrítico, em que os tributários se distribuem em todas as direções, semelhante a configuração de uma árvore, com confluências de canais formando ângulos agudos (CHRISTOFOLETTI, 1980), ocorrem na porção sudeste da Bacia PJ, nas imediações da Serra da Santa Bárbara. Esta área também apresenta padrões de drenagem do tipo retangular.

De modo geral, a rede de drenagem da Bacia PJ é composta por canais retilíneos, sendo que o rio Jaguari passa a apresentar trechos meandrantés após sua confluência com o rio Camanducaia, e há perenidade hídrica em todos cursos d'água da Bacia PJ, com significativa variação de vazão apenas entre os períodos seco e chuvoso.

2.2.3 Clima

De acordo com os critérios de classificação climática de Köppen, a Bacia PJ está sob o domínio Cwb - clima temperado úmido com Inverno seco e Verão temperado (SPAROVEK et al., 2007), com temperaturas médias inferiores a 22°C no verão, e 15°C, no inverno.

Quanto ao regime pluviométrico, a região da Bacia PJ apresenta elevadas taxas de precipitação e de umidade atmosférica, com médias anuais entre 1.600 e 1.800 mm, sazonalmente distribuídas, com Verão chuvoso e Inverno seco (IBITU, 1998). Tal fato é evidenciado por Garofalo e Ferreira (2012) ao mapearem as áreas com maior probabilidade de ocorrência de chuvas intensas (>50mm/24hs) entre os meses de dezembro a março na APA Fernão Dias. O estudo revelou que a montante da Bacia PJ apresenta valores entre 50% a 58% de probabilidade de ocorrência de chuvas intensas no período correspondente. Os autores associam esta elevada probabilidade de chuvas intensas a uma extensa área montanhosa, propiciando o efeito orográfico, combinados aos efeitos da maritimidade e da ação de massa de ar oceânica.

2.2.4 Vegetação

As condições topoclimáticas da Bacia PJ influenciam a composição florística e a distribuição de suas formações vegetais. A Bacia PJ possui expressiva área de cobertura vegetal nativa, composta por remanescentes de floresta estacional semidecídua, floresta ombrófila densa atlântica e alguns dos últimos e significativos fragmentos de floresta ombrófila mista do Brasil (MORETTI, 2011).

A *Floresta Ombrófila Densa* é uma formação vegetal caracterizada por fanerófitos - subformas de vida macro e mesofanerófitos - além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que a diferenciam das outras classes de formações (IBGE, 2012). Na Bacia PJ a Floresta Ombrófila Densa está restrita à duas de suas sub-tipologias, as formações Montana e Alto-Montana (IBITU, 1998; MORETTI, 2011), que ocorrem predominantemente na porção centro-leste da Bacia PJ, rareando-se à medida que se direciona para noroeste, onde ocorre apenas em zonas de microclimas mais úmidos, a exemplo da Serra do Lopo, em Extrema. A formação ombrófila Montana é caracterizada pela presença de árvores de grande porte, por vezes, ultrapassando os 30m (IBGE, 2012). A Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana é uma formação arbórea mesofanerofítica com aproximadamente 20m de altura e ocorre em altitudes superiores a 1.500m, em áreas de concentração de umidade nebulosa, sendo assim também denominada mata nebulosa, (IBGE, 2012).

Na formação *Floresta ombrófila mista* a maioria das árvores emergentes é composta por araucárias (*Araucária angustifolia*), que sobressai o dossel normal da floresta. Esta formação vegetal está associada à alta umidade, a temperaturas baixas, a solos profundos e a altitudes acima de 900 m (IBITU, 1998). Sua composição florística sugere uma ocupação a partir de refúgios alto-montanos, como os situados na serra da Mantiqueira (IBGE, 2012). Na Bacia PJ a Floresta Ombrófila Mista está restrita à duas de suas sub-tipologias, as formações Montana e Alto-Montana (MORETTI, 2011), que ocorrem predominantemente na porção centro-leste da Bacia PJ. O IBGE (2012) destaca que no município de Camanducaia, nas imediações de Monte Verde, a Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana ainda se encontra bem-conservada e com seus elementos quase intactos.

A *Floresta Estacional Semidecídua* está condicionada pela dupla estacionalidade climática, uma tropical com período de chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica (IBGE, 1992). É caracterizada pela caducifolia em 20 a 50% do conjunto florestal durante o período de maior estiagem (IBGE, 2012). Há um predomínio de remanescentes de Floresta Estacional Semidecídua nas porções oeste e noroeste da Bacia PJ, na região de Toledo, Itapeva e Extrema, e nas áreas de

menores altitudes de Camanducaia, onde ocorre em duas das suas sub-tipologias, as formações Sub-Montana e Montana.

Há ainda as áreas de regeneração, representadas pela Capoeira, nas fases terceira e quarta da sucessão natural. A fase terceira da sucessão natural, denominada “capoeira rala”, é composta predominantemente por vegetação do gênero *Baccharis*, além de caméfitas herbáceas e muitas plantas lenhosas de baixo porte (IBGE, 2012). A fase quarta da sucessão natural, denominada “capoeira”, é dominada por microfanerófitos com até 5m (IBGE, 2012). Na Bacia PJ, ocorrem em pequenos fragmentos, principalmente em fundos de vale.

2.2.5 Unidades de Paisagem

Moretti (2011) propõe uma regionalização da APA Fernão Dias em unidades de paisagem fundamentada na classificação hierárquica apresentada por Bertrand (1972). A combinação de fatores geomorfológicos, climáticos e hidrológicos em diferentes níveis dão origem a distintos geossistemas, os quais possuem dinâmica interna, não apresentando necessariamente grande homogeneidade fisionômica. Os setores fisionomicamente homogêneos de cada geossistema, onde se desenvolve uma mesma fase de evolução, correspondem às geofácies (MORETTI, 2011).

No estudo realizado por Moretti (2011), a autora identificou e mapeou, a partir dos limites das unidades estruturais do relevo, quatro geossistemas no contexto da APA Fernão Dias, a saber: I – Corredor da Rodovia Fernão Dias; II – Corredor Sapucaí-Mirim-Paraisópolis; III – Bordas do Planalto do Alto Jaguari; e, IV – Altos da Terra Fria. Estes por sua vez são compostos por distintas geofácies, conforme apresentado no Quadro 2.1. Dos quatro geossistemas identificados, apenas o geossistema Corredor Sapucaí-Mirim-Paraisópolis não ocorre na Bacia PJ, conforme pode ser observado na Figura 2.4.

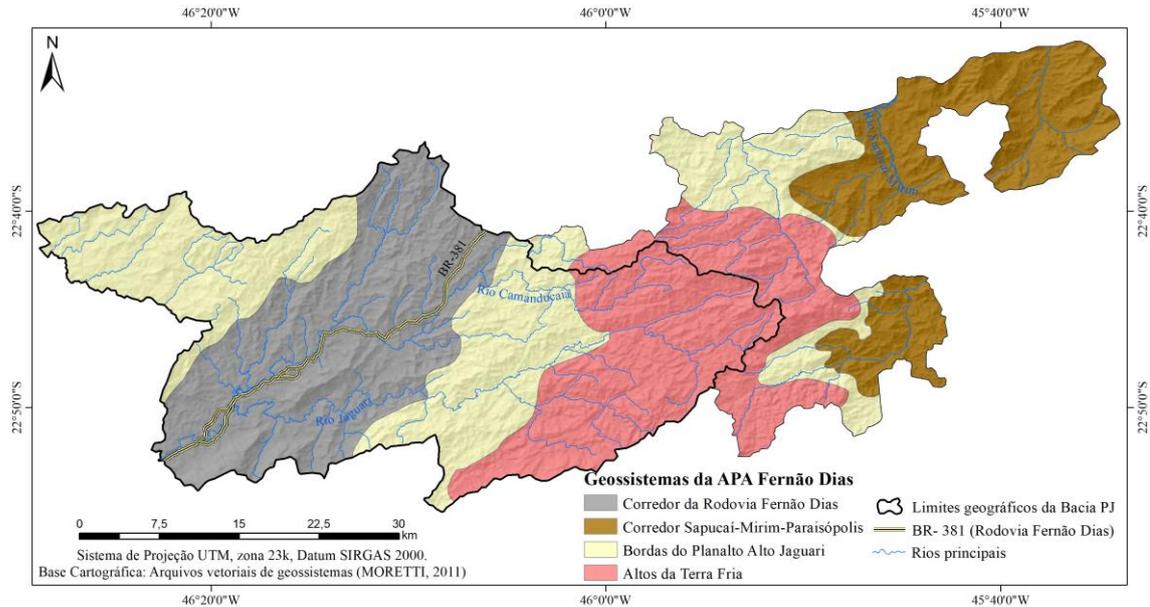


Figura 2.4 - Geossistemas da APA Fernão Dias com destaque à Bacia PJ.

Quadro 2.1 - Geossistemas e geofácies da APA Fernão Dias.

Geossistemas	Geofácies
I - Corredor da Rodovia Fernão Dias	I.1 - Colinas amplas com pecuária extensiva I.2 - Áreas urbanas de Extrema e Camanducaia I.3 - Faixa de influência da rodovia Fernão Dias I.4 - Várzeas degradadas
II - Corredor Sapucaí-Mirim - Paraisópolis	II.1 - Planície do rio Sapucaí-Mirim e de seus afluentes II.2 - Área urbana de Sapucaí-Mirim II.3 - Colinas amplas com pecuária extensiva
III - Bordas do Planalto do Alto Jaguari	III.1 - Brejos suspensos e cabeceiras de drenagem com capoeiras III.2 - Morrotes com silvicultura III.3 - Bairros rurais III.4 - Encostas e terraços cultivados com batata e brássicas III.5 - Encostas de pastoreio intenso III.6 - Morrotes com fragmentos de floresta estacional semidecidual III.7 - Encostas com fragmentos de florestas ombrófilas densa e mista
IV - Altos da Terra Fria	IV.1 - Morros e morrotes com floresta ombrófila densa IV.2 - Alvéolos e pequenas planícies com floresta ombrófila mista IV.3 - Morros e morrotes com silvicultura IV.4 - Vertentes e terraços cultivados com batata e brássicas IV.5 - Bairros rurais IV.6 - Pontões e cristas rochosas com campos de altitude IV.7 - Rampas de matações com floresta ombrófila densa alto-montana

Fonte: Moretti (2011).

Uma descrição mais detalhada de cada geossistema da APA Fernão Dias e suas respectivas geofácies pode ser consultada em Moretti (2011).

2.3 Dinâmica socioeconômica

A análise da dinâmica socioeconômica dos municípios que compõem a Bacia PJ baseou-se em dados das seguintes fontes: Censo Demográfico de 1991, 2000 e 2010 (IBGE); Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2007); Produção Agrícola Municipal de 2015 (IBGE, 2016); e observações gerais realizadas em campo.

2.3.1 Dinâmica econômica

Antes da duplicação da BR-381 (Rodovia Fernão Dias) a dinâmica econômica dos municípios inseridos na Bacia PJ tinha como base principal os setores agropecuário e de serviços (MORETTI, 2011; GAROFALO, 2013). Após as obras de duplicação BR-381 ocorridas entre 1995 e 2003, os municípios de Extrema e Camanducaia receberam empreendimentos industriais, com a instalação, em meados da década de 1990, de distritos industriais compostos por empresas dos setores alimentício, têxtil, de confecções, de papel e celulose, de borracha e plástico, de máquinas e equipamentos, entre outros (MORETTI, 2011).

O setor de serviços representa a maior fonte de arrecadação dos municípios integrantes da Bacia PJ, seguido dos setores industrial e agropecuário, respectivamente (Tabela 2.1 e Figura 2.5). O acesso facilitado a esta região, através da duplicação da BR-381, proporcionou um processo de expansão industrial e urbana e um incremento turístico aos municípios integrantes da Bacia PJ, alterando parcialmente a dinâmica econômica destes municípios, com um aumento exponencial da participação dos setores de base industrial e de serviços (Tabela 2.1 e Figura 2.5).

Embora a ativação destes dois setores econômicos ofusque a participação do setor agropecuário, deve-se destacar que este setor também foi altamente beneficiado com a duplicação da rodovia, pois resultou em melhoria do escoamento da produção agrícola destinada a centros consumidores, tornando mais competitivos os municípios integrantes da Bacia PJ.

Os dados da Tabela 2.1 e o gráfico da Figura 2.5 mostram que o município de Extrema apresentou evolução econômica muito superior aos demais municípios da Bacia PJ. Neste município, entre 2005 e 2014 o setor industrial cresceu 653,81% e o de serviços 822,79%. Além da acessibilidade às regiões metropolitanas de Belo Horizonte e São Paulo, Extrema

apresenta vários programas de incentivos fiscais (FONSECA, 2009). Estes incentivos têm atraído para o município várias empresas de grande porte, tais como Kopenhagen, Bauducco, Panasonic e Rexam, além de centros de distribuição e logística da Fiat, Centauro e Johnson & Johnson.

Tabela 2.1 - Arrecadação por setor da economia e produto interno bruto (PIB), por município da Bacia PJ.

Município	Ano	Valor adicionado bruto (mil reais)						Total	PIB (mil reais)
		Agropecuária		Indústria		Serviços			
		(mil reais)	%	(mil reais)	%	(mil reais)	%		
Toledo	2005	3.391	41,83	658	8,12	4.058	50,06	8.107	16.497
	2010	4.268	30,57	1.770	12,68	7.924	56,75	13.962	29.008
	2014	6.913	27,12	3.014	11,82	15.566	61,06	25.493	47.549
Sapucaí-Mirim	2005	6.732	30,08	3.555	15,88	12.094	54,04	22.381	33.839
	2010	19.756	41,24	7.205	15,04	20.942	43,72	47.903	69.173
	2014	9.387	18,14	6.820	13,18	35.527	68,67	51.734	81.443
Itapeva	2005	3.131	6,14	8.233	16,14	39.656	77,73	51.020	74.650
	2010	4.009	4,60	20.623	23,67	62.499	71,73	87.131	123.770
	2014	6.185	2,36	37.036	14,15	218.583	83,49	261.804	350.724
Camanducaia	2005	15.008	11,69	49.474	38,55	63.864	49,76	128.346	179.982
	2010	41.178	15,17	108.527	39,97	121.810	44,86	271.515	354.581
	2014	28.208	7,90	135.198	37,86	193.711	54,24	357.117	474.608
Extrema	2005	3.749	0,70	241.959	45,13	290.426	54,17	536.134	771.349
	2010	4.053	0,30	694.356	51,80	641.968	47,89	1.340.377	1.884.764
	2014	6.906	0,13	2.108.598	38,79	3.320.964	61,09	5.436.468	4.676.285

Fonte: IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 11/04/2017.
Org.: Garofalo, 2017.

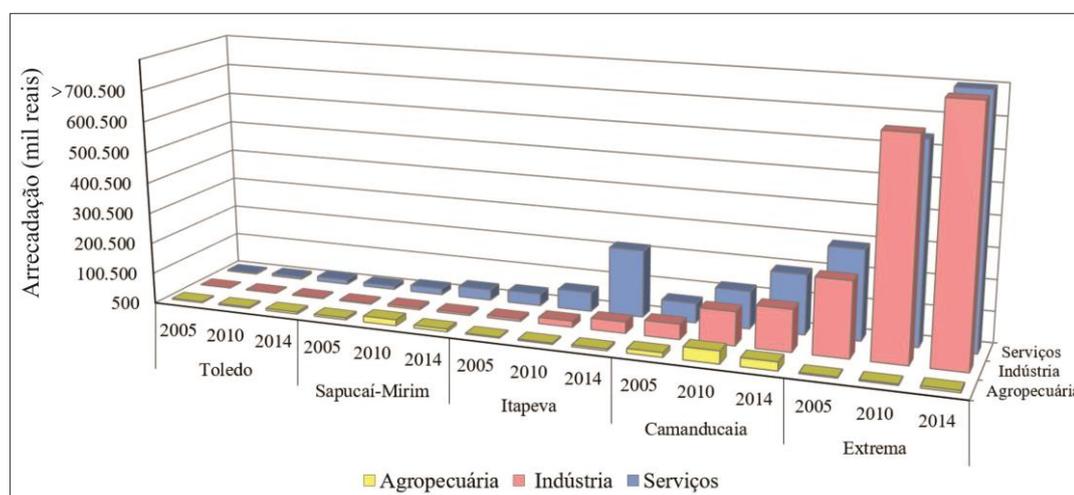


Figura 2.5 - Arrecadação por setor da economia em municípios da Bacia PJ. Fonte: modificado de IBGE Cidades (acessado em 11/04/2017). Org.: Garofalo, 2017.

Atualmente, Extrema conta com mais de 150 indústrias localizadas próximas à BR-381 (Rodovia Fernão Dias), tornando o município o segundo maior polo industrial de Minas Gerais, se considerada a arrecadação do ICMS em relação à sua população.

Toledo foi o município da Bacia PJ que apresentou maior crescimento no setor agropecuário no período de 2005 a 2014, com aumento de 103,86%. Neste mesmo período

Sapucaí-Mirim apresentou aumento de 39,44%, Itapeva de 97,54%, Camanducaia de 87,95% e Extrema de 84,21%. Entretanto, entre 2010 e 2014 Sapucaí-Mirim mostrou decréscimo de 52,59% no setor agropecuário, assim como, Camanducaia, com 31,5% (Tabela 2.2). Este recuo do setor agropecuário nestes municípios pode estar relacionado à estiagem que assolou o sudeste brasileiro nos anos de 2013 e 2014, entre outros fatores.

Tabela 2.2 - Evolução dos setores econômicos dos municípios da Bacia JC entre 2005 e 2014.

Município	Período	Evolução econômica			
		Agropecuária	Indústria	Serviços	PIB
Toledo	2005 a 2010	25,86%	169,00%	95,27%	75,84%
	2010 a 2014	61,97%	70,28%	96,44%	63,92%
	2005 a 2014	103,86%	358,05%	283,59%	188,23%
Sapucaí-Mirim	2005 a 2010	193,46%	102,67%	73,16%	104,42%
	2010 a 2014	-52,49%	-5,34%	69,64%	17,74%
	2005 a 2014	39,44%	91,84%	193,76%	140,68%
Itapeva	2005 a 2010	28,04%	150,49%	57,60%	65,80%
	2010 a 2014	54,28%	79,59%	249,74%	183,37%
	2005 a 2014	97,54%	349,85%	451,20%	369,82%
Camanducaia	2005 a 2010	174,37%	119,36%	90,73%	97,01%
	2010 a 2014	-31,50%	24,58%	59,03%	33,85%
	2005 a 2014	87,95%	173,27%	203,32%	163,70%
Extrema	2005 a 2010	8,11%	186,97%	121,04%	144,35%
	2010 a 2014	70,39%	203,68%	417,31%	148,11%
	2005 a 2014	84,21%	771,47%	1043,48%	506,25%
Total	2005 a 2010	128,87%	173,95%	108,52%	128,68%
	2010 a 2014	-21,38%	175,16%	342,54%	128,77%
	2005 a 2014	79,94%	653,81%	822,79%	423,14%

Fonte: IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 11 de abril de 2017. Org.: Garofalo, 2017.

Na Bacia PJ, as atividades agropastoris são representadas, principalmente, por cultivos agrícolas temporários (milho, batata, feijão, tomate, mandioca, arroz, brócolis, couve-flor, cenoura e repolho) e por cultivos permanentes, como uva e laranja (MATTOS, 2011; IBGE, 2016) (Tabela 2.4 e Figura 2.6), além de pastagens, associadas à pecuária extensiva (Tabela 2.3) (IBGE, 2006). A silvicultura é representada pelo cultivo de eucalipto, pinus e outras espécies (IBGE, 2016) (Tabela 2.4 e Figura 2.6). A pastagem é o uso da terra que ocupa a maior área na Bacia PJ, com 30.201 ha, seguido pela silvicultura (5.932 ha), lavouras temporárias (3.165 ha) e lavouras permanentes (44 ha) (Tabelas 2.3 e 2.4 e Figura 2.6).

Tabela 2.3 - Área ocupada por pastagens nos municípios integrantes da Bacia PJ.

Município	Pastagem (Área em hectares - 2006)			Total
	Natural	Plantada - degradada	Plantada - em boas condições	
Camanducaia	4.752	17	1.918	6.687
Extrema	5.944	160	977	7.081
Itapeva	5.398	184	1.934	7.516
Sapucaí-Mirim	2.352	44	2.595	4.991
Toledo	1.314	863	1.749	3.926
Total	19.760	1.268	9.173	30.201

Fonte: Censo Agropecuário (IBGE, 2006). Org.: Garofalo, 2017.

Tabela 2.4 - Área ocupada por cultivos agrícolas e silvicultura nos municípios integrantes da Bacia PJ.

Município	Produção Agrícola e Silvicultura (Área em hectares - 2015)														
	Lavoura permanente				Lavoura temporária							Silvicultura			
	Uva	Laranja	Outros	Total	Batata	Cebola	Feijão	Milho	Tomate	Outros	Total	Eucalipto	Pinus	Outras espécies	Total
Camanducaia	3	0	0	3	620	3	160	380	6	0	1.169	2.248	1.667	355	4.270
Extrema	6	16	0	22	10	12	110	200	10	0	342	150	15	0	165
Itapeva	3	0	0	3	85	0	116	400	0	10**	611	60	2	0	62
Sapucaí-Mirim	0	4	12*	16	105	0	90	250	8	5***	458	1000	150	223	1.373
Toledo	0	0	0	0	200	0	150	250	0	0	600	60	2	0	62
Total	12	20	12	44	1.020	15	626	1.480	24	15	3.165	3.518	1.836	578	5.932

Onde: * (5 hectares de maçã, 4 hectares de pêssigo e 3 hectares de tangerina); ** (10 hectares de mandioca); *** (5 hectares de arroz). Org.: Garofalo, 2017.

Camanducaia destaca-se como o município da Bacia PJ com maior área destinada a silvicultura e a lavouras temporárias. No ano de 2015, mais de 4.000ha do município eram destinados ao plantio de eucalipto e pinus, enquanto que aproximadamente 1.000ha serviam ao cultivo de batata e milho (Tabela 2.4). Itapeva é o município da Bacia PJ com maior área com fins agropecuários, com 611 ha destinados à cultivos temporários – destaque para os cultivos de milho e feijão (Tabela 2.4) e 7.516 ha destinados às pastagens, as quais são utilizadas para criação de gado de corte e leiteiro.

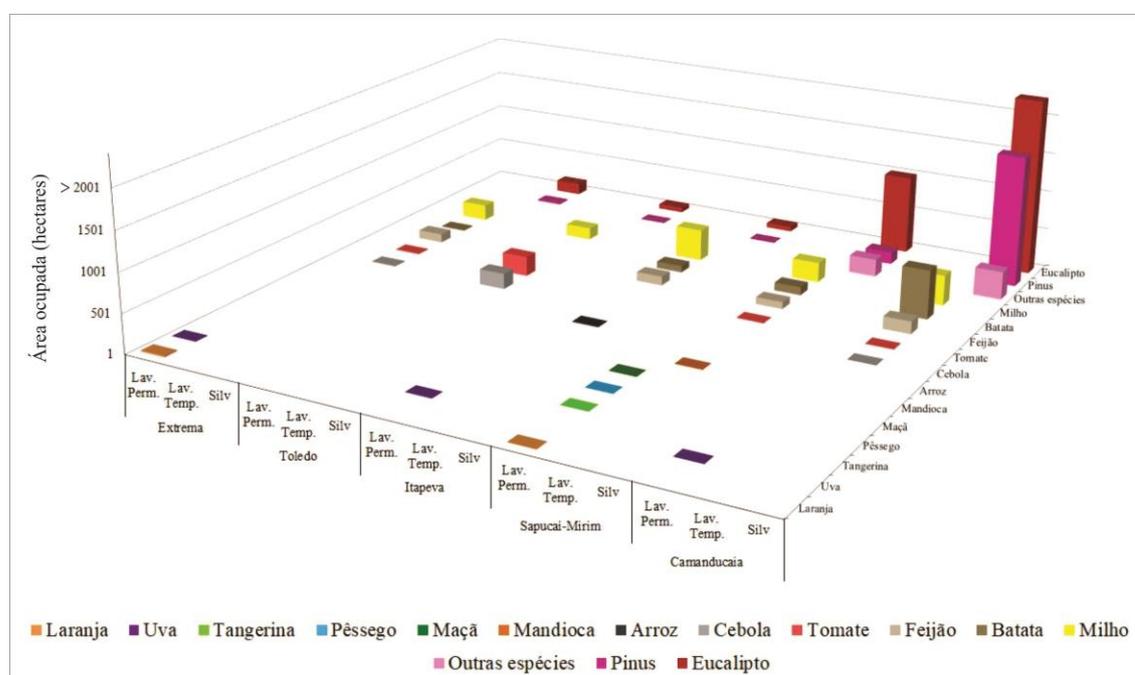


Figura 2.6 - Diagrama da área ocupada por cultivos agrícolas e silvicultura nos municípios integrantes da Bacia PJ. Fonte: IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 11/04/2017. Org.: Garofalo, 2017.

O potencial turístico da Bacia PJ tem sido explorado cada vez mais pelos municípios nela compreendidos, fato este que tem colaborado para o crescimento na arrecadação do setor de serviços, sobretudo pelo ecoturismo, turismo de aventura, hoteleiro e gastronômico (SETTE et al., 2014). O alto potencial turístico da Bacia PJ deve-se principalmente à ocorrência de remanescentes florestais situados em áreas de relevo montanhoso com altitude acima dos 1.000 metros, proporcionando temperaturas médias anuais amenas, além da ocorrência de afloramentos rochosos em seus diversos morros e a presença de diversas cachoeiras e trechos de corredeiras no rio Jaguari e afluentes.

2.3.2 Dinâmica demográfica

Os municípios integrantes da Bacia PJ somaram, em 2010, uma população de 70.348 habitantes, dos quais 51.976 (73,9%) estavam na área urbana e 18.372 (26,1%) na área rural. De modo geral, entre 1991 a 2010, a população dos municípios que compõe a Bacia PJ teve um crescimento médio de 53,91%, com aumento de 100,22% da população urbana e decréscimo de 6,97% da população rural (Tabela 2.5 e Figura 2.7).

Tabela 2.5 - População urbana, rural e total, e respectivos percentuais, em municípios integrantes da Bacia PJ, para os anos de 1991, 2000 e 2010.

Município	Ano	Urbana		Cresc. Dem. 1991 a 2010	Rural		Cresc. Dem. 1991 a 2010	Total	Cresc. Dem. 1991 a 2010
		Total	%		Total	%			
Toledo	1991	1.430	30,7	53,15%	3.234	69,3	10,51%	4.664	23,58%
	2000	1.952	37,4		3.270	62,6			
	2010	2.190	38,0		3.574	62,0			
Sapucaí-Mirim	1991	1.987	46,5	90,39%	2.287	53,5	7,48%	4.274	46,02%
	2000	2.654	48,7		2.801	51,3			
	2010	3.783	60,6		2.458	39,4			
Itapeva	1991	3.013	54,5	49,72%	2.516	45,5	65,06%	5.529	56,70%
	2000	3.781	51,4		3.580	48,6			
	2010	4.511	52,1		4.153	47,9			
Camanducaia	1991	10.441	61,7	48,16%	6.486	38,3	-13,49%	16.927	24,53%
	2000	14.262	69,4		6.275	30,6			
	2010	15.469	73,4		5.611	26,6			
Extrema	1991	9.088	63,5	186,34%	5.226	36,5	-50,71%	14.314	99,80%
	2000	12.902	67,1		6.317	32,9			
	2010	26.023	91,0		2.576	9,0			
Total	1991	25.959	56,8	100,22%	19.749	43,2	-6,97%	45.708	53,91%
	2000	35.551	61,5		22.243	38,5			
	2010	51.976	73,9		18.372	26,1			

Fonte: PNUD, 2003; IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 13 de abril de 2017. Org.: Garofalo, 2017.

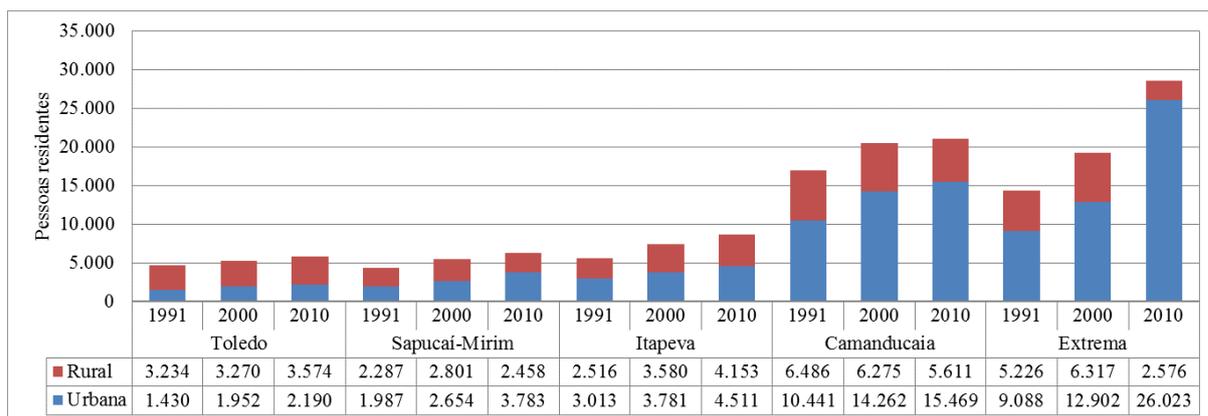


Figura 2.7 - Diagrama da distribuição da população urbana e rural nos municípios integrantes da Bacia PJ - MG. Fonte: PNUD, 2003; IBGE Cidades - <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em 05 de novembro de 2012. Org.: Garofalo, 2017.

O município de Extrema apresentou um crescimento populacional de 99,8% entre o período de 1991 a 2010, com um aumento de 186,34% da população urbana e um decréscimo de 50,71% da população rural. A evolução populacional de Extrema é reflexo das transformações econômicas pelas quais o município tem passado nos últimos anos, que contribuíram para que sua população duplicasse entre 2000 e 2010 (Tabela 2.5). Por outro lado, Itapeva apresentou crescimento populacional rural maior do que o urbano entre 1991 e 2010, com a população rural aumentado 65,06% e a urbana 49,72% (Tabela 2.5).

Considerando-se que os municípios de Camanducaia e Sapucaí-Mirim estão parcialmente incorporados no perímetro da Bacia PJ, a população de Camanducaia residente dentro do perímetro da bacia, com base no Censo demográfico de 2010, era de aproximadamente 20.620 habitantes, sendo 15.009 na área urbana e 5.611 na área rural, enquanto que a população de Sapucaí-Mirim dentro do perímetro da Bacia PJ era de aproximadamente 421 habitantes, correspondente apenas à população rural (IBGE, 2011).

Segundo o Censo demográfico de 2010 (IBGE, 2011), o contingente populacional da Bacia PJ era de 64.068 habitantes, sendo 47.733 na área urbana e 16.335 na área rural, com uma densidade demográfica de 55,33 hab./km². Na Figura 2.8 é apresentada a participação aproximada da população residente de cada município no contingente populacional da Bacia PJ, de acordo com os dados censitários de 2010.

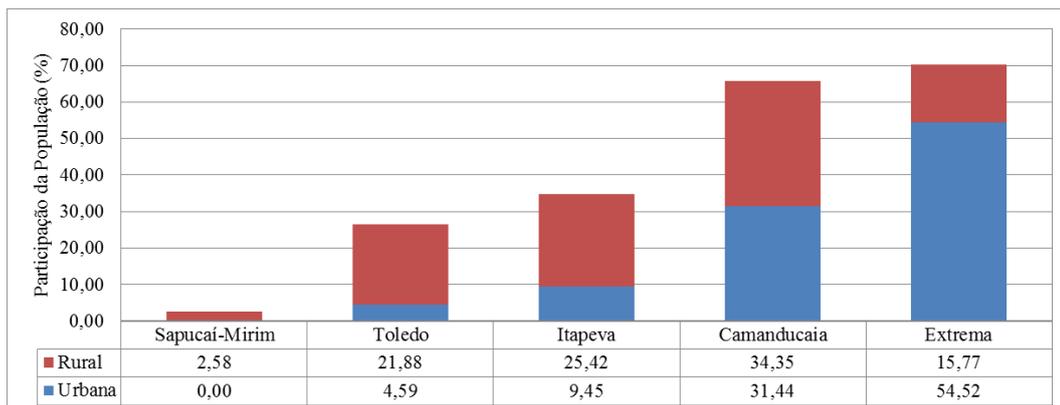


Figura 2.8 - Proporção de população rural e urbana em 2010, nos municípios inseridos na Bacia PJ. Org.: Garofalo, 2017.

De acordo com dos dados censitários de 2010 (IBGE, 2011), as maiores concentrações populacionais na Bacia PJ se dão principalmente na porção sudoeste da bacia, nos trechos circundantes à BR-381, enquanto que as menores concentrações populacionais são observadas na porção leste (Figura 2.9).

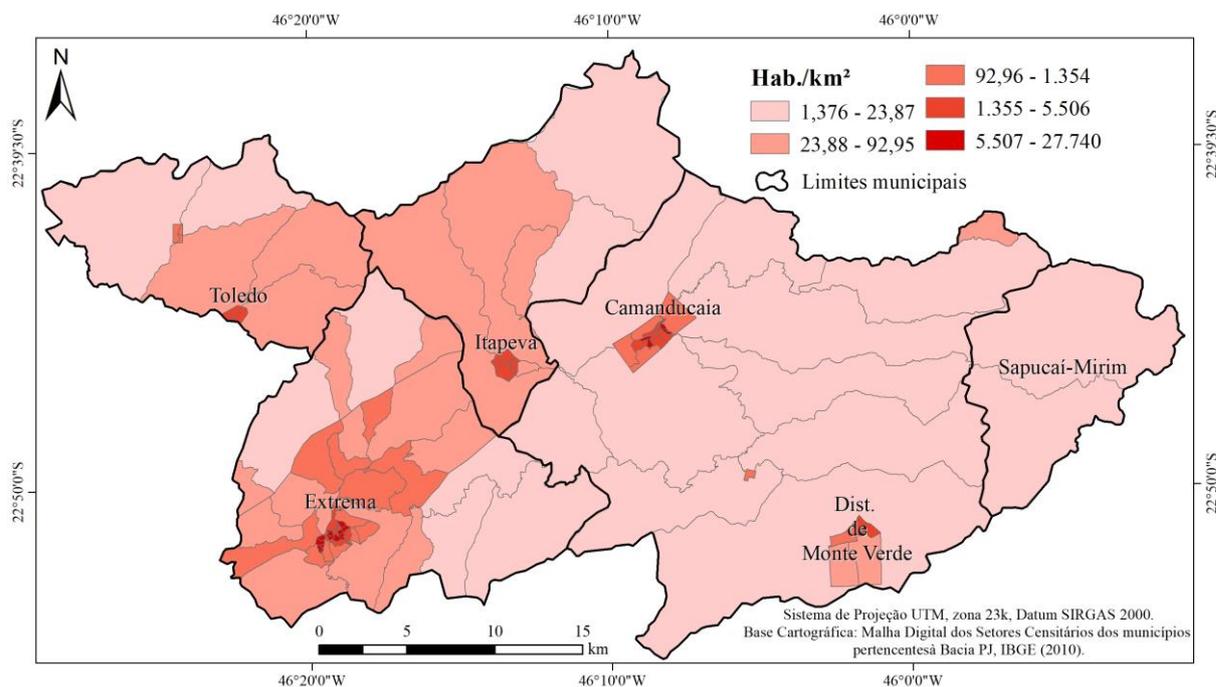


Figura 2.9 - Densidade demográfica por setores censitários dos municípios da Bacia PJ – MG, em 2010. FONTE: IBGE (2011).

Segundo o IBGE (2016), a população residente estimada nos cinco municípios integrantes da Bacia PJ no ano de 2016 era a seguinte: Camanducaia – 22.007; Extrema – 33.729; Itapeva – 9.529; Sapucaí-Mirim – 6.796; e Toledo – 6.194.

2.4 Saneamento básico

Os dados de saneamento básico foram obtidos junto ao Sistema de Informação da Atenção Básica (SIAB), do Ministério da Saúde. Os dados do SIAB são gerados a partir do trabalho das equipes de Saúde da Família e Agentes Comunitários de Saúde, que fazem o cadastramento das famílias e identificam a situação de saneamento e moradia.

2.4.1 Abastecimento de água nos domicílios

De acordo com dados fornecidos pelo SIAB, o índice médio de atendimento de água pela rede pública na Bacia PJ no período de 2006 a 2015 passou de 55% para 63,4%. No mesmo período, o uso de água proveniente de poços tubulares ou nascentes, nos domicílios da bacia, decresceu de 44,81% para 36,25% (Tabela 2.6), o que indica aumento no consumo de águas superficiais da Bacia PJ.

Embora Extrema seja o município da Bacia PJ com maior proporção de domicílios com abastecimento de água proveniente da rede pública, em 2015 abrangia 74,41%, no e em 2006 esta proporção era de 80,2%. A queda de 5,8% no consumo de água da rede pública é reflexo do aumento de 5,5% do uso de água proveniente de poços neste mesmo período (Tabela 2.6).

Da mesma forma, Itapeva também apresentou uma diminuição na proporção de domicílios que faziam uso de água da rede pública entre 2010 e 2015, diminuindo de 61,8% para 53,1%, enquanto o consumo de água proveniente de poços ou nascentes cresceu de 37,96% para 46,66% (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 - Tipo de abastecimento de água nos domicílios dos municípios da Bacia PJ em valores percentuais.

Município	Ano	Abastecimento de água nos domicílios		
		Rede pública	Poço / nascente	Outros
Camanducaia	2006	13,54	86,16	0,30
	2010	51,24	48,42	0,33
	2015	57,11	42,50	0,39
Extrema	2006	80,20	19,67	0,13
	2010	76,75	23,13	0,12
	2015	74,41	25,17	0,43
Itapeva	2006	-	-	-
	2010	61,80	37,96	0,24
	2014	53,10	46,66	0,24
Sapucai-Mirim	2006	57,84	42,16	0,00
	2010	54,61	45,39	0,00
	2014	54,60	45,34	0,06
Toledo	2006	14,69	84,66	0,65
	2010	50,54	48,87	0,60
	2015	53,51	46,08	0,40
Média Bacia PJ	2006	54,99	44,81	0,20
	2010	63,10	36,67	0,23
	2015	63,40	36,25	0,35

Fonte: SIAB (2016). Org.: Garofalo, 2017.

Em contrapartida, o abastecimento de águas da rede pública nos domicílios de Camanducaia e Toledo, no período de 2006 a 2015, tiveram aumentos expressivos de 43,57% e 38,82%, respectivamente. Já o uso de água oriunda de poços e nascentes, por domicílios, decresceu nestes dois municípios (Tabela 2.6). Entre 2006 a 2015, o município de Sapucaí-Mirim sempre teve a mesma proporção dos meios de abastecimento de água nos domicílios, sendo 55% provenientes da rede pública e 45% de poços e/ou nascentes.

2.4.2 Destinação dos resíduos sólidos domésticos

Dados do SIAB indicam que entre 2006 e 2015 aproximadamente 92% dos domicílios dos municípios da Bacia PJ tiveram seus resíduos sólidos coletados pelo serviço de limpeza dos municípios, 7% foram queimados e/ou enterrados e 1% não recebeu nenhum tipo de tratamento, sendo deixado a céu aberto (Tabela 2.7). Em 2015, 98,43% do lixo domiciliar de Extrema foi coletado, sendo este o município com maior proporção de lixo coletado, enquanto Camanducaia coletou 87,8% de seu lixo domiciliar, sendo que 9,57% dos domicílios desse município queimaram ou enterraram seus lixos (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 - Destinação dos lixos domésticos nos municípios da Bacia PJ em valores percentuais.

Município	Ano	Destino dos lixos domésticos		
		Coletado	Queimado / enterrado	Céu aberto
Camanducaia	2006	76,35	17,33	6,32
	2010	86,16	10,80	3,04
	2015	87,80	9,57	2,63
Extrema	2006	99,27	0,68	0,04
	2010	98,09	1,86	0,05
	2015	98,43	1,50	0,07
Itapeva	2006	-	-	-
	2010	89,89	9,72	0,39
	2014	92,16	7,72	0,12
Sapucaí-Mirim	2006	86,92	12,26	0,83
	2010	90,72	8,47	0,80
	2014	91,35	7,91	0,74
Toledo	2006	87,49	10,23	2,29
	2010	91,65	6,92	1,43
	2015	91,94	7,14	0,92
Média Bacia PJ	2006	90,15	7,99	1,86
	2010	92,44	6,44	1,12
	2015	93,83	5,38	0,78

Fonte: SIAB (2016). Org.: Garofalo, 2017.

Atualmente, o lixo coletado em Camanducaia, Itapeva, Sapucaí-Mirim e Toledo é depositado em aterros controlados, de responsabilidade das suas prefeituras. Apenas o lixo coletado em Extrema é depositado em Aterro Sanitário, administrado pela prefeitura.

Segundo a NBR 8849/1985 da ABNT, o aterro controlado segue uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, cobrindo-os com uma camada de material

inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Este tipo de aterro produz poluição localizada, não havendo impermeabilização de base (comprometendo a qualidade do solo e das águas subterrâneas), nem sistema de tratamento de percolado (chorume mais água de infiltração) ou de extração e queima controlada dos gases gerados (FEAM, 2006).

Segundo a norma NBR 8419/1992 da ABNT, o aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada trabalho, ou intervalos menores. Este tipo de aterro deve contar com os seguintes elementos de proteção ambiental: sistema de impermeabilização de base e laterais; sistema de recobrimento diário e cobertura final; sistema de coleta e drenagem de líquidos percolados; sistema de coleta e tratamentos dos gases; sistema de drenagem superficial; sistema de tratamento de líquidos percolados; e sistema de monitoramento.

Além dessas exigências técnicas estruturais e construtivas, há que se avaliar também as probabilidades de impacto local e sobre a área de influência do empreendimento e se buscar medidas para mitigá-los (FEAM, 2006).

Visto que quatro municípios da Bacia PJ fazem uso de aterros controlados na disposição do lixo urbano, os corpos d'água próximos a estes podem apresentar alta suscetibilidade a contaminação pelo percolado.

2.4.3 Destinação dos efluentes domésticos

Conforme os dados do SIAB para 2015, aproximadamente 60,04% dos efluentes domésticos dos domicílios integrantes da Bacia PJ foram captados pela rede de esgoto, enquanto que 31,27% foram destinados para fossas e 8,69% foram lançados a céu aberto, geralmente em córregos (Tabela 2.8).

Destaca-se que a totalidade dos esgotos coletados pela rede pública são de domicílios urbanos, enquanto que os efluentes com destino fossas e céu aberto são derivados, principalmente, de domicílios rurais.

Observa-se um aumento no uso de fossa pelos domicílios dos municípios de Itapeva, Sapucaí-Mirim e Extrema, sendo que a proporção de efluentes domésticos com este tipo de destino nesses domicílios no ano de 2015 foi de 47,47%, 28,53% e 27,12%, respectivamente (Tabela 2.8).

Tabela 2.8 - Destino dos efluentes domésticos nos municípios da Bacia PJ.

Município	Ano	Destino dos efluentes domésticos		
		Rede de esgoto	Fossa	Céu aberto
Camanducaia	2006	14,98	49,46	35,56
	2010	45,65	31,32	23,03
	2015	49,03	28,80	22,16
Extrema	2006	80,50	19,25	0,26
	2010	73,58	24,09	2,33
	2015	72,05	27,12	0,83
Itapeva	2006	-	-	-
	2010	61,21	34,68	4,10
	2014	50,16	47,47	2,37
Sapucaí-Mirim	2006	59,80	23,74	16,46
	2010	55,78	26,90	17,32
	2014	55,28	28,53	16,20
Toledo	2006	11,10	58,32	30,58
	2010	47,49	35,68	16,83
	2015	51,44	33,12	15,44
Média Bacia PJ	2006	55,34	29,31	15,36
	2010	60,02	28,83	11,14
	2015	60,04	31,27	8,69

Fonte: SIAB (2016). Org.: Garofalo, 2017.

Ainda que o despejo de efluentes a céu aberto tenha diminuído quase que pela metade no montante dos domicílios inseridos na Bacia PJ neste período, Camanducaia, Sapucaí-Mirim e Toledo apresentaram índices elevados deste tipo de destino do efluente, com valores de 22,16%, 16,20% e 15,44%, respectivamente.

Atualmente, embora o índice de domicílios atendidos com esgotamento sanitário da COPASA seja superior a 60%, atendendo aproximadamente 100% dos domicílios das sedes urbanas dos municípios da Bacia PJ, apenas o município de Extrema possui estação de tratamento de esgoto, a qual tratou, em 2015, 46,33% do esgoto gerado no município, com lançamento no rio Jaguari (Ministério das Cidades, 2016). O município de Camanducaia lança todo seu esgoto no rio Camanducaia, assim como, Itapeva. No município de Toledo o esgoto coletado pela COPASA é lançado em seis diferentes pontos *in natura* no rio Guardinha. Com relação ao município de Sapucaí-Mirim, o esgoto coletado pela COPASA é lançado no rio Sapucaí-Mirim, fora dos limites geográficos da Bacia PJ (IRRIGART, 2013).

2.5 Demandas de água na Bacia PJ

A Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), que institui a Política nacional de Recursos Hídricos e regulamenta o uso das águas no Brasil, tem como instrumentos de gestão a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso desses recursos. Assim, a outorga tem como objetivo "assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo direito de acesso à água". Estão sujeitos a outorga os seguintes usos: derivação ou captação de água superficial; extração de aquíferos; lançamento em água

superficial de resíduos líquidos ou gasoso, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; e qualquer outro uso que altere o regime, a quantidade ou a qualidade da água (BRASIL, 2007). São desobrigados da outorga o uso de recursos hídricos por pequenos núcleos populacionais rurais e as derivações, captações, lançamentos e acumulações de volumes de água considerados insignificantes (BRASIL, 2007).

A Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, criada pela Lei nº. 9.984, de 2000 (BRASIL, 2000), que lhe conferiu, entre outras atribuições, a de outorgar o direito de uso de recursos hídricos em águas da União. O órgão com atribuição de outorgar o direito de uso de recursos hídricos em águas de domínio do estado de Minas Gerais é o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). A análise da demanda hídrica na Bacia PJ foi realizada com base nos cadastros de usuários em cobrança federal e cobrança estadual mineira no ano de 2016 (Agência das Bacias PCJ, 2016). Conforme os dados dos cadastros (Agência das Bacias PCJ, 2016), 44 usuários ativos em cobrança estavam cadastrados nos municípios da Bacia PJ no ano de 2016, sendo 17 outorgas em cobrança federal e 27 outorgas em cobrança estadual mineira (Tabela 2.9).

Tabela 2.9 - Usuários de água ativos em cobrança, por segmento, nos municípios da Bacia PJ.

Município	Segmento	Número de Usuários			
		Outorga federal		Outorga estadual	
		Captação	Lançamento CO	Captação	Lançamento CO
Toledo	Saneamento	1	1	-	-
	Indústria	-	-	2	1
	Agropecuária	-	-	-	-
	Outros	-	-	-	-
Sapucaí-Mirim	Saneamento	-	-	-	-
	Indústria	-	-	-	-
	Agropecuária	-	-	-	-
	Outros	-	-	-	-
Itapeva	Saneamento	-	1	1	-
	Indústria	-	-	1	-
	Agropecuária	-	-	-	-
	Outros	-	-	-	-
Camanducaia	Saneamento	1	2	1	1
	Indústria	1	1	3	-
	Agropecuária	-	-	1	-
	Outros	-	-	2	-
Extrema	Saneamento	1	1	1	-
	Indústria	2	6	8	3
	Agropecuária	-	-	-	-
	Outros	-	-	2	-
Bacia PJ	Saneamento	3	4	3	1
	Indústria	3	7	14	4
	Agropecuária	-	-	1	-
	Outros	-	-	4	-

Onde: CO = Carga orgânica. Fonte: Agencia das Bacias PCJ (2016). Org.: Garofalo, 2017.

A Agência PCJ utiliza uma classificação de usuários por segmentos a qual considera o setor de atuação do usuário, finalidade que possui maior representatividade no valor cobrado do usuário e publicações da própria ANA (Agência PCJ, 2016), com os seguintes segmentos no contexto da Bacia PJ:

- a) Saneamento - usuários com finalidades de abastecimento público e esgotamento sanitário;
- b) Indústria - usuários que declaram esta finalidade de uso no CNARH.
- c) Agropecuário - usuários cujos fins são irrigação, criação animal ou aquicultura,
- d) Outros - engloba empreendimentos que não se enquadram nos demais, como universidades, hotéis, clubes etc.

Extrema é o município da Bacia PJ com maior número de outorgas. Em 2016 o segmento Saneamento captou mais de dois milhões de m³ de água, dos quais consumiu 1.416.912 m³, gerando uma carga orgânica de aproximadamente 195 m³. Destaca-se também o consumo industrial nesse município, que totalizou 519.414,23 m³, superando o consumo por Saneamento nos demais municípios da Bacia PJ (Tabela 2.10 e Figura 2.10).

Tabela 2.10 - Volume captado e consumido e lançamento de carga orgânica por segmento de usuários nos municípios da Bacia PJ, no ano de 2016.

Município	Finalidade	Volume (m ³) - 2016				Total
		Saneamento	Indústria	Agropecuário	Outros	
Toledo	Captação	254.736,00	109.555,20	0,00	0,00	364.291,20
	Consumo	45.972,00	10.965,12	0,00	0,00	56.937,12
	Lançamento CO	28,28	0,15	0,00	0,00	28,43
Itapeva	Captação	758.937,60	37.127,04	0,00	0,00	796.064,64
	Consumo	200.544,00	3.718,56	0,00	0,00	204.262,56
	Lançamento CO	55,41	0,00	0,00	0,00	55,41
Camanducaia	Captação	1.043.539,20	315.312,00	1.586.976,00	10.599,36	2.956.426,56
	Consumo	233.052,00	212.649,24	386.244,00	2.036,79	833.982,03
	Lançamento CO	53,82	0,34	118,81	180,25	353,21
Extrema	Captação	2.727.432,00	528.504,88	0,00	17.184,00	3.273.120,88
	Consumo	1.416.912,00	519.414,23	0,00	3.188,16	1.939.514,39
	Lançamento CO	194,67	143,13	0,00	0,00	337,80

Fonte: Agencia das Bacias PCJ (2016). Org.: Garofalo, 2017.

O segmento agropecuário captou 1.586.976,00m³ de água em Camanducaia no ano de 2016, com consumo de 386.244m³ e lançamento de aproximadamente 119 m³ de carga orgânica. O diagrama da Figura 2.10 evidencia os maiores consumos e captações pelo segmento Saneamento, conforme a demanda de cada município.

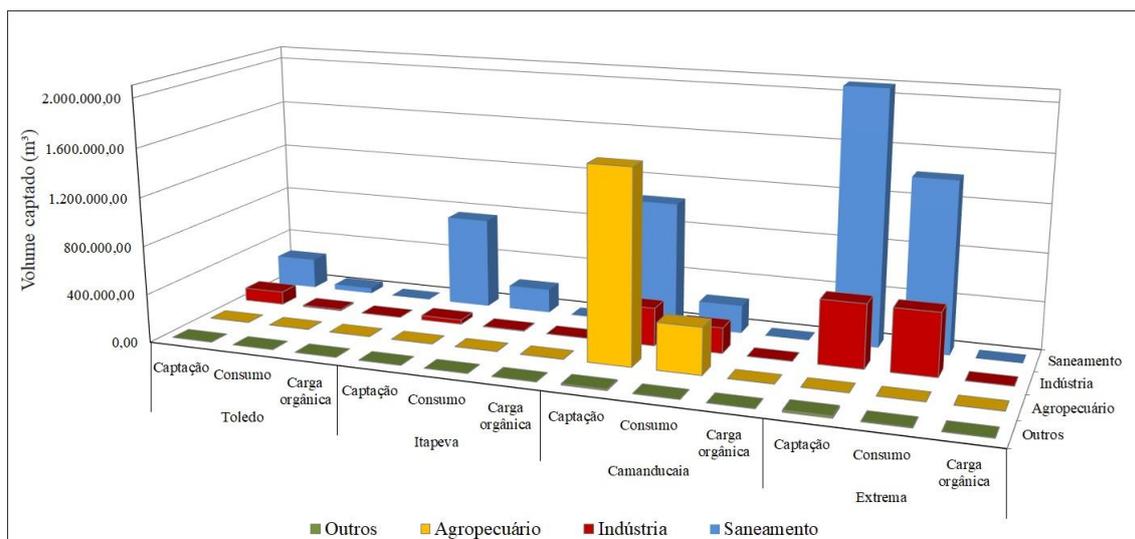


Figura 2.10 - Gráfico dos volume captado e consumido e lançamento de carga orgânica por segmento de usuários nos municípios da Bacia PJ, no ano de 2016.

Fonte: Agencia das Bacias PCJ (2016). Org.: Garofalo, 2017.

No contexto da Bacia PJ o segmento Saneamento é responsável pelos maiores volumes de captação e de consumo, com mais de 60% do total, seguido pelo Agropecuário e Indústria (Figura 2.11). Com relação ao lançamento de carga orgânica, o segmento Saneamento também é o mais representativo, seguido dos segmentos Outros, Indústria e Agropecuário, respectivamente (Tabela 2.11 e Figura 2.11).

Tabela 2.11 - Volume captado e consumido e lançamento de carga orgânica por segmento na Bacia PJ, no ano de 2016.

Município	Finalidade	Volume (m ³) - 2016				Total
		Saneamento	Indústria	Agropecuário	Outros	
Bacia PJ	Captação	4.784.644,80	990.499,12	1.586.976,00	27.783,36	7.389.903,28
	Consumo	1.896.480,00	746.747,15	386.244,00	5.224,95	3.034.696,10
	Carga orgânica	332,18	143,62	118,81	180,25	774,85

Fonte: Agência das Bacias PCJ (2016). Org.: Garofalo, 2017.

No ano de 2016, os usuários cadastrados dentro dos limites da Bacia PJ totalizaram um volume de captação de 7.389.903,28m³ de água, com consumo de 3.034.696,10m³ de água e lançamento de 775m³ de carga orgânica.

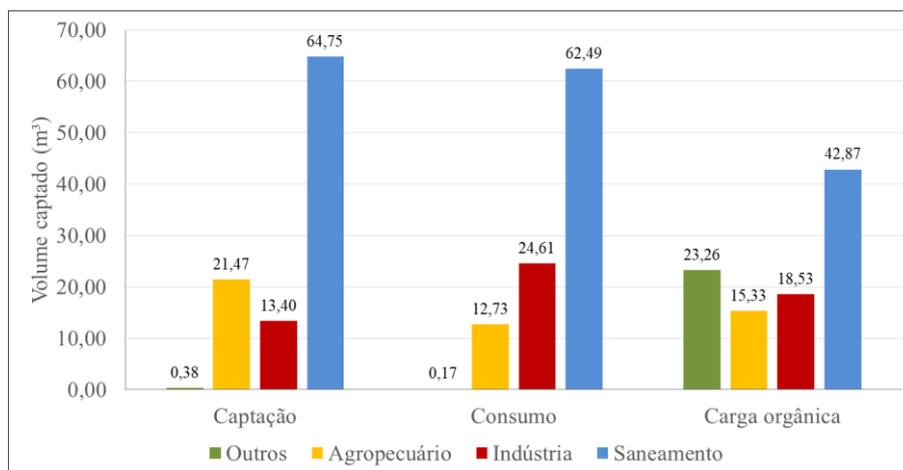


Figura 2.11 - Gráfico dos volume captado e consumido e lançamento de carga orgânica por segmento na Bacia PJ, no ano de 2016.

Fonte: Agência das Bacias PCJ (2016). Org.: Garofalo, 2017.

Conforme o Plano Diretor de Recursos Hídricos do município de Extrema, o rio Jaguari, na altura do exutório da Bacia PJ, apresenta uma disponibilidade hídrica da ordem de 9.364,3m³/h, que totaliza aproximadamente 82.031.268m³/ano, enquanto que as sub-bacias inseridas no município de Toledo, que não desaguam no rio Jaguari, totalizam uma disponibilidade hídrica da ordem de 1.131,33m³/h, totalizando 9.910.450,8m³/ano. Somando estas duas vazões anuais, a Bacia PJ apresenta uma vazão anual de aproximadamente 91.941.718,8m³/ano. Desta forma, a captação total realizada pelos usuários cadastrados na Bacia PJ no ano de 2016 foi de apenas 8% da disponibilidade total da Bacia PJ.

Estes dados comentados acima mostram a relevância da Bacia PJ como fornecedora de água para o Estado de São Paulo, sendo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) a maior beneficiada. Este fato destaca a importância dos programas de incentivo à conservação, preservação ambiental e recuperação de APP.

2.6 Projeto “Conservador das Águas”

O Projeto Conservador das Águas, do município de Extrema, foi criado a partir da promulgação da Lei Municipal 2.100, de 21 de dezembro de 2005 (EXTREMA, 2005), que se constitui na primeira lei municipal brasileira a regulamentar o Pagamento por Serviços Ambientais relacionados a água (PEREIRA et al., 2016).

O artigo 2º desta lei autoriza o Executivo a prestar apoio financeiro aos proprietários rurais habilitados que aderirem ao Projeto Conservador das Águas, mediante a execução de ações para o cumprimento de metas estabelecidas. Esse apoio é dado a partir do início da implantação das ações, e se estende por um período mínimo de quatro anos. Este projeto

destaca-se pela iniciativa pioneira na gestão dos recursos hídricos através do princípio do “Pagamento por Serviços Ambientais” prestados por produtores rurais em suas propriedades visando a melhoria da qualidade e quantidade das águas no município de Extrema (IRRIGART, 2008).

Conforme Pereira et al. (2016) o projeto tem como objetivo geral a manutenção da qualidade dos mananciais de Extrema através da adequação ambiental das propriedades rurais, e para isso apresenta os seguintes objetivos específicos

- “1. Promover ações municipais de apoio à sustentabilidade social, econômica e ambiental dos manejos e práticas implantadas, por meio de incentivos financeiros aos proprietários custeados pelo Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).
2. Reduzir os níveis de poluição difusa rural, decorrente dos processos de sedimentação e eutrofização e de falta de saneamento ambiental;
3. Difundir o conceito de manejo integrado de floresta, de solo e da água na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari;
4. Aumentar a cobertura florestal nas sub-bacias hidrográficas e implantar microcorredores ecológicos.” (PEREIRA et al., 2016, p.10).

Entre 2007 e 2015 foram realizados 186 Termos de Compromisso em propriedades rurais beneficiadas com o Pagamento por Serviços Ambientais, totalizando R\$ 3.774.768,44 (PEREIRA et al., 2016).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Apresentação

A fundamentação teórica foi pautada em eixos considerados fundamentais para o entendimento dos conceitos teóricos que envolvem o tema dessa pesquisa e o seu desenvolvimento. Neste contexto, são abordados os seguintes temas na revisão bibliográfica:

- Características físicas, químicas e biológicas de águas superficiais;
- Relação entre estrutura espacial da paisagem e padrão de qualidade de água;
- Extrapolação de parâmetros de qualidade da água;
- Formação de Regiões de Qualidade da água a partir do agrupamento de sub-bacias hidrográficas; e,
- Análise geoespacial e Sensoriamento Remoto.

3.2 Características físicas, químicas e biológicas de águas superficiais

A água pode ser caracterizada a partir de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Dentre as propriedades físicas, são discutidas neste trabalho: temperatura, condutividade elétrica, turbidez e total de sólidos dissolvidos. Com relação às propriedades químicas, discute-se: pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio/nitrato e cloreto. Quanto às características biológicas, são debatidos os coliformes totais e a bactéria *E. coli*. Nesta tese, a definição de tais propriedades da água toma como referências principais: APHA (1998), CETESB (2009), Libânio (2010), Tundisi e Matsumura Tundisi (2008), CETESB e ANA (2011), Parron et al. (2011), Von Sperling (2007) e Von Sperling (2014).

3.2.1 Propriedades físicas

3.2.1.1 Temperatura

De acordo com Libânio (2010:25), “a temperatura da água indica a magnitude da energia cinética do movimento aleatório das moléculas e sintetiza o fenômeno de calor à massa líquida”. As alterações da temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical (CETESB, 2009; LIBÂNIO, 2010). A temperatura superficial dos corpos d’água é influenciada por fatores tais como: latitude, altitude em relação ao nível do mar, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade, e, quando de origem antrópica, do

lançamento de despejos industriais (VON SPERLING, 2007; CETESB, 2009; LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2014).

A temperatura exerce função relevante no meio aquático, sendo diretamente proporcional à algumas variáveis físico-químicas e biológicas. Elevações da temperatura da água aumentam a taxa das reações físicas, químicas e biológicas (na faixa usual de temperatura); diminuem a solubilidade dos gases (e.g. oxigênio dissolvido); e aumentam a taxa de transferência de gases (o que pode gerar mau cheiro, caso seja liberado gases com odores desagradáveis) (VON SPERLING, 2014).

Organismos aquáticos apresentam limites de tolerância térmica, superior e inferior, além da temperatura ter influência no metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático e no aumento microbiológico (DEZUANE, 1997; CETESB, 2009).

A aferição da temperatura da água na superfície de corpos d'água pode ser realizada com termômetro de imersão parcial ou por meio dos sensores de temperatura de equipamentos eletrométricos, tais como multiparâmetros, submergindo-os diretamente no corpo d'água ou em amostra coletada (na superfície) com recipiente de aço inox (CETESB e ANA, 2011).

3.2.1.2 Condutividade Elétrica

A capacidade da água natural de transmitir a corrente elétrica pode ser expressa numericamente pela condutividade elétrica, que está relacionada com a presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Em decorrência disso, é diretamente proporcional à concentração iônica (APHA, 1998; LIBÂNIO, 2010; CETESB e ANA, 2011). Desta forma, a condutividade indica a quantidade de sais presentes na água, fornecendo uma medida indireta da concentração de poluentes e uma indicação das alterações na composição do corpo d'água (CETESB e ANA, 2011).

Soluções nas quais se faz presente a maioria dos compostos inorgânicos apresentam alta condutividade, enquanto que compostos orgânicos que não se dissociam em soluções aquosas, quando presentes reduzem a condutividade (APHA, 1998; LIBÂNIO, 2010).

A condutividade elétrica da água relaciona a resistência elétrica ao comprimento e é expressa normalmente em $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microSiemens), e concentrações acima de $100\mu\text{S}/\text{cm}$ (micro Siemens/cm) geralmente indicam ambientes impactados (CETESB e ANA, 2011). Todavia, sub-bacias hidrográficas com composição litológica rica em magnésio, sódio, potássio, dentre outros, podem apresentar, naturalmente, altos valores de CE em suas águas.

A medição da condutividade é realizada preferencialmente em campo, diretamente no corpo d'água, ou por meio de amostra coletada, na superfície, com recipiente de aço inox,

sendo aferida com um condutivímetro acoplado a uma sonda ou sensor logo após a coleta (CETESB e ANA, 2011). Os procedimentos de calibração do equipamento eletrométrico devem ser realizados conforme as recomendações técnicas do fabricante.

3.2.1.3 Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o nível de abrandamento de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão maiores que o comprimento de onda da luz branca, tais como partículas inorgânicas - areia, silte e argila - e detritos orgânicos - algas, microrganismos e plâncton (CETESB, 2009). Assim, a turbidez é uma expressão da propriedade ótica que faz com que a luz seja dispersada e absorvida em vez de transmitida sem nenhuma mudança na direção ou nível de fluxo através da amostra (APHA, 1998).

Os fatores naturais que mais afetam a turbidez da água são as partículas de rocha, argila e silte, além de algas e outros microrganismos, enquanto que a interferência da turbidez por atividades antrópicas ocorre principalmente devido aos despejos domésticos e industriais e por erosões (VON SPERLING, 2014).

A turbidez é expressa por meio de unidades de turbidez, também denominadas unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (LIBÂNIO, 2010). O método utilizado para aferir a turbidez é o nefelométrico, que é um método secundário, indireto, baseado na determinação da intensidade de luz dispersa pela amostra num determinado ângulo (e.g. ângulo de 90°) em relação à direção da luz incidente, comparada com a intensidade de luz dispersa por uma suspensão-padrão (CETESB e ANA, 2011).

A determinação da turbidez pode ser realizada em campo com o auxílio de um turbidímetro e seus procedimentos de calibração devem seguir as recomendações e especificações técnicas do fabricante (CETESB e ANA, 2011).

3.2.1.4 Total de Sólidos Dissolvidos (TSD)

TSD é a medida referente à quantidade de material dissolvido em água. Este material pode incluir carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio, sódio, íons orgânicos, e outros íons, medindo assim, a concentração de substâncias iônicas, sendo expressa em mg/L (PARRON et al., 2011).

As fontes primárias de TSD em cursos d'água são de origem agrícola, de lixiviados de contaminação do solo, de origem geológica e de fontes pontuais de lançamento de efluentes.

As concentrações elevadas destes íons, orgânicos e inorgânicos, podem ser prejudiciais aos organismos aquáticos (PARRON et al., 2011).

Uma das formas de se estimar o valor de TSD é através da conversão da medida de condutividade elétrica, em que o valor de condutividade elétrica é multiplicado por um fator de conversão, que depende da composição química do TSD e pode variar entre, aproximadamente, 0,5 e 1 (PARRON et al., 2011).

3.2.2 Propriedades químicas

Os parâmetros químicos se configuram como importantes indicativos de elementos que reagem com a água, podendo influir nos organismos vivos em determinadas concentrações e também indicar a poluição do meio aquático (ZUMACH, 2003). Com relação às propriedades químicas, são descritas neste item: pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio/nitrato e cloreto.

3.2.2.1 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é o cologarítimo da concentração de íons hidrogênio em uma amostra, expresso em mol/L. Seu valor varia de 0 a 14, onde, à temperatura de 25 °C, água com valor de pH inferior a 7 é considerada ácida; com valor acima de 7 é considerada básica ou alcalina; e, com valor igual a 7 é considerada como uma água neutra (TUNDISI e MATSUMURA TUNDISI, 2008; LIBÂNIO, 2010; CETESB e ANA, 2011). Quanto menor for o valor do pH de uma substância, maior é a concentração de íons hidrônio (H_3O^+) e menor a concentração de íons OH^- ; o inverso é verdadeiro para água básica ou alcalina (CETESB e ANA, 2011).

O pH influencia diretamente os ecossistemas aquáticos naturais, devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies (PARRON et al., 2011). Há também o efeito indireto, em que determinadas condições de pH podem contribuir para a precipitação de elementos químicos e/ou exercer efeitos sobre as solubilidades de diversas substâncias (CETESB, 2009). Ao influir na solubilidade de substâncias, há como consequência alteração na intensidade da cor, na distribuição das formas livres e ionizadas de diversos compostos químicos, definindo também o potencial de toxicidade de vários elementos (LIBÂNIO, 2010).

Conforme Libânio (2010), as águas naturais de superfícies apresentam pH variando de 6,0 a 8,5, intervalo adequado à manutenção da vida aquática. A presença de CO_2 , ácidos minerais e sais hidrolisados é uma das principais causas da acidez no meio aquático (pH baixo), uma vez que na reação entre um ácido e a água, o íon hidrogênio é liberado,

acidificando o meio. As variações do pH no meio aquático estão relacionadas a fatores naturais, como a dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, e também a fatores antropogênicos, a exemplo do despejo de esgotos domésticos e efluentes industriais (PEREIRA, 2004, VON SPERLING, 2005; TUNDISI e MATSUMURA TUNDISI, 2008).

A determinação de pH é realizada direto no corpo d'água ou em uma amostra coletada com equipamento apropriado, como balde de aço inox, em superfície. A determinação de pH deve ser realizada com eletrodos específicos e os procedimentos de ajustes dos equipamentos eletrométricos devem ser realizados de acordo com as recomendações e especificações técnicas do fabricante (CETESB e ANA, 2011).

3.2.2.2 Oxigênio dissolvido

A concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) é referente ao percentual da concentração de saturação, sendo a concentração de OD à saturação diretamente proporcional à pressão atmosférica, inversamente à altitude e indiretamente proporcional à temperatura, de modo que, a concentração de OD à saturação traduz a concentração teórica máxima àquela temperatura e pressão (LIBÂNIO, 2010).

O autor destaca ainda que, além das ações antrópicas no lançamento de efluentes, as concentrações de OD podem variar em função de fatores naturais. Cursos d'água com velocidade elevada favorecem o aporte de oxigênio da atmosfera, devido à diminuição da temperatura e maior contato água/atmosfera. Assim, a taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido em águas naturais através da superfície depende das características hidráulicas e é proporcional à velocidade, sendo a taxa de reaeração superficial, em trechos encachoeirados, maior do que em trechos com gradiente menor (CETESB, 2009). Há ainda a produção de OD pelos organismos fotossintéticos (VON SPERLING, 2014).

Contudo, em corpos d'água lênticos a concentração de OD pode superar à de saturação em dias de intensa atividade fotossintética das plantas aquáticas e da comunidade de algas (LIBÂNIO, 2010). Todavia, estas fontes de OD não são significativas nos trechos de rios à jusante de lançamentos de despejos industriais e domésticos, uma vez que as elevações da turbidez e da cor da água dificultam a penetração dos raios solares. Assim, apenas algumas espécies, resistentes às condições severas de poluição, sobrevivem (CETESB, 2009).

As variações nos teores de OD estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água. Tundisi e Matsumura Tundisi (2008) destacam que a concentração de oxigênio dissolvido na água superficial pode sofrer redução quando

umenta consideravelmente a concentração de material em suspensão na água, após intensas precipitações. Para a manutenção da vida aquática aeróbia são necessários teores mínimos de 2 a 5 mg/L, conforme o grau de exigência de cada organismo (LIBÂNIO, 2009). Assim, os níveis de OD indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática (CETESB, 2009).

A elevação da temperatura ou a eutrofização do corpo d'água podem acarretar no decréscimo de OD da água superficial (CLESCERI et al., 1999). De acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB e ANA, 2011), existem três métodos eletrométricos para a determinação de oxigênio dissolvido em corpos d'água:

- Polarográfico – O sistema trabalha por pulso elétrico;
- Galvânico – O sistema é constituído de uma célula galvânica que, pela difusão do oxigênio dissolvido através da membrana, realiza a determinação.
- Ótico – O sistema realiza a determinação por luminescência.

A medição de OD pode ser realizada diretamente no corpo d'água ou no recipiente coletor de amostras com a utilização de um oxímetro e sonda acoplada, e os procedimentos de ajustes dos equipamentos eletrométricos devem ser realizados de acordo com as recomendações e especificações técnicas do fabricante (CETESB e ANA, 2011).

3.2.2.3 Nitrogênio/nitrato

Quando presente em corpos d'água, o nitrogênio pode ser encontrado em função do seu estado de oxidação, que varia de -3 a +5, sob as formas:

- “i) nitrogênio orgânico na forma dissolvida (compostos orgânicos nitrogenados como ureia e aminoácidos) e partícula integrando a biomassa dos organismos do meio aquático;
- ii) nitrogênio molecular (N_2), sujeito a constantes perdas na atmosfera;
- iii) nitrogênio amoniacal, gás amônia (NH_3) e íon amônio (NH_4^+), formas reduzidas presentes em condições anaeróbicas;
- iv) nitrito (NO_2^-), forma intermediária encontrada em concentrações insignificantes sob condições aeróbicas em virtude da quase instantânea oxidação a nitrato;
- v) nitrato (NO_3^-), forma oxidada e nutriente essencial para a maioria dos organismos do corpo hídrico” (LIBÂNIO, 2010, p.56).

As etapas de degradação da poluição orgânica podem ser associadas por meio da relação entre as formas de nitrogênio. “Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas” (CETESB, 2009, p.25). Ou seja, se as análises da água, de um corpo d'água poluído, demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se

encontra próximo. Por outro lado, se prevalecerem o nitrito e o nitrato, significa que as descargas de esgotos se encontram distantes (CETESB, 2009).

As principais fontes naturais da parcela dissolvida do nitrogênio nas águas superficiais constituem basicamente a decomposição e excreção do fitoplâncton e das macrófitas, proteínas, clorofila e outros compostos biológicos (VON SPERLING, 2007; LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2014). A presença do nitrogênio de origem antrópica nos corpos d'água são decorrentes de despejos domésticos - do qual a totalidade de nitrogênio é proposta por 40% de nitrogênio orgânico e 60% de amônia -; efluentes industriais; criadores de animais; e fertilizantes, na forma de nitrato, utilizados na agricultura e lixiviados pelas chuvas (TUNDISI e MATSUMURA TUNDISI, 2008; LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2014).

O nitrato (ânion NO_3^-) tende a ocorrer em quantidades traços em águas superficiais, geralmente inferiores a 2 mg/L, não devendo apresentar concentração superior à 10 mg/L em águas de consumo, conforme estabelecido pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde (LIBÂNIO, 2010; PARRON et al., 2011). A análise química do nitrato pode ser feita por espectrometria UV-Visível ou cromatografia iônica (PARRON et al., 2011).

3.2.2.4 Cloreto

O cloreto (ânion Cl^-), quando presente em águas superficiais, pode ser de origem natural, oriundo de fontes de água subterrânea (nesta, o cloreto é proveniente da percolação da água através de solos e/ou rochas) e intrusão de águas salinas, e de origem antrópica, proveniente de descargas de esgotos sanitários (cada pessoa expele através da urina cerca 4g de cloreto por dia), efluentes industriais (indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes e outras) e águas utilizadas em irrigação (CETESB, 2009; VON SPERLING, 2014). Assim, o aumento brusco do teor do íon cloreto em águas superficiais é uma indicação de poluição da água por águas residuais.

O Cl^- ocorre normalmente nas águas naturais em quantidades muito variáveis (águas residuais apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam 15 mg/L), e sua presença torna-se indesejável quando acima de 250 mg/L, devido ao gosto salino (ZUMACH, 2003). A Portaria 518/04 do Ministério da Saúde estabelece o valor máximo de 250 mg/L de cloreto na água potável como padrão de aceitação de consumo. Em ecossistemas aquáticos naturais, células de microrganismos podem ter sua pressão osmótica alterada em função da concentração de cloreto (CETESB, 2009).

3.2.3 Propriedades biológicas – Coliformes totais e *E. coli*

As propriedades biológicas das águas naturais são referentes aos diversos microrganismos que habitam o ambiente aquático. Quando presentes possibilitam a transmissão de doenças e a transformação da matéria orgânica dentro dos ciclos biogeoquímicos de diversos elementos (LIBÂNIO, 2010).

O controle da qualidade da água para minimizar a possibilidade de transmissão de doenças fundamenta-se na análise de microrganismos indicadores, sendo os microrganismos do grupo dos *coliformes totais* os mais usuais (LIBÂNIO, 2010). Por serem, na maioria dos casos, de origem fecal – as bactérias do grupo *coliforme* habitam o trato intestinal dos animais de sangue quente (LIBÂNIO, 2010), estas bactérias podem indicar a presença de outros organismos patogênicos (ZUMACH, 2003). Os coliformes também ocorrem naturalmente no solo e na vegetação.

Conforme o autor, uma pessoa elimina diariamente uma quantidade elevada dessas bactérias (54g/hab./dia), culminando em concentrações de 10^6 a 10^8 organismos/mL nos esgotos domésticos. Eleva-se, assim, a probabilidade da existência de coliformes nas amostras de água bruta e a possibilidade da presença de patogênicos a estes associados nas proximidades de aglomerações urbanas sem tratamento.

O termo “coliformes totais” abrange um amplo grupo de bactérias ambientais e de origem fecal capazes de sobreviver em meio aquático, fermentar lactose e produzir ácido ou aldeído em 24 horas à temperatura de 35 a 37°C. Já as bactérias denominadas *termotolerantes* são capazes de fermentar a lactose em temperatura de 44,5°C por um prazo de 48 horas, e são compostas, predominantemente (próximo de 90%), pelas bactérias do gênero *Escherichia coli* (*E. coli*) (LIBÂNIO, 2010).

A *E. coli* apresenta tempos variáveis de sobrevivência no ambiente, exibe baixa ocorrência no solo e na vegetação, e geralmente não se multiplica no ambiente aquático. Por conta disso, há um amplo emprego do exame de *E. coli* no monitoramento de água, com o propósito de avaliar a probabilidade da presença de protozoários e outros patógenos (LIBÂNIO, 2010).

Uma das formas de se analisar a ocorrência, qualitativa e quantitativa, de coliformes totais e fecais é por meio da contagem em substrato cromogênico, que apresenta os resultados em termos de NMP/100mL (Número Mais Provável por 100mL), com tempo de resposta de 24 horas, e apresenta a determinação simultânea de *E. Coli* e coliformes totais, com intervalo de confiança de 95% (LIBÂNIO, 2010).

3.4 – Relação entre estrutura espacial da paisagem e padrão de qualidade de água

A teoria geral dos sistemas constitui em base teórica propícia à análise das relações existentes entre as variáveis biofisiográficas e os parâmetros de qualidade de água da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG).

A princípio, a teoria geral dos sistemas foi formulada nos Estados Unidos, sendo de R. Defasy, em 1929, e de Ludwig Bertalanffy, a partir de 1932, as primeiras aplicações na termodinâmica e na biologia (CHRISTOFOLETTI, 1979). Bertalanffy considera esta teoria como uma ciência da totalidade, referindo-se a qualquer *unidade* em que *o todo é mais do que a soma das partes* (VASCONCELLOS, 2002). No campo da Geografia Física, o conceito de sistemas teve suas bases conceituais delineadas e aplicadas por Strahler, a partir de 1950, por Chorley, a partir de 1962 (CHRISTOFOLETTI, 1999) e por Hugget (1980).

Christofoletti (op. cit.) destaca duas definições importantes de sistema, apresentadas por Chorley e Kennedy (1971) e Haigh (1985). Chorley e Kennedy (op. cit.) definem sistema como:

“conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis [...] que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão”.

Definição semelhante é apresentada por Haigh (op. cit.), ao apontar que:

“um sistema é uma totalidade que é criada pela integração de um conjunto estruturado de partes componentes, cujas inter-relações estruturais e funcionais criam uma retidão que não se encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas”.

De acordo com Christofoletti (1979), conforme tais definições, os sistemas devem incluir: a) *elementos e unidades* – que são suas partes componentes; b) *relações* – inter-relações entre os elementos integrantes do sistema, por meio de conexões que apontam os fluxos; c) *atributos* – qualidades que se atribuem aos elementos ou ao sistema, com o objetivo de caracterizá-los. Os atributos podem se referir ao comprimento, volume, área, características da composição e outros; d) *entrada* – constituída por todo material que o sistema recebe; e) *saída* – as entradas recebidas pelo sistema sofrem alterações e, depois, são encaminhadas para fora.

Christofoletti (1979) ressalta ainda que os sistemas são compostos por: 1) *matéria* – material mobilizado através do sistema; 2) *energia* – forças que o fazem funcionar, gerando a capacidade de realizar trabalho (energia potencial – força inicial que leva ao funcionamento do sistema. A gravidade funciona como energia potencial no sistema hidrológico; e energia

cinética – surge após o material estar em movimento, via energia potencial); e 3) *estrutura* – constituída pelos elementos do sistema e suas relações.

Os sistemas podem ser *isolados* e *não-isolados*. Conforme exposto por Christofolletti (1979, 14), os *sistemas isolados* são aqueles que “dadas as condições iniciais, não sofrem mais nenhuma perda nem recebem energia ou matéria do ambiente que o circundam”. Já os *sistemas não-isolados*, conforme o referido autor, “mantêm relações com os demais sistemas do universo no qual funciona, podendo ser subdivididos em *fechados*, quando há permuta de energia [...], mas não de matéria [...] e *abertos*, são aqueles nos quais ocorrem constantes trocas de energia e matéria”.

Neste contexto, a bacia hidrográfica, caso típico de *sistema não-isolado aberto*, é constituída pelo conjunto de superfícies/vertentes que, por meio de canais e afluentes, drenam água de chuva, sedimentos e substâncias dissolvidas, para um canal principal, cuja vazão ou deflúvio converge numa saída única - foz do canal principal num outro rio, lago ou mar (COELHO NETTO, 1995; SILVEIRA, 2001), tendo comportamento hidrológico dependente de suas características geomorfológicas, geológicas, pedológicas, climáticas e uso da terra e cobertura vegetal (LIMA, 1996).

Libânio (2010) salienta que:

“o corpo d’água, rio ou lago sempre inclui a bacia hidrográfica que, por sua vez, imprimir-lhe-á muitas das suas características no que tange à geologia, à pedologia, à morfologia, à hidrologia, à vegetação, ao clima predominante e, principalmente, às atividades antrópicas nelas desenvolvidas” (p.15).

Tal afirmação é corroborada por Azevedo Netto (1991), ao afirmar que a água transporta substâncias e organismos, derivados dos locais pelos quais calhou.

Deste modo, a qualidade da água de uma região é influenciada por variáveis naturais (precipitações, litotipos, cobertura vegetal, padrões morfométricos, etc.) e pela influência antrópica (uso agrícola, concentração urbana, atividade industrial, vias de circulação, etc.) (ANDRADE et al., 2007; VON SPERLING, 2014). Por isso, as bacias hidrográficas se configuram como unidades funcionais na investigação da influência de tais processos na qualidade da água superficial dos rios.

3.4.1 Variáveis fisiográficas das bacias hidrográficas

A análise da morfometria de uma bacia hidrográfica pode ser realizada por meio de parâmetros que permitem descrever o comportamento hidrológico provável, a partir da análise de variáveis da rede de drenagem e do relevo (SANTOS e SOBREIRA, 2008). A análise morfométrica constitui-se em alternativa metodológica utilizada pela geomorfologia, para

entender como se dão as interações entre vários elementos constituintes e seus efeitos em processos como erosão, transporte de sedimentos e nutrientes, sedimentação, entre outros – que ocorrem no sistema bacia hidrográfica.

A distância percorrida pelo escoamento superficial (Extensão do Percurso Superficial - EPS) é um fator relacionado com a qualidade da água de canais fluviais. De acordo com Horton (1945) a EPS representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, e, está diretamente relacionada à densidade de drenagem.

Segundo Smith et al. (1997), em bacias com altos valores de densidade hidrográfica, a distância percorrida pelo escoamento superficial até atingir os cursos d'água, é menor. Já em bacias com baixa densidade hidrográfica o percurso até os cursos d'água é extenso. Em princípio, quanto maior o valor da EPS, maior tende a ser a suscetibilidade da vertente à processos erosivos, uma vez que à medida que o caminho percorrido pela água é maior, o volume e a velocidade do escoamento superficial das águas aumenta proporcionalmente, assim, aumentando a entrada de sedimentos nos canais fluviais, contribuindo para a elevação dos valores de turbidez e sólidos totais dissolvidos nos cursos d'água (NOORI et al., 2010). Todavia, a inclinação da vertente também apresenta relação com o potencial erosivo do escoamento superficial.

Conforme exposto por Valeriano (2008), o aumento da declividade de uma vertente provoca o acréscimo da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, aumenta também a sua capacidade erosiva, potencializando o transporte de sedimentos para o curso d'água a jusante.

Robertson et al. (2003) constataram que em 234 bacias hidrográficas do Meio-Oeste dos Estados Unidos a concentração de nitrogênio total da água superficial das bacias apresentava uma correlação negativa (-0,66; $p < 0,05$) com a declividade média. Estes pesquisadores associam tal relação ao fato dos cultivos agrícolas estarem localizados principalmente nas áreas de baixa declividade.

Estudo realizado por Clément et al. (2017) demonstrou que a declividade integra os principais fatores que controlam a qualidade da água em um grande número de bacias hidrográficas no leste do Canadá. Neste estudo, os autores avaliaram a qualidade da água dos rios a partir de bioindicadores, utilizando diatomáceas bentônicas, uma vez que estas estão na base das redes alimentares aquáticas e estão entre os primeiros organismos a responderem às mudanças ambientais. O índice biótico apresentou correlação positiva com a variável vertentes íngremes ($R^2 = 0,55$; $p < 0,01$) e correlação negativa com as áreas de planície, de baixa declividade, onde se concentra a maior parte da agricultura intensiva.

Valeriano (2008) salienta também que a forma da vertente apresenta ampla relação com os processos de transporte de sedimentos e acúmulo de umidade, provocados pela ação da gravidade. De acordo com Casseti (2005), vertentes côncavas-convergentes tendem a concentrar o fluxo de escoamento pluvial, que pode levar à formação de sulcos ou ravinas, aumentando o volume de material transportado para os cursos d'água. Além disso, vertentes côncavas-convergentes tendem a conservar a umidade do solo por mais tempo.

Thomaz (2007) avaliou a variação da umidade de água no solo em uma vertente na região de Guarapuava-PR. Em períodos de déficit hídrico, o autor constatou que nos horizontes superficiais do solo (aproximadamente 25 cm), os setores côncavos da vertente registraram menor redução de umidade (80% de água disponível) em relação aos setores retilíneos, convexos, topos e terraço fluvial, em que ambos apresentaram disponibilidade abaixo de 26%. As zonas úmidas são reconhecidas como filtros eficazes para a remoção de nutrientes e são especialmente eficazes na sorção de nitrato (HOWARTH et al., 1996; SEITZINGER, 1988).

3.4.2 Variáveis de uso da terra e cobertura florestal

Embora a erosão, laminar e concentrada, e a infiltração sejam processos naturais, que fornecem sedimentos e matéria aos sistemas aquáticos, as atividades antrópicas podem alterar as taxas destes processos. Estas alterações interferem no volume, taxa e momento de entrada de sedimentos e nutrientes em rios e lagos, afetando processos físicos e químicos e as adaptações das espécies aos regimes de sedimentação preexistentes (ANA, 2010). A interferência humana, quer de forma pontual, como na geração de efluentes domésticos ou industriais, quer de uma forma dispersa ou difusa, com a inserção de defensivos agrícolas no solo, contribui na introdução de compostos na água, alterando sua qualidade (VON SPERLING, 2014).

As relações entre uso da terra e cobertura vegetal e a qualidade das águas superficiais são comprovadas pela literatura. A conversão de remanescentes florestais em usos agrícola e urbano, tem sido responsável pela diminuição da qualidade da água dos corpos d'água adjacentes (FREITAS, 2000; GERGEL et al., 2002; BHAT et al., 2006; BONNET et al., 2008; LI et al., 2016). Clément et al. (2017) destacam que, enquanto as terras agrícolas e urbanas, sem práticas conservacionistas, funcionam como fontes poluidoras, as áreas de remanescentes florestais atuam como sumidouros de poluição. As matas ciliares ao longo dos corpos d'água fornecem serviços de qualidade da água através da filtragem de nutrientes, sedimentos e outros contaminantes presentes na superfície (SHEN et al., 2015).

Os solos em áreas florestais possuem uma camada orgânica superficial altamente rica em detritos vegetais e substâncias húmicas em diferentes estágios de decomposição. Estes solos possuem macroporosidade, baixa densidade e altas taxas de infiltração, o que dificulta a formação de crostas e reduz o desprendimento de partículas do solo (NEARY et al., 2009).

O escoamento superficial em ambientes florestais tende a ser menor, prevalecendo o escoamento subsuperficial e o fluxo subterrâneo. Por isto, a maior parte das chuvas que atinge o solo em áreas florestais se infiltra e o escoamento superficial hortoniano ocorre apenas durante os eventos de precipitação muito intensa (NEARY et al., 2009).

A rápida conversão da vegetação original em terras agrícolas, acompanhada pela intensificação da agricultura sem práticas conservacionistas, taxas crescentes de fertilizantes, crescimento populacional e a urbanização são os condutores comuns que têm alterado o ciclo de nutrientes nas regiões tropicais (FILOSO et al., 2006).

Com o processo erosivo-sedimentológico, a perda de solo é apenas um dos vários impactos, uma vez que os cursos d'água, geralmente, constituem o local de destino das partículas de solo removidas, alterando as características físicas e químicas da água dos corpos hídricos (SILVA et al., 2004; MARTINELLI e FILOSO, 2008). Tal fato contribui para a deterioração dos corpos d'água, sendo a sedimentação agravada ainda mais pelo transporte de contaminantes, tais como pesticidas e fertilizantes utilizados em cultivos agrícolas (MARTINELLI e FILOSO, 2008).

A poluição difusa em áreas rurais deve-se, em geral, ao escoamento superficial em solos agrícolas e ao fluxo de retorno da irrigação, e pode estar associada a sedimentos (carreados quando há erosão do solo), nutrientes (nitrogênio, fósforo, dentre outros) e aos pesticidas (MANSOR et al., 2006), que tendem a aumentar os valores de condutividade e salinidade da água dos corpos d'água (KORKANÇ et al. 2017).

Visando uma alta produtividade agrícola, a quantidade de fertilizantes aplicada nos cultivos tem sido cada vez maior, o que tem contribuído para o incremento de nitrogênio orgânico e inorgânico no meio ambiente (MUCHOVEJ et al., 1994). Kirchmann (1994) destaca que o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados é a principal fonte de nitrato para a água superficial em áreas agrícolas, principalmente quando a aplicação de fertilizantes ocorre antes de eventos de precipitação. Segundo Filoso et al. (2006), a entrada de nitrogênio nos rios brasileiros, derivado de atividades antrópicas, praticamente dobrou de 1995 a 2002, principalmente por causa da produção de nitrogênio por meio da fixação biológica em sistemas agrícolas.

Filoso et al. (2003) estimaram as entradas e as saídas de nitrogênio de origem antropogênicas na bacia hidrográfica do rio Piracicaba (SP), a partir de amostras de água coletadas de junho de 1995 a junho de 1997 em 10 estações do rio Piracicaba e seus afluentes. Os autores delimitaram 10 sub-bacias correspondentes às áreas de drenagem de cada estação de amostragem ao longo do rio principal e seus afluentes. Foi calculada a área das diferentes classes de uso e cobertura da terra bem como a população residente em cada sub-bacia. Os autores constataram que o fluxo médio anual de N inorgânico dissolvido e N total aumentou por um fator de 15 e 20 vezes, respectivamente, a partir das cabeceiras para o curso inferior do canal principal. Os autores verificaram que as sub-bacias cobertas por áreas de pastagem e de floresta tiveram os menores índices de saída de nitrogênio, enquanto que aquelas com uso preferencialmente agrícola e urbano tiveram os maiores índices de N.

Em estudo realizado nos trechos médio e alto do rio Paraitinga – SP, Esteves et al. (2015) avaliaram a variação espacial e temporal da qualidade da água e as características físicas dos habitats do rio, sendo amostrados dezesseis locais sob diferentes condições ripárias, incluindo floresta nativa, floresta secundária, pasto e eucalipto, durante a estação seca e chuvosa. Nesse estudo, as áreas ocupadas com pastagem e eucalipto apresentaram alta correlação com os maiores valores de nitrato, fósforo e condutividade elétrica, principalmente durante o período de chuvas.

Baseando-se em dados dos corpos d'água pesquisados no Inventário Nacional de Qualidade da Água, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2002) constatou que a poluição de fontes difusas provenientes da agricultura foi a principal causa de degradação da qualidade da água dos rios e lagos analisados (BAIRD et al., 2016).

Tais constatações são corroboradas por Fellenberg (1980), ao proferir que “a cobertura vegetal tem grande influência sobre o tempo de permanência dos fertilizantes no solo. Em campos desprovidos de vegetação, os minerais são removidos mais facilmente em relação aos solos cobertos por alguma vegetação”. Como exemplo, o autor cita que, em campos não cultivados, a quantidade de nitratos removida é de 10 a 20 vezes superior à de campos com cultivo permanente.

Martinelli e Filoso (2008) ressaltam que o escoamento superficial das precipitações em áreas de pecuária é associado, ainda, aos resíduos da criação animal – nutrientes, matéria orgânica e coliformes. As substâncias introduzidas nas águas com o estrume são, sobretudo, gás sulfúrico, amônia, cloreto e substâncias orgânicas (FELLENBERG, 1980).

Em estudo desenvolvido por Haddad e Júnior (2010), referente à influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel – MG, em dois períodos

sazonais, os autores constataram que as concentrações de coliformes totais foram maiores no período chuvoso, principalmente nas áreas de pastagem. Os autores relacionam estas altas concentrações à presença de material fecal animal nos solos das áreas destinadas à pecuária bovina. O incremento na água do rio se dá por meio do escoamento superficial, de forma difusa, devido aos eventos de precipitação. Os autores observaram ainda uma elevação dos valores de oxigênio dissolvido durante o período de chuva, enquanto que a turbidez quase não se alterou nos trechos com vegetação ripária, mas se elevou nas áreas com ausência desta.

As agroindústrias caracterizam-se como possíveis fontes de poluição pontual de sistemas aquáticos, por meio do lançamento de efluentes com grandes quantidades dos subprodutos e resíduos gerados (MARTINELLI e FILOSO, 2008), assim como águas residuais domésticas, quando lançadas nas águas superficiais, também são fontes de poluentes, tais como coliformes (MANSOR et al., 2006). Além disso, os efluentes domésticos ou industriais ao mesmo tempo provocam um aumento na condutividade da água dos rios nos quais são lançados (KORKANÇ et al., 2017).

Ao avaliarem a qualidade da água em bacias hidrográficas do rio Vacacaí-Mirim, no município de Santa Maria – RS, Souza et al. (2014) observaram que os valores de coliformes totais e *E. coli* foram menores nas áreas com cobertura natural e maiores nas áreas urbanizadas. O mesmo comportamento foi observado para a condutividade da água, enquanto que a concentração de oxigênio dissolvido apresentou comportamento oposto. Estas constatações corroboram a influência antropogênica na deterioração da qualidade da água, em áreas urbanas.

Outras estruturas antrópicas altamente relacionadas com a qualidade da água dos corpos d'águas adjacentes a elas são as vias de circulação. A partir de um modelo hidrológico, Wigmosta e Perkins (2001) estimaram que as estradas rurais podem aumentar o fluxo do escoamento superficial em 10 a 12% em pequenas sub-bacias hidrográficas (menores que 280 ha).

As vias de circulação, quando mal planejadas ou sem manutenção, aceleram os escoamentos superficiais, intensificando processos erosivos e transporte de sedimentos e nutrientes aos cursos d'água a jusante (FORMAN et al., 1998; WEMPLE et al., 2003; GROSSI, 2006). Silva et al. (2004) ressaltam que um dos parâmetros físicos da água mais afetados pelo aporte de sedimentos aos corpos d'água é a turbidez. Águas com alta turbidez tendem a oferecer refúgio à microrganismos eventualmente existentes e tóxicos, além de afetarem a entrada de luz no corpo hídrico. Com a diminuição da entrada de luz há também a diminuição da taxa de produção primária do ecossistema aquático, afetando toda a cadeia

alimentar, alterando, também, padrões de produção e consumo de gases como oxigênio, gás carbônico, entre outros (SILVA et al., 2004).

3.5 – Extrapolação de parâmetros de qualidade da água

Parâmetros de qualidade da água de rios não monitorados podem ser modelados estatisticamente. Os avanços nas análises estatísticas com as máquinas de aprendizagem, como árvores de regressão, redes neurais (NNs), *Support Vector Regression* (SVR), *K Nearest Neighbors Regression* (k-NNR), dentre outros métodos de aprendizado, têm permitido a obtenção de bons resultados para a previsão e extrapolação de parâmetros de qualidade da água. O princípio geral segundo o qual estes métodos estão baseados consiste em identificar relações ocultas existentes em um conjunto de dados e construir modelos que refletem processos que regem o sistema como um todo (SATTARI et al., 2016).

Robertson et al. (2003) aplicaram o método de análise de árvore de regressão espacial para estimar valores de concentração de fósforo total, nitrogênio total, sedimentos totais e sólidos suspensos, em um universo de 234 bacias hidrográficas do Centro-Oeste dos Estados Unidos. Para estas bacias, os autores compilaram dados ambientais como escoamento médio anual, temperatura do ar, tipos e espessuras de depósitos superficiais e uso e cobertura vegetal do solo. Para determinar as relações lineares entre cada parâmetro de qualidade da água e as características ambientais das bacias analisadas, os autores realizaram análises de coeficiente de determinação calculados a partir do modelo de regressão de Pearson, seguido por análises de regressão passo a passo (com nível crítico de entrada de 5%).

Este método foi utilizado para determinar a direção e a magnitude da interação entre estas variáveis, bem como, identificar a melhor relação multivariada para prever valores de parâmetros da água em pontos específicos, função de características ambientais da bacia hidrográfica. Os autores realizaram regressões passo a passo com todas as características ambientais e também sem as características de uso da terra, para determinar as três características ambientais que melhor previam a distribuição dos valores de cada parâmetro de qualidade da água. Os modelos com mais de três variáveis não aumentaram significativamente o valor acumulado do r , sendo, em geral, a porcentagem de floresta ou agricultura, as primeiras variáveis incorporadas aos modelos de todos os parâmetros de qualidade da água.

Dogan et al. (2009) avaliaram o desempenho de redes neurais artificiais para a previsão da concentração de demanda biológica de oxigênio (DBO) no rio Melan, na Turquia. Para tanto, os autores realizaram a análise de demanda química de oxigênio (DQO),

temperatura, oxigênio dissolvido, fluxo de água, clorofila- α e nutrientes, amônia, nitrito e nitrato, em onze pontos de amostragem na bacia do rio Melen, para prever a DBO. Dos dados laboratoriais, 51% foram utilizados no treinamento do modelo e 49% no teste do modelo. Os autores consideram que o modelo de redes neurais artificiais forneceu estimativas razoáveis para a predição de DBO.

Wang et al. (2010a) extrapolaram valores de concentração de Clorofila- α e substâncias suspensas a partir da análise da relação entre características espectrais de imagens Landsat-TM (bandas 1-3) e valores de concentração destes parâmetros, aferidos em campo, em doze pontos do Lago Taihu, na China. As extrapolações foram feitas pelo método *Support Vector Regression* (SVR) com kernel RBF – função radial (Gaussiana), e os resultados mostraram que os valores previstos foram próximos aos valores reais obtidos por meio de coleta de dados *in situ*.

De modo semelhante, Wang et al. (2010b) apresentam um modelo de regressão semi-supervisionado com algoritmo de co-treinamento baseado em SVR, para extrapolar variáveis de qualidade (índice de permanganato de potássio, amônia, DBO e oxigênio dissolvido) a partir de imagem do SPOT-5, para o rio Weihe, na província de Shaanxi, na China. Os autores compararam os resultados do modelo SVR com os resultados do modelo de regressão linear multivariada (MRL), e para a avaliação dos experimentos foram empregados o erro quadrático médio (MSE) e o coeficiente de determinação (R^2). A avaliação evidenciou a superioridade do modelo SVR em relação ao MRL. O R^2 do SVR foi superior à 0,95 para todos parâmetros, enquanto o R^2 do MRL foi inferior à 0,86.

Mahmoudi et al. (2016) aplicaram diferentes métodos estatísticos, incluindo o SVR, para prever parâmetros de qualidade de água (sódio, potássio, magnésio, sulfatos, cloreto, potência do hidrogênio, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos), no rio Sefidrood, no Irã. O estudo mostrou que, utilizando-se o SVR, a média do RMSE para treinamento e teste de seis combinações de conjuntos de dados para todos os parâmetros de qualidade da água melhorou 57,4% em relação ao método *genetic programming* (GP).

Com o objetivo de prever valores de CE e TSD, Sattari et al. (2016) testaram os métodos SVR e K-NN aplicados à dados de parâmetros hidroquímicos da água do rio Lighvan Chay, no Irã. Foram utilizadas 433 amostras de águas, das quais 66% foram empregadas no treinamento e 34% foram reservadas para teste e validação. A precisão dos modelos foi avaliada em função dos erros médios absolutos (MAE), quadrático médio (RMSE) e do coeficiente de determinação (R^2). Os autores concluíram que os métodos SVR e k-NN

previram com precisão os valores TSD e EC no rio Lighvan Chay; e, o método SVR obteve erros menores que o método k-NN.

3.6 – Formação de Regiões de Qualidade da água a partir do agrupamento de sub-bacias hidrográficas

Grupos de bacias hidrográficas com características similares formam regiões homogêneas, compondo assim, unidades de paisagem - geossistemas, úteis ao estudo e gerenciamento de recursos naturais (RAMACHANDRA RAOA et al., 2006). Sotchava (1977), amparado pela Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy, define Geossistemas como uma classe típica de sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizado, que obedecem à dinâmica dos fluxos de matéria e energia, enquanto “formações naturais”, conjuntamente com os aspectos antrópicos, inserindo assim, de modo isonômico, o ser humano na sua interação com o meio natural (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

A identificação e mapeamento de regiões homogêneas são habitualmente referidos como regionalização, que geralmente emprega a análise de agrupamento (*cluster*). A análise de agrupamento objetiva dividir os objetos de estudo (sub-bacias) em grupos homogêneos, de forma que os objetos pertencentes a um mesmo grupo sejam análogos entre si quanto às variáveis que neles foram medidas, e os elementos de grupos diferentes sejam heterogêneos em relação à estas mesmas variáveis (MINGOTI, 2005). Contudo, esta forma de agrupamento geralmente não funciona se não houver uma variabilidade espacial relativamente alta das características biofisiográficas ou hidrológicas das bacias hidrográficas selecionadas (BURN et al., 1997).

Segundo Vicini (2005), os algoritmos existentes baseados em análise *cluster* subdividem-se em duas abordagens particulares: as hierárquicas e as não-hierárquicas. Conforme o autor, na abordagem hierárquica é estabelecida uma ordem, ou estrutura em forma de árvore, que produz um encadeamento de partições em classes cada vez mais numerosas, enquanto que no método não hierárquico, se produz, diretamente, uma partição em um número fixo de classes.

Técnicas de análise *cluster* têm sido comumente empregadas na regionalização de bacias hidrográficas, que não dispõem de dados hidrológicos e físico-químicos, a partir de variáveis hidrológicas e biofisiográficas, a fim de estimar parâmetros de vazão, balanço hídrico, qualidade da água, dentre outros.

Ferreira (1991) propôs um procedimento metodológico para a regionalização de sub-bacias hidrográficas que não dispõem de dados de vazão fluvial. Neste estudo, a

regionalização é baseada no levantamento de três parâmetros hidrológicos de superfície das sub-bacias: coeficiente de cobertura vegetal (CCV), coeficiente médio de impermeabilidade (CMI) e fator topográfico (FTP). O processo de regionalização empregado pelo autor foi efetuado com base no agrupamento de 19 sub-bacias similares segundo os parâmetros FTP, CMI e CCV utilizando-se a medida da distância euclidiana. O autor afirma que o uso de parâmetros hidrológicos de superfície é adequado para os estudos de regionalização de sub-bacias hidrográficas.

Larsen et al. (1988) avaliaram a hipótese de que a qualidade da água varia possivelmente em função da região em que os canais fluviais estão localizados e demonstraram a capacidade de ecorregiões -delimitadas a partir do uso da terra, forma do relevo, potencial de vegetação natural e solo - em caracterizar a qualidade da água superficial de 107 córregos em Ohio - EUA.

Os autores salientam que a correspondência entre os padrões espaciais de variáveis de qualidade da água e as regiões delineadas, juntamente com a classificação multivariada dos fluxos com base em suas grandezas químicas de íons e riquezas de nutrientes, sustentam a hipótese de que diferenças regionais na qualidade das águas superficiais ocorrem e que as ecorregiões são úteis para descrever os padrões de qualidade de água. Os autores concluem que este método pode ser aplicado no planejamento e no monitoramento de programas de controle de poluição.

Ravichandran et al. (1995) descreveram padrões de qualidade de água a partir de ecorregiões (unidades de paisagem) na bacia do rio Tamiraparani, sul da Índia, a partir do agrupamento de sub-bacias hidrográficas. A metodologia empregada consistiu na análise de componentes principais (ACP) de 23 variáveis biofisiográficas - geológicas, geomorfológicas, morfométricas e uso da terra e cobertura vegetal da bacia - mensuradas em 63 sub-bacias. A ACP agrupou as 23 variáveis em cinco componentes principais, representando uma variação total de 79,3%. A análise de agrupamento hierárquico dos valores da ACP sobre os cinco componentes produziu um dendograma de nove grupos significativos de bacias hidrográficas.

Ravichandran et al. (1995) também aplicaram a ACP aos parâmetros de qualidade de água. A análise revelou que três parâmetros – riqueza iônica, nitrogênio e carbonato - são relevantes na qualidade de água da bacia do rio Tamiraparani. Por fim, os autores analisaram a capacidade espacial das ecorregiões em explicar as variações regionais na qualidade da água, comparando-as a outros dois métodos de classificação existentes, o hidrológico, com sete grupos hidrológicos e os limnológicos, com quatro grupos. A partir de comparações por

Boxplot e análise de variância, os autores concluíram que a classificação por ecorregiões foi a que apresentou melhor desempenho em descrever as variações da qualidade da água.

Almeida e Schwarzbald (2003) realizaram quatro coletas sazonais em sete estações amostrais do rio Caí, no município de Montenegro – RS, para avaliar a qualidade das suas águas por meio de 13 variáveis: percentagem de saturação de oxigênio, DBO₅, pH, fósforo total, nitrato, coliformes fecais, turbidez, sólidos suspensos totais, condutividade elétrica, alcalinidade, cloretos, cromo total e temperatura. Os resultados foram interpretados através de um Índice de Qualidade de Água (IQA da NSF), sendo estimada a relação entre cobertura vegetal e demais classe de uso da terra, bem como a qualidade das águas da bacia. Por meio de análise multivariada as estações amostrais mais e menos impactadas foram agrupadas de acordo o IQA. Os autores apontam que existem diferenças na qualidade da água com relação à natureza e a densidade da ocupação das respectivas bacias – áreas industriais e áreas densamente ocupadas apresentaram baixos IQA.

Singh et al. (2004) aplicaram diferentes técnicas de análise multivariada para avaliar a qualidade da água do rio Gomti, na Índia. Os autores aplicaram técnicas de agrupamento hierárquico aglomerativo em um conjunto de dados consistindo de 24 parâmetros, medidos mensalmente em oito locais, durante um período de cinco anos, somando um total de 17.790 observações. As oito regiões do sistema fluvial foram agrupadas em três grupos que representam baixo, moderado e alto nível de poluição.

Pongpetch e Suwanwaree (2012) mapearam a qualidade da água do pântano Lahan, na Tailândia, a partir de oito pontos de amostragem, com análise de 15 parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Os resultados foram espacializados, evidenciando-se diferenças espaciais na qualidade da água em cada estação. Os resultados foram comparados com índices de qualidade da água do *The Pollution Control Department of Thailand*. O estudo indicou duas regiões com índices de qualidades distintos para o pântano Lahan, um adequado para consumo, mas que requer tratamento especial da água, e outro, que só deve ser usado para navegação.

O alto desempenho de métodos de regionalização para descrever padrões hidrológicos - com destaque a padrões de qualidade de água - deve-se ao fato dos grupos ou clusters formados constituírem-se por sub-bacias hidrográficas com padrões e processos semelhantes. Estes conjuntos de sub-bacias compõem unidades de paisagem, que resultam da combinação dinâmica entre atributos físicos, biológicos e antrópicos (BERTRAND, 1972), caracterizando assim diferentes geossistemas.

3.7 Análise Geoespacial e Sensoriamento Remoto

Devido à necessidade de ampla base de dados espaciais, composta por expressiva diversidade de mapas e dados, as técnicas de análise geoespacial e dados de sensoriamento remoto são de suma importância na análise das relações entre parâmetros de qualidade de água e a estrutura espacial da paisagem (FERREIRA, 2003).

3.7.1 Modelos Digitais de Elevação (MDE)

A topografia da superfície terrestre é uma das medições geofísicas mais fundamentais da Terra e é um fator dominante em praticamente todos os processos físicos que ocorrem na superfície terrestre. A topografia da superfície terrestre também controla significativamente os processos atmosféricos próximos à superfície e reflete os processos dentro da litosfera subjacente. Consequentemente, a informação topográfica é importante em todo o espectro das geociências (JPL NASA, 2017).

A análise de sistemas terrestres recebe mais objetividade e uniformidade em relação aos métodos tradicionais (qualitativos), quando são adotados métodos quantitativos que demandam a mensuração e mapeamento de variáveis do relevo, destacando-se dentre elas a altitude, declividade, curvaturas vertical e horizontal, orientação de vertentes, dentre outras variáveis morfométricas, caracterizando o relevo de forma mais detalhada (VALERIANO, 2008).

Com o desenvolvimento do sensoriamento remoto, a abordagem quantitativa foi substancialmente facilitada por modelos digitais de elevação (MDE), gerados remotamente por meio de dados coletados por sensores orbitais e/ou aerotransportados. Estes modelos possibilitam a extração automática de informações da topografia, amenizando assim, a demanda de trabalho manual ou a coleta destes por meios tradicionais bem como a subjetividade dessas atividades (VALERIANO, 2008). O MDE pode ser definido como representação matemática-computacional contínua da superfície terrestre, em um plano cartográfico, segundo eixos x , y e z , onde x e y são as coordenadas geográficas e z representa o valor de altitude nesta posição. Para o Brasil estão disponíveis, gratuitamente, vários tipos de MDE: SRTM 1 e 2, ASTER GDEM 1 e 2, e o TOPODATA.

A *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) é um projeto conjunto entre a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), lançado em fevereiro de 2000. O objetivo deste projeto foi produzir dados topográficos digitais para 80% da superfície terrestre do planeta (todas as áreas terrestres entre 60° norte e 56° sul), com pontos de dados localizados a cada um arco-segundo

(aproximadamente 30 metros) em uma grade de latitude/longitude (USGS, 2008). A precisão vertical absoluta dos dados de elevação é de 16 metros (com 90% de confiança) (USGS, 2008). No mapeamento interferométrico os dados Radar de Abertura Sintética (SAR) de um mesmo local no terreno são registrados por duas antenas em diferentes localizações ou por uma mesma antena em tempos distintos (JENSEN, 2009). A SRTM trabalhou com antenas operando nas bandas C e X, no compartimento de cargas do ônibus espacial *Endeavor*, e uma antena adicional nas bandas C e X posicionada no final de uma haste de 60m, acoplada ao *Endeavor* (JENSEN, 2009; USGS, 2008). Uma das maiores vantagens da interferometria é poder adquirir dados através de nuvens e em qualquer período do dia (JENSEN, 2009).

Contudo, os dados SRTM foram inicialmente distribuídos em uma resolução espacial de 90 metros (3 arco-segundos), sendo que os dados SRTM com resolução espacial de 30 metros só passaram a ser distribuídos a partir do ano de 2016.

No ano de 2008, o projeto TOPODATA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), passou a disponibilizar um MDE elaborado a partir dos dados SRTM (3 arco-segundos) refinados para a resolução espacial de 30m. Este refinamento dos dados consiste, em um primeiro momento, no preenchimento de falhas dos dados SRTM, que posteriormente são convertidos para arquivos *ASCII x,y,z*, sendo mantida ainda a resolução original de 3 arco-segundos (VALERIANO, 2005). Estes arquivos são interpolados, por meio do algoritmo de *krigagem*, gerando MDE refinado para 1 arco-segundo (VALERIANO, 2005).

O ASTER GDEM (ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer; GDEM - Global Digital Elevation Model) é um conjunto de produtos desenvolvidos e disponibilizados ao público pelo Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) do Japão e pela United States National Aeronautics and Space Administration (NASA). O instrumento ASTER foi construído pela METI e lançado a bordo do satélite Terra da NASA em dezembro de 1999.

Na primeira versão do ASTER GDEM, lançada em junho de 2009, os dados do MDE são oriundos de pares estereoscópicos de imagens do ASTER com resolução espacial de até 30m, cobrindo superfícies terrestres entre 83° N e 83° S (JPL NASA, 2017). O sistema de aquisições de imagens no espectro visível (VIS) e infravermelho próximo (IVP) do ASTER apresenta dois telescópios, o instrumento VIS-IVP, que gera imagens em nadir (vertical), com um ângulo lateral de até 8,55°, e um outro instrumento, que também opera na faixa do IVP, capaz de gerar uma imagem em retro-visada de aproximadamente 27°, em direção oposta à órbita do satélite, imageando a mesma área 55 segundos após o imageamento realizado pelo primeiro instrumento. Essa operação permite a composição de um par estereoscópico de

bandas posicionadas no IVP, denominadas bandas 3N (Nadir) e 3B (Backward looking) (LANDAU et al., 2011). Em decorrência do curto intervalo de tempo entre a aquisição das imagens que compõem o par estereoscópico. Assim, não são verificadas diferenças radiométricas, nas condições de iluminação da cena e de cobertura de nuvens (LANDAU et al., 2011).

O ASTER GDEM é disponibilizado no formato GeoTIFF, referenciado no sistema de coordenadas geográficas Lat-Long e *Datum* WGS84. A precisão estimada de pré-produção para este produto global é de 20 metros a um intervalo de confiança de 95 para dados verticais e 30 metros para dados horizontais (JPL NASA, 2017).

Estudos iniciais realizados pelo METI e pela NASA para validar e caracterizar o ASTER GDEM confirmam que as estimativas de precisão de pré-produção são comumente obtidas para a maior parte da superfície terrestre global, embora os resultados variem e as precisões verdadeiras não atendam às estimativas de pré-produção para algumas áreas. Conseqüentemente, o METI e a NASA reconhecem que a versão 1 do ASTER GDEM deve ser vista como experimental (JPL NASA, 2017).

O ASTER GDEM 2 aprimorado, lançado em outubro de 2011, adiciona 260.000 pares estéreo, melhorando a cobertura global e reduzindo a ocorrência de inconsistências. O algoritmo de produção mais refinado proporciona uma resolução espacial melhorada, maior precisão horizontal e vertical e detecção de corpo d'água. O ASTER GDEM 2 mantém o formato GeoTIFF e a mesma estrutura de grade do ASTER GDEM 1, referenciado no sistema coordenadas geográficas Lat/Long e *Datum* WGS84. De modo geral, o ASTER GDEM 2 apresenta melhorias significativas em relação à versão anterior (JPL NASA, 2017).

A escolha de um determinado MDE é etapa muito importante, e deve levar em conta a acurácia e precisão de cada modelo (WU et al., 2005). Nem sempre estes modelos alcançam a acurácia e precisão necessárias aos estudos em grandes e médias escalas, tornando-se necessário avaliar, para cada área, a equivalência da precisão dos dados à escala de trabalho desejada (SOUZA et al., 2012). Souza et al. (2008) salientam que para cada uso de produtos cartográficos há uma tolerância de erro; à medida que essa tolerância diminui torna-se indispensável conhecer a qualidade geométrica do produto planialtimétrico utilizado. Segundo estes mesmos autores, no Brasil todos os documentos cartográficos devem satisfazer ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC disposto no Decreto nº 89.817/84 onde são estabelecidas as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

3.7.2 Aplicação de classificadores digitais no mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal

A gestão territorial demanda uma constante caracterização dos recursos naturais, além de seu monitoramento periódico, com o objetivo de sua utilização de forma racional. A execução de projetos de levantamento e mapeamento da superfície terrestre têm-se beneficiado do avanço nas áreas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Com o advento dos sensores orbitais, principalmente a partir da série Landsat, iniciada em 1972, extensas áreas puderam ser caracterizadas e monitoradas, o que possibilita a realização de estudos em amplas regiões a um custo relativamente baixo (JENSEN, 2005).

Em geral, o processo de classificação pode ser feito por interpretação visual ou por classificação digital, que pode ser supervisionada ou não-supervisionada. Para a interpretação visual, o fotointérprete extrai feições de interesse das imagens, em geral uma composição colorida RGB (VENTURIERI e SANTOS, 1998). Já a classificação digital é um processo de reconhecimento de padrões e de objetos homogêneos, representados em um conjunto de pixels, ao qual se aplica o mapeamento de áreas pertencentes a uma única classe de objetos (JENSEN, 2005). Ainda, segundo este autor, os algoritmos responsáveis pela classificação digital são denominados “classificadores”, e a classificação pode ser feita pixel a pixel ou por regiões/objetos.

As classificações pixel a pixel baseiam-se principalmente em parâmetros estatísticos (média, variância etc.) dos pixels de treinamento, a exemplo dos perfis espectrais, para o agrupamento dos pixels remanescentes nas classes predeterminadas (JENSEN, 2005). As classificações por região ou orientadas a objetos, do inglês "*object-based image analysis*" (OBIA), utilizam, além de informação espectral de cada pixel, a informação espacial que envolve a relação de pixels circunvizinhos, tais como forma e textura (PONZONI et al., 2012). Assim, o classificador simula a análise de um fotointérprete, ao delimitar áreas homogêneas nas imagens, a partir das características espectrais e espaciais dos objetos que constituem as classes de interesse (PONZONI et al., 2012).

Uma gama de classificadores, aplicados à classificação supervisionada pixel a pixel, tem sido amplamente empregada na classificação de imagens remotamente situadas, e os classificadores “Mahalanobis”, "maximum likelihood", "Minimum distance" e "Parellelepiped" têm sido os mais utilizados (SISODIA et al., 2014), todos de natureza paramétrica. Neste contexto, muitos trabalhos têm avaliado a acurácia desses classificadores, para a definição de áreas homogêneas a partir de imagens de resolução espacial moderada

(HAGNER et al., 2007; PRISHCHEPOV et al., 2012; LAURIN et al., 2013; JIA et al., 2014; GANASRI et al., 2015).

Recentemente, inúmeros trabalhos têm mostrado que técnicas de classificação não paramétricas, com o emprego de classificadores “máquinas de vetores- suporte ("support vector machine", SVM) e “k- vizinhos mais próximos” ("k- nearest neighbor", K- NN), têm-se destacado na classificação orientada a objetos (MOUNTRAKIS et al., 2011; DRONOVA et al., 2012; LIU et al., 2013; POUSANIDIS et al., 2015; WAHIDIN et al., 2015), uma vez que atributos como forma, textura e nitidez apresentam natureza não paramétrica. Em atividade há mais de 40 anos, a série Landsat conta atualmente com o satélite Landsat- 8. Contudo, ainda há carência de estudos que visem avaliar comparativamente a acurácia de classificadores digitais, aplicados a classificações orientadas a objetos, a partir de imagens Landsat- 8 adquiridas em ambientes tropicais.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Neste item é apresentado, de forma sintética, o material utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. Posteriormente, na seção 4.3 *Técnicas utilizadas*, os mesmos são retomados com maior detalhe. O material utilizado é apresentado separadamente, quanto a sua natureza, em: base cartográfica; material computacional e softwares destinados à análise geoespacial; e, material destinado à medição de parâmetros de qualidade da água.

4.1.1 Base cartográfica

A base cartográfica da Bacia PJ é composta por arquivos vetoriais, cartas topográficas, mapa temático relativo à litologia e imagens orbitais e aerotransportadas (Tabela 4.1). A base cartográfica foi projetada no Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23K, *Datum* SIRGAS 2000.

Tabela 4.1 - Materiais cartográficos utilizados durante a pesquisa.

Plano de informação	Folha / Arquivo	Escala/ resolução	Formato	Autoria
Rede hidrográfica	GEOFT_BHO_CURSO_DAGUA	1:50.000	Vetorial - .shp	ANA, 2015
Limites municipais	Malha digital dos municípios de Minas Gerais	-	Vetorial - .shp	IBGE, 2013
Limite da Bacia PJ	UPGRHs_2009	-	Vetorial - .shp	IGAM, 2009
Sistema viário	SF.23-Y-B-IV-4 – Camanducaia SF-23-Y-B-IV-2 - Cambui SF.23-Y-B-IV-3 – Extrema SF-23-Y-B-V3 – Monteiro Lobato SF-23-Y-B-IV-1 - Munhoz SF-23-Y-B-V-1 - Paraisópolis	1:50.000	Impresso e vetorial - .shp	IBGE, 1977
Altimetria	Cenas S23W046 e S23W047 do ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM 2, 2011)	30 m	Matricial - .tif	METI e NASA, 2011
Forma do terreno	Cena 22S465VN derivada do MDE Topodata Cena 22S465HN derivada do MDE Topodata	30 m	Matricial - .tif	INPE, 2009
Cobertura vegetal e uso da terra	Imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8 – 01/09/2013 (0 % de nuvem)	30 m	Matricial - .tif	NASA, 2013

4.1.2 Softwares destinados à análise geoespacial

Com relação à operacionalização da pesquisa, todo o processamento das imagens e análises foram conduzidos nos *softwares* ArcGIS 10.5™ (ESRI), ENVI 5.4 (Exelis Visual Information Solutions - Exelis VIS) e pacote Microsoft Office (Microsoft), ambos do Laboratório do Grupo de Pesquisa *Análise Geoespacial de Dados Ambientais e de Saúde*, do Instituto de Geociências – UNICAMP.

4.1.3 Material destinado à aferição de PQA

Para a realização das análises físico-químicas foi utilizado o medidor multiparamêtro com sondas modelo HI9829 (HANNA instruments®) (Quadro 4.1). Este aparelho possibilita a medição simultânea de 11 parâmetros em campo (pH, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade, total de sólidos dissolvidos, condutividade, resistividade, cloreto, nitrato e pressão atmosférica).

Para as análises microbiológicas referente à *E. coli* foi utilizado o dispositivo iMPNplate™-1600 para a contagem dos micro-organismos, e duas estufas Termobac Microprocessadas para incubação dos dispositivos com as amostras (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 - Materiais utilizados na medição dos parâmetros de qualidade da água.

Material	Aplicação	Fabricante	Foto
Medidor multiparamêtro com sondas modelo HI9829, e soluções de calibração	Análises físico-químicas	HANNA instruments®	
Dispositivo iMPNplate™-1600	Contagem de coliformes totais e <i>E. coli</i>	AEMTK	
Estufa Termobac Microprocessada	Incubação dos dispositivos com amostras para análise de coliformes totais e <i>E. coli</i>	AlfaKit	

Fonte: Imagens ilustrativas adquiridas no site dos fabricantes: HANNA instruments, AEMTK e AlfaKit.

4.2 Metodologia

O método utilizado neste trabalho tem como base conceitual a Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 1973; HUGGET, 1980). Seguindo esta teoria, trabalhou-se com a hipótese de que os parâmetros de qualidade da água (variáveis respostas) de uma determinada bacia hidrográfica são decorrentes de suas características biofisiográficas (variáveis explicativas). Primeiramente, foram definidos quais parâmetros de qualidades de

água (variáveis resposta) e quais variáveis biofisiográficas (variáveis explicativas) seriam empregados e analisados neste estudo. Tal definição foi pautada em função do objetivo geral desse trabalho, da disponibilidade de dados cartográficos em escala compatível e dos parâmetros físico-químicos de água passíveis de serem aferidos por aparelho multiparâmetros e dos parâmetros microbiológicos passíveis de serem aferidos de forma prática e rápida.

Seguindo estas premissas, a base de dados biofisiográficas, aplicada na análise das sub-bacias, é composta por dados referentes às variáveis: uso da terra e cobertura vegetal, densidade de estradas, declividade das vertentes, forma do terreno e parâmetros morfométricos das sub-bacias hidrográficas (Densidade de Drenagem, Densidade Hidrográfica, Coeficiente de Manutenção, Extensão do Percurso Superficial, Textura Topográfica e Índice de Rugosidade). A seleção deste conjunto de variáveis biofisiográficas não pretendeu desconsiderar a inclusão de outras variáveis tradicionais - tipo de solo, litotipos, etc. – que, juntamente às escolhidas neste trabalho, também contribuem para a qualidade da água dos rios. Esta escolha levou em conta a disponibilidade destes dados em escalas compatíveis à escala de trabalho adotada, 1:50.000.

Os parâmetros físico-químico e microbiológicos analisados são: pH, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, total de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, resistividade, salinidade, nitrato, cloreto, coliformes totais e *E. coli*. Neste contexto, os procedimentos metodológicos aplicados neste trabalho dividem-se em quatro etapas principais (Figura 4.1):

- a) Caracterização biofisiográfica das sub-bacias do alto rio Piracicaba-Jaguari;
- b) Análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas do canal principal de 12 sub-bacias;
- c) Análise da relação entre a estrutura espacial da paisagem e os PQA;
- d) Regionalização dos PQA para a Bacia PJ.

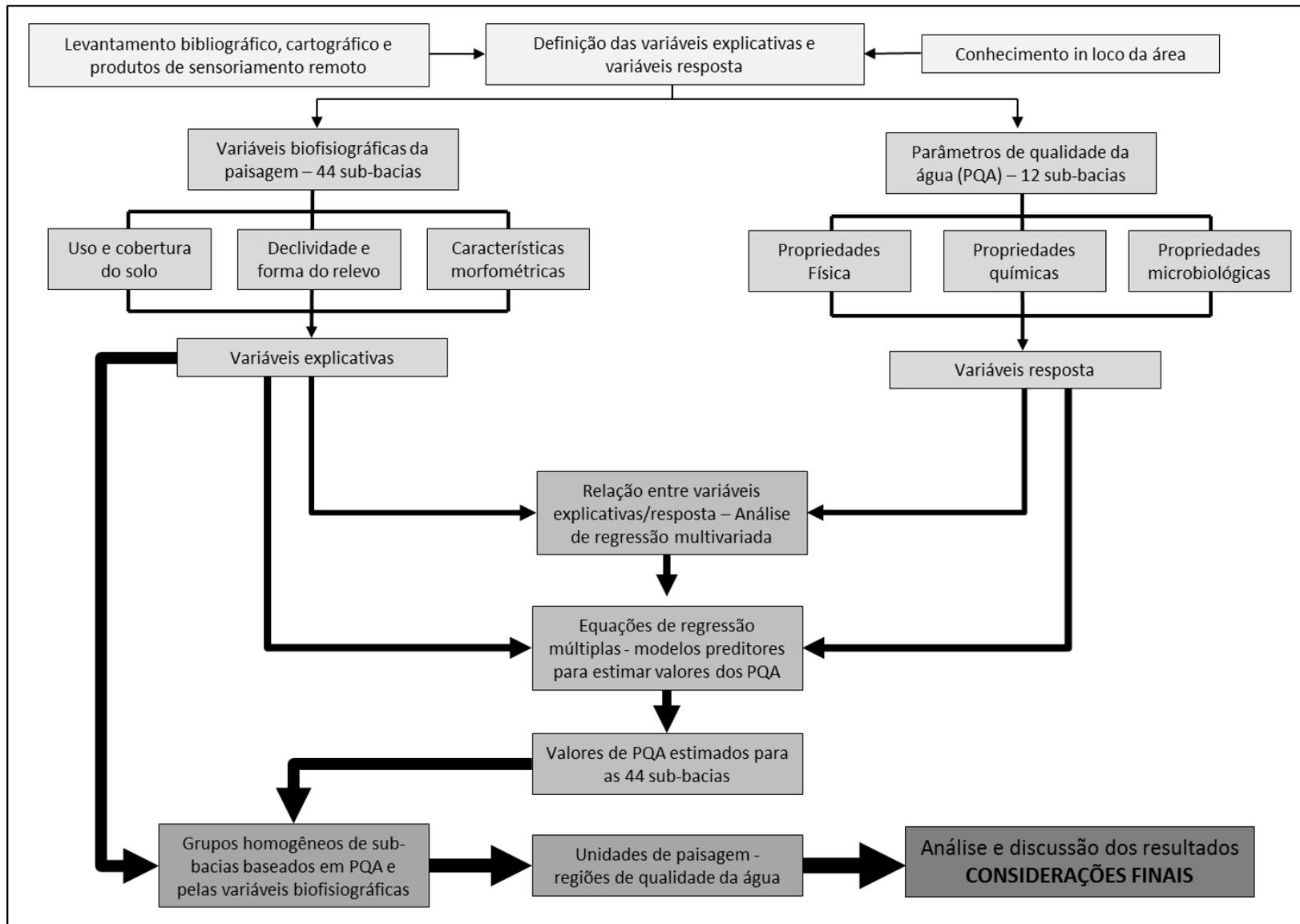


Figura 4.1 - Fluxograma síntese do procedimento metodológico utilizado nessa pesquisa.

4.3 Técnicas utilizadas

4.3.1 Cálculo das variáveis biofisiográficas

A caracterização das variáveis fisiográficas foi realizada a partir da análise morfométrica das sub-bacias, utilizando-se as seguintes variáveis: declividade das vertentes, forma do terreno e parâmetros morfométricos das sub-bacias hidrográficas (densidade de drenagem, densidade hidrográfica, coeficiente de manutenção, extensão do percurso superficial, textura topográfica e índice de rugosidade).

A escolha do MDE empregado na análise morfométrica das sub-bacias da Bacia PJ foi amparada pela análise da acurácia vertical de MDE, pois caso estes apresentem erros altimétricos elevados, seus subprodutos podem apresentar resultados não condizentes com a realidade, uma vez que tais erros seriam replicados. Garofalo et al. (2014), seguindo as Normas Técnicas da Cartografia Nacional, definidas no Decreto 89.817 de 20 de julho de 1984 - Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) (BRASIL, 1984), avaliaram a exatidão altimétrica de quatro MDE, a saber: ASTER GDEM 1 e 2, SRTM-90m e TOPODATA, correspondentes à área de estudo desta pesquisa. Os resultados obtidos pelos autores apontam que, no contexto da área analisada, os MDE ASTER GDEM 1 e 2 e o TOPODATA podem ser utilizados em escalas a partir de 1:50.000 e o MDE SRTM em escalas a partir de 1:100.000.

O ASTER GDEM-2 demonstrou ser o mais apropriado a ser utilizado, pois embora este MDE tenha apresentado acurácia semelhante aos MDE TOPODATA e ASTER GDEM 1, o ASTER GDEM 2 foi o MDE que apresentou menor erro.

Para o mapeamento das variáveis referentes à uso, ocupação e cobertura vegetal da terra foram utilizados dados orbitais do sensor OLI/LDCM (Landsat-8).

4.3.1.1 Delimitação das sub-bacias hidrográficas da Bacia PJ

A primeira etapa foi a divisão da Bacia PJ em sub-bacias hidrográficas, de acordo com a classificação hierárquica fluvial de Strahler (1952) e a representatividade areal das sub-bacias.

Os procedimentos para delimitação das sub-bacias inseridas na área de estudo foram efetuados em três etapas, conforme proposto por Ferreira (1991):

a) Levantamento da rede de drenagem

A rede de drenagem da Bacia PJ foi extraída do arquivo vetorial de curso d'água da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) da bacia hidrográfica do rio Tietê, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). A BHO é gerada a partir da cartografia digital

da hidrografia do país, obtida por meio do Mapeamento Sistemático Brasileiro – Cartas topográficas, escala 1:50.000 - e organizada de modo a gerar informações hidrologicamente consistentes, sendo a rede hidrográfica representada em trechos entre os pontos de confluência dos cursos d'água de forma unifilar (ANA, 2015).

De posse do arquivo de drenagem, o mesmo foi recortado, tendo como máscara o arquivo vetorial referente aos limites geográficos da área de estudo (IGAM, 2009). Em seguida, foi organizado o mapa da rede de drenagem da Bacia PJ (Figura 4.2).

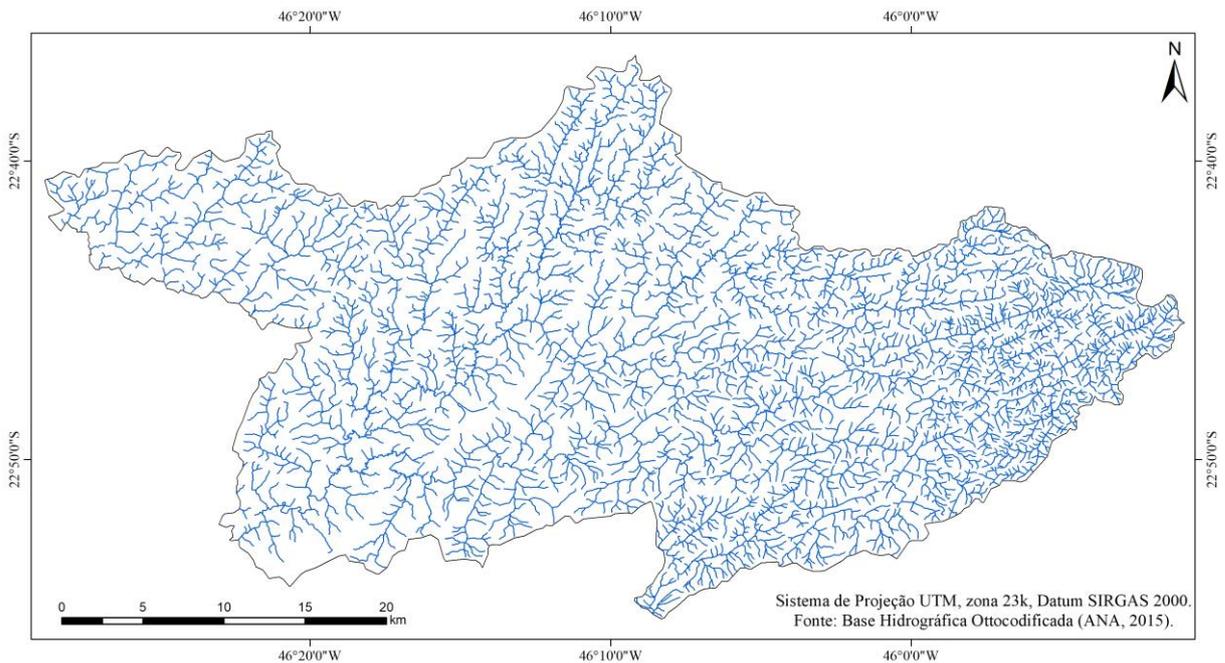


Figura 4.2 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia PJ.

b) Levantamento de dados topográficos

Os dados topográficos – curvas de nível e sombreamento do relevo - da Bacia PJ foram extraídos das Cenas S23W046 e S23W047 do ASTER GDEM-2 (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model*) (METI e NASA, 2011), após estas serem processadas. Inicialmente, procedeu-se com a “mosaicagem” destas cenas, por meio da ferramenta *Mosaic To New Raster*, do módulo *Data Management Tools* do software ArcGIS 10.5.

Como os MDEs podem conter imperfeições caracterizadas por depressões espúrias, picos anômalos e pontos ou áreas com ausência de dados, que podem comprometer na obtenção de resultados fidedignos à realidade (JENSON e DOMINIQUE, 1988), procedeu-se com correção do Mosaico das cenas S23W046 e S23W047 do ASTER GDEM-2, através da

função *fill*, da extensão *Spatial Analyst Tools* do *software* ArcGIS 10.5™. Neste processo, o pixel com falha é corrigido com base nos valores altimétricos dos pixels limítrofes a ele.

A imagem ASTER-2, após mosaico/correção, foi então recordada, tendo como máscara o arquivo vetorial referente aos limites geográficos da área de estudo (IGAM, 2009), com o emprego da ferramenta *Extraction by Mask*, disponível na extensão *Spatial Analyst Tools*, do *software* ArcGIS 10.5. A referência ao ASTER GDEM-2 após mosaico/correção/recorte será MDE ASTER-2 PJ.

As curvas de nível foram extraídas do MDE ASTER-2 PJ a partir da ferramenta *Contour*, disponibilizada no módulo *Spatial Analyst Tools*. As isolinhas foram geradas com equidistância de 20 metros (Figura 4.3).

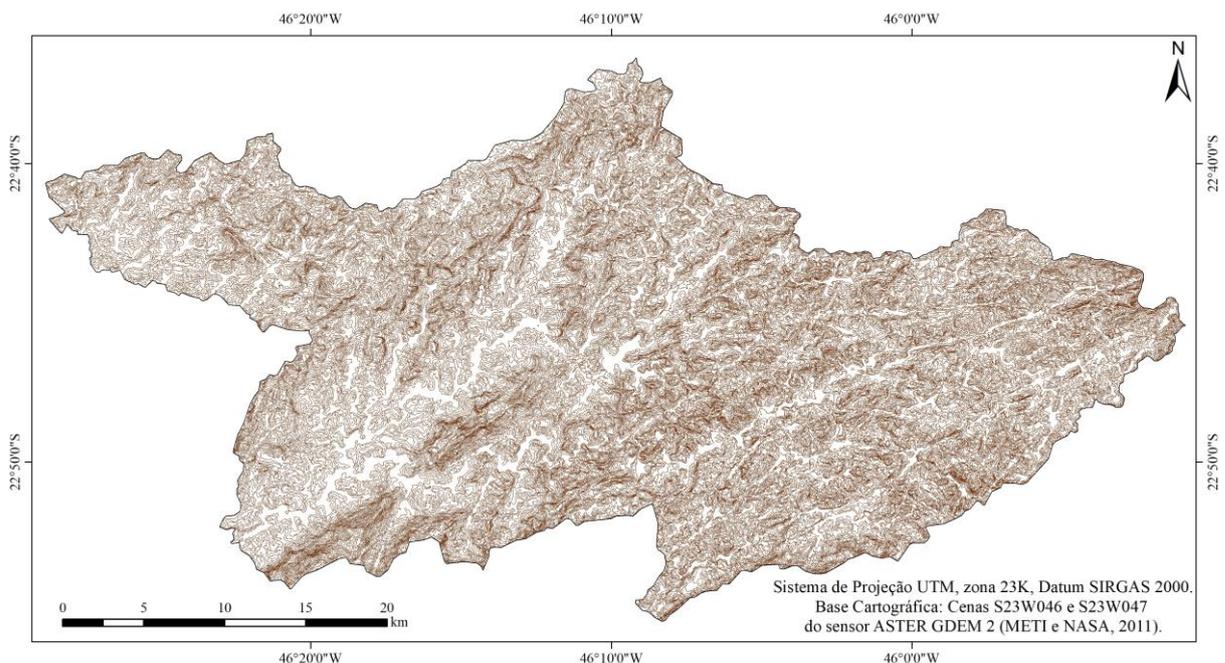


Figura 4.3 - Mapa das isolinhas da Bacia PJ (equidistância de 20 m).

A imagem de sombreamento do relevo, produto do MDE ASTER-2 PJ, foi gerada a partir da ferramenta *hillshade* da extensão *3D Analyst* do *software* ArcGIS 10.5. A função *Hillshade* permite obter a iluminação hipotética (direção angular do sol – iluminação de azimute) de uma superfície de elevação, para determinação dos valores de iluminação para cada célula em um raster (ESRI, 2010). Desta forma, o mapa de sombreamento do relevo foi gerado com iluminação de azimute 315° e elevação solar de 45° (Figura 4.4). O azimute é uma medida angular, no sentido horário, com origem no norte geográfico até o ponto de alinhamento considerado, enquanto que a elevação solar consiste na altitude ângulo da fonte de luz acima do horizonte (ESRI, 2017).

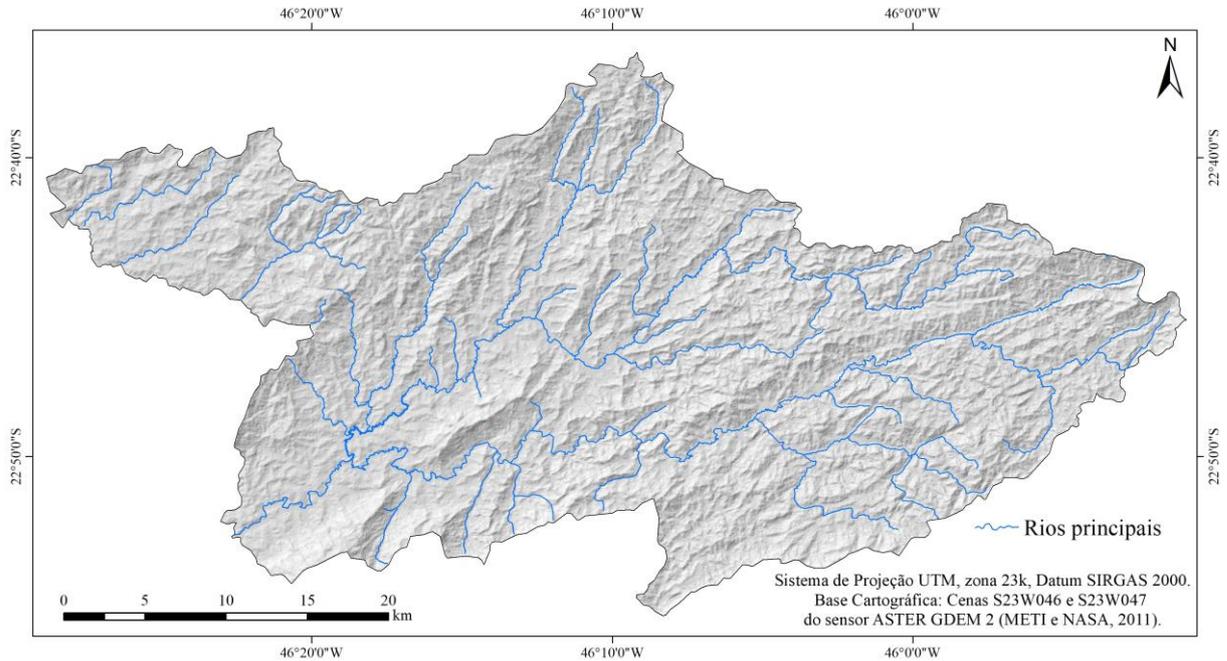


Figura 4.4 - Mapa do relevo sombreado da Bacia PJ.

c) Delimitação das Sub-bacias Hidrográficas

Para o delineamento dos divisores d'águas das sub-bacias hidrográficas foi gerado um novo arquivo vetorial a partir do arquivo dos limites geográficos da Bacia PJ, por meio da exportação do mesmo. O novo arquivo foi então subdividido em sub-bacias hidrográficas, através do comando *Cut Polygons Tools*.

Através da sobreposição da rede de drenagem e das curvas de nível à imagem do relevo sombreado, procedeu-se a identificação dos interflúvios e talvegues das sub-bacias. Com base neste procedimento foram traçados os divisores d'água que circundam canais fluviais de 4ª ordem e canais fluviais com área de captação superior à 2 km². As sub-bacias hidrográficas não delimitadas, devido ao não-enquadramento nestas especificações, foram consideradas como inter-bacias, conforme proposto por Ferreira (1991).

4.3.1.2 Cálculo da clinometria do relevo

De acordo com o IBGE (1999), a declividade é a relação entre a diferença de nível entre dois pontos e a distância horizontal entre esses pontos, e pode ser calculada em graus e porcentagem. O valor de um declive em graus é o ângulo formado pelo plano horizontal e a superfície inclinada do terreno, enquanto que o valor de um declive em porcentagem é a relação entre o desnível entre dois pontos e o espaçamento entre eles, multiplicado por cem (SANTOS, 2013).

O mapa clinométrico, derivado do MDE ASTER-2 PJ, foi gerado por meio da ferramenta *Slope*, presente no módulo *Surface* da extensão *Spatial Analyst Tools* do software ArcGIS 10.5. Para calcular o valor da inclinação o comando *Slope* utiliza a técnica média máxima (BURROUGH e MCDONELL, 1998). O mapa clinométrico foi gerado em porcentagem, com classificação da matriz em 6 classes, conforme proposto pela EMBRAPA (2004) (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Classes de declividade conforme proposto por EMBRAPA, 2004.

Declividade (%)	Relevo
0 a 3	Plano
3 a 8	Suave ondulado
8 a 13	Moderadamente ondulado
13 a 20	Ondulado
20 a 45	Forte ondulado
> 45	Montanhoso e escarpado

Fonte: Modificado de EMBRAPA (2004).

4.3.1.3 Cálculo da forma do terreno

Para a análise da forma do terreno da Bacia PJ foram utilizados dados geomorfométricos do Projeto Topodata (INPE - Valeriano et al., 2008), referentes aos planos de informação *Curvatura Vertical* (VN) e *Curvatura Horizontal* (HN) do terreno (Tabela 4.1).

De acordo com Valeriano et al. (2008), a curvatura vertical expressa o formato da vertente quando observada em perfil, sendo a variação da declividade ao longo de uma determinada distância, referindo-se, assim, ao caráter convexo/retilíneo/côncavo do terreno (Figura 4.5). Já a curvatura horizontal, conforme os autores, expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal, e se traduz no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo (Figura 4.5).

Em SIG, o cálculo da curvatura vertical é baseado na comparação entre diferenciais altimétricos mútuos ao pixel sob análise, feita através de janelas móveis, enquanto que o cálculo da curvatura horizontal é baseado na comparação entre orientações de vertente na vizinhança do pixel em análise, através de janelas móveis (VALERIANO et al., 2008).

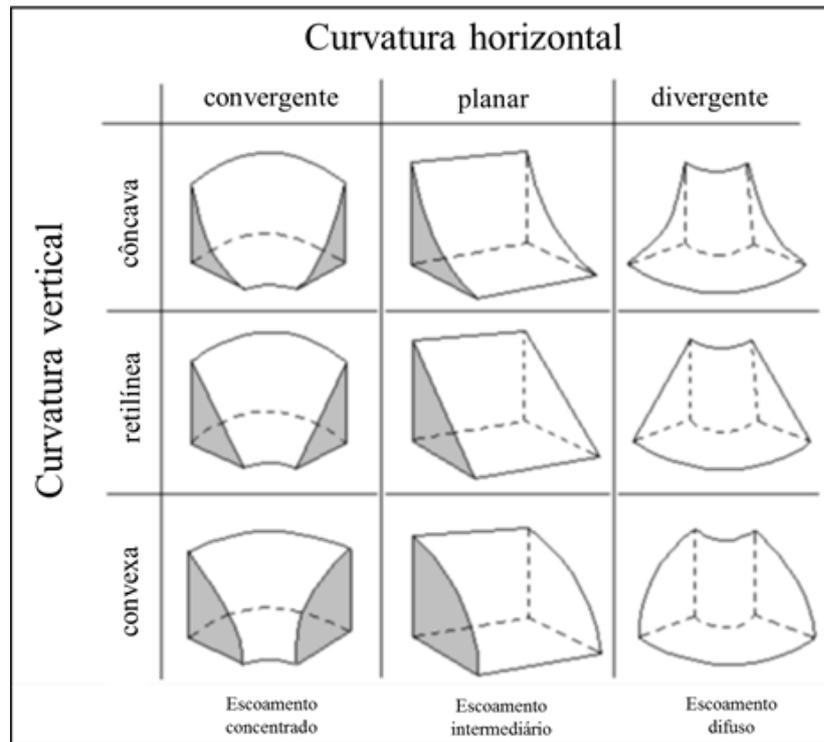


Figura 4.5 - Combinação das curvaturas vertical e horizontal para caracterização das formas de terreno. Fonte: Modificado de Dikau (1990) apud Valeriano et al. (2008).

De posse das Cenas 22S465VN e 22S465HN derivadas do MDE Topodata, procedeu-se o recorte das mesmas, tendo como máscara o arquivo vetorial referente aos limites geográficos da área de estudo (IGAM, 2009). Como resultado, foram gerados os mapas de curvatura vertical e curvatura horizontal do terreno da Bacia PJ.

4.3.1.4 Cálculo dos parâmetros morfométricos

Nesta etapa da pesquisa foi realizado o cálculo de atributos morfométricos das sub-bacias inseridas na alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG). Os atributos morfométricos calculados foram: Densidade de Drenagem, Densidade Hidrográfica, Coeficiente de Manutenção, Extensão do Percurso Superficial, Textura Topográfica, e Índice de Rugosidade.

Os materiais cartográficos e produtos de sensoriamento remoto utilizados, nesta etapa, se referem ao arquivo vetorial da rede de drenagem do alto rio Piracicaba-Jaguari (ANA, 2015) e MDE ASTER-2 PJ. No Quadro 4.2 é apresentada a equação empregada no cálculo de cada um destes atributos, bem como uma breve descrição e justificativa da análise destes atributos.

Quadro 4.2 - Atributos morfométricos empregados na caracterização das sub-bacias, equação empregada no cálculo, e respectivas características.

Parâmetro morfométrico	Método / Cálculo	Descrição / Justificativa
Densidade de Drenagem (Dd)	$Dd = Lt/A$	Valores elevados indicam áreas de pouca infiltração e melhor esculturação dos canais (Christofolletti, 1969).
Densidade Hidrográfica (Dh)	$Dh = Ntc/A$	Indica o potencial hídrico da região. (Christofolletti, 1969).
Coefficiente de Manutenção (Cm)	$Cm = 1/Dd \cdot 1000$	Fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. (Schumm, 1956).
Extensão do Percurso Superficial (Eps)	$Eps = 1/2 Dd \cdot 1000$	Representa a distância média percorrida pelas águas pluviais. (Horton, 1945).
Textura Topográfica (Tt)	$\text{Log } Tt = 0,219649 + 1,115 \log Dd$	Grau de entalhamento e dissecação do relevo. Indicativo do estágio erosivo de uma região (Freitas, 1952).
Índice de Rugosidade (Ir)	$Ir = \Delta H \cdot Dd$	O Ir combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com densidade de drenagem. Valores altos ocorrem quando as vertentes são íngremes e longas (Christofolletti, 1969).

Onde: Lt = comprimento total de canais; A = área; Ntc = número total de canais; ΔH = amplitude altimétrica.

4.3.1.5 Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia PJ foi realizado a partir de técnicas de classificação orientada a objetos, por esta considerar não somente a característica espectral, mas também outras variáveis, tais como textura, tamanho e forma. Tal classificação foi realizada no software ENVI 5.2, por meio da ferramenta *Feature Extraction*. Esta ferramenta permite que a classificação orientada a objeto seja realizada a partir de três classificadores: um paramétrico, *Principal Component Analysis* (PCA), e outros dois não-paramétricos, *Support Vector Machine* (SVM) e *K-Nearest Neighbor* (K-NN).

A fim de dar suporte à escolha de qual classificador utilizar, foi realizada uma análise comparativa. Devido à natureza não-paramétrica de atributos como forma, textura e nitidez, optou-se por não utilizar/testar o método PCA, que requer dados normalmente distribuídos. Neste contexto, comparou-se os classificadores SVM e K-NN, visando verificar quais deles apresenta melhor acurácia.

O SVM é uma técnica de aprendizado de máquina para reconhecimento de padrões, com base no princípio de separação ideal entre classes, apresentada por Cortes e Vapnik (1995). A partir das amostras de treinamento, há uma distribuição de probabilidade. Após a remoção de algumas amostras, são verificadas as mesmas distribuições de probabilidade repetidamente, para que sejam estabelecidos, a posteriori, vetores de suporte em um hiperplano n- dimensional (HUANG et al., 2002; NASCIMENTO et al., 2009). A separação entre classes se dá pela geração de um hiperplano condicional, baseado nos vetores de suporte supracitados, orientado de forma a englobar o conjunto de dados de cada classe, para

maximizar a margem ao ponto mais próximo de cada uma das classes predefinidas (HUANG et al., 2002; NASCIMENTO et al., 2009). Um maior detalhamento do método SVM, bem como aplicações na área do sensoriamento remoto podem ser encontradas em Melgani & Bruzzone (2004), Waske et al. (2010) e Liesenberg & Gloaguen (2013).

O algoritmo K- NN é uma classificação feita a partir das amostras de treinamento, com base nos vizinhos mais próximos (MENG et al., 2007). Deve-se atribuir um valor k, que é o número de vizinhos a serem utilizados na determinação da classe que será atribuída pelos valores de reflectância de superfície da maioria dos pixels circunvizinhos (MENG et al., 2007). Um maior detalhamento do método K- NN, bem como aplicações na área do sensoriamento remoto podem ser encontrados em Meng et al. (2007), Samaniego & Schulz (2009) e Vibrans et al. (2013).

Após esta etapa, calculou-se a área ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal, em cada uma das sub-bacias, com base nos resultados obtidos pelo classificador que apresentou melhor desempenho.

Primeiramente foi realizada a análise comparativa entre diferentes classificadores orientados a objetos, em relação à discriminação do uso e cobertura da terra da área de estudo, utilizando-se dados orbitais do OLI/LDCM (Landsat-8). Para tanto, utilizou-se uma imagem do sensor OLI/LDCM (Landsat- 8), órbita/ponto 219/76, com data de passagem do satélite em 1º de setembro de 2013. O sensor OLI, em órbita no LDCM, tem resolução temporal de 16 dias, resolução radiométrica de 12 bits, escalonados posteriormente para 16 bits, e apresenta nove diferentes bandas espectrais que têm diferentes características espectrais e espaciais (EXELIS, 2014). No presente trabalho, foram empregadas oito das nove bandas espectrais (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Características das imagens obtidas pelas diferentes bandas do sensor OLI – LDCM.

Banda	Resolução espacial	Resolução espectral
Banda 1 – Costeira	30 m	0.433 - 0.453 μm
Banda 2 – Azul	30 m	0.450 - 0.515 μm
Banda 3 – Verde	30 m	0.525 - 0.600 μm
Banda 4 – Vermelho	30 m	0.630 - 0.680 μm
Banda 5 - Infravermelho próximo	30 m	0.845 - 0.885 μm
Banda 6 - Infravermelho médio	30 m	1.560 - 1.660 μm
Banda 7 - Infravermelho médio	30 m	2.100 - 2.300 μm
Banda 8 - Pancromático	15 m	0.500 - 0.680 μm

Fonte: adaptado de USGS (2014).

Diferentes etapas de pré- processamento foram aplicadas. A correção geométrica não foi necessária, pois as imagens já são fornecidas com georreferenciamento.

As bandas multiespectrais e pancromática foram inicialmente convertidas em radiância ($W \times m^{-2} \times sr^{-1} \times nm^{-1}$), por meio do uso de valores de ganho e off-set fornecidos com os metadados da imagem. A minimização dos efeitos atmosféricos, nas imagens Landsat- 8, foi feita com o módulo “fast line- of- sight atmospheric analysis of spectral hypercubes” (FLAASH) (FELDE et al., 2003). Para o procedimento da correção atmosférica, foram utilizados os filtros de sensibilidade espectral das bandas multiespectrais e pancromática, visibilidade de 85 km, coluna d’água de 3,288 $g\ cm^{-2}$, altitude média da área de 1.530 m. Considerou-se como modelos de atmosfera e de aerossóis o tropical e o rural, respectivamente. Como resultados, os valores de reflectância de superfície (fator de reflectância direcional hemisférico) para as bandas multiespectrais e pancromática foram obtidos. Uma descrição mais detalhada sobre a metodologia, bem como a terminologia empregada estão disponíveis em Oliveira et al. (2009).

Após a correção atmosférica, a fusão das bandas multiespectrais (bandas espectrais de 1 a 7, Tabela 4.3), com resolução espacial de 30 m, à banda pancromática (banda 8, Tabela 4.3) com resolução espacial de 15m foi realizada. Para isso, usou-se o comando “Gram- Schmidt spectral sharpening” e o método “average of low resolution multiespectral file”. Como produto final, foram obtidas bandas multiespectrais com resolução espacial de 15m.

Com base nos dados supracitados em uma composição falsa- cor (i.e. R5G4B6) e inspeções de campo, foram definidas 15 classes de uso da terra e cobertura vegetal. Os remanescentes florestais foram divididos em quatro classes distintas, de acordo com suas características fisiológicas e estruturais: Capoeira, Floresta Estacional Semidecídua, Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista. As áreas de uso antrópico foram divididas em oito classes: mancha urbana, cultivos agrícolas temporários, pastagem com baixo teor de fitomassa, pastagem com alto teor de fitomassa, eucalipto, pinus, solo exposto destinado à agricultura e solo exposto destinado à silvicultura. Outras três classes foram definidas: afloramento de rocha, corpos d’água e sombra. Destaca-se que cobertura vegetal do tipo capoeira, identificada em imagens de satélite, pode representar tanto áreas em estado de regeneração quanto áreas em estado de degradação. Neste trabalho, as capoeiras foram tidas como vegetação secundária.

Para a geração dos produtos cartográficos de uso e cobertura vegetal do solo, usou-se o módulo *Envi Feature Extraction* (ENVI FX), que possibilita a extração de informações e classificação de imagens com base em características espectrais, espaciais e de textura (EXELIS, 2014). Inicialmente, aplicou-se a segmentação da imagem em regiões homogêneas. Nesse processo, as bandas multiespectrais do Landsat- 8 fusionadas à banda pancromática foi utilizada.

O processo de segmentação apresenta dois processos principais, o de segmentação propriamente dita – denominado "segment setting" –, e o "merge setting". A segmentação é um método que reparte uma imagem em inúmeros segmentos. Por meio de parâmetros de entrada predefinidos, é feito o agrupamento de pixels circunvizinhos que apresentam semelhança em suas feições como textura, forma, cor etc. (EXELIS, 2014).

O ENVI FX apresenta dois algoritmos para fazer a segmentação: "edge" e "intensity". Com base no valor estipulado pelo usuário por meio da escala de segmentação, o algoritmo elimina as bordas dos segmentos mais “fracos” e obtém um resultado que pode variar entre segmentos mais suaves ou mais robustos (EXELIS, 2014). Ainda, a etapa "merge" dos segmentos é empregada para agregar segmentos pequenos em regiões maiores (EXELIS, 2014). Aplicou-se os limiares 10 para o item "segment setting", com aplicação do algoritmo "edge", e 60 para "merge setting", ambos escolhidos por tentativa e erro, até a obtenção de um resultado satisfatório verificado de forma visual sobre a composição falsa- cor R5G4B6. As feições delineadas no processo de segmentação foram exportadas para um arquivo vetorial.

A partir do arquivo segmentado supracitado, sobreposto à composição R5G4B6, 100 polígonos – ou seja, regiões de interesse (ROI) – foram extraídos para cada uma das classes de forma visual e usados como dados de treinamento.

Foram feitas então as classificações, com a aplicação dos algoritmos *Support Vector Machines* (SVM) e *k-nearest neighbors* (K - NN), que estão disponíveis no Envi FX. Nesta etapa, cada feição do arquivo gerado na segmentação é classificada com base nas características espectrais, de forma e de textura de cada classe, de acordo com os dados de treinamento.

A acurácia dos mapas temáticos gerados foi calculada, a fim de constatar qual classificador gerou os melhores resultados. Os dois métodos utilizados tratam da exatidão global (EG) (CONGALTON e GREEN, 1999) e do índice Kappa (k) (LANDIS e KOCH, 1977). Foram delineadas 20 amostras de referência para cada uso, compostas por 50 pixels cada, por inspeção e interpretação visual por meio do Google Earth (defasagem temporal inferior a um ano) e por meio de imagens da constelação RapidEye do ano de 2013. Dados de

inspeções de campo, realizado no ano de 2013, auxiliaram na escolha das amostras de referência.

Assim, na primeira etapa, avaliou-se o desempenho das classificações, a partir dos valores Kappa obtidos e do conceito de desempenho listados a seguir, de acordo com o estabelecido por Landis e Koch (1977): $K \leq 0$, péssimo; $0 < K \leq 0,2$, ruim; $0,2 < K \leq 0,4$, razoável; $0,4 < K \leq 0,6$, bom; $0,6 < K \leq 0,8$, muito bom; $0,8 < k < 1$, excelente.

Na segunda etapa, avaliou-se o desempenho entre classificadores ao nível de significância de 95%, com a aplicação do teste Z (CONGALTON & GREEN, 1999):

$$z = \frac{K_2 - K_1}{(\sigma_{K_2}^2 + \sigma_{K_1}^2)^{0,5}} \quad [\text{Eq.4.1}]$$

onde:

K_1 : índice Kappa da imagem 1;

K_2 : índice Kappa da imagem 2; e

σ^2 : variância do índice Kappa.

Quando $z > 1,96$ (95%), o teste é significativo, e a hipótese de nulidade é rejeitada, portanto, podemos concluir que há diferença estatística entre as classificações.

Por fim, analisou-se as áreas em discordância entre os resultados gerados, com o propósito de avaliar se tais diferenças entre classificadores derivam não somente da confusão espectral, mas também de influências das características fisiográficas locais como a densidade da drenagem. Para tanto, subtraímos a classe A, classificada pelo SVM, da classe A classificada pelo K- NN e, posteriormente, subtraímos a classe A, classificada pelo K- NN, da classe A, classificada pelo SVM. Os produtos das subtrações foram somados e, como resultado, as áreas em discordância para a classe A foram obtidas. O mesmo procedimento foi realizado para as demais classes de uso da terra e cobertura vegetal. Por fim, as áreas em discordância de todas as classes foram somadas, e o produto desta soma representa as áreas em discordância entre os resultados dos dois classificadores.

4.3.1.6 Mapeamento da densidade de vias de circulação

Segundo Forman e Alexander (1998) e Bigarella (2007), as vias de circulação ao atravessarem a paisagem desviam as águas pluviais do seu curso normal. Se um sistema de drenagem não for convenientemente estudado, haverá a intensificação dos processos morfodinâmicos e hidrológicos locais, elevando o pico de fluxos fluviais e de sedimentos à jusante, podendo deteriorar a qualidade da água dos recursos hídricos.

Para o mapeamento das vias de circulação, foi utilizado como base o arquivo em formato vetorial referente ao sistema viário (estradas em geral), extraído de cartas topográficas, escala 1:50.000 (IBGE, 1977) e da imagem do sensor OLI do satélite Landsat 8. O fato do arquivo vetorial do sistema viário ter sido extraído de cartas topográficas produzidas na década de 1970 (IBGE), tornou-se necessário atualizá-lo. Para tanto, no *software* ArcGIS™ 10.5, foi gerada uma composição colorida RGB 357 com bandas multiespectrais da imagem Landsat 8; segundo Trentin (2012), tal composição facilita o reconhecimento de vias. Posteriormente, o sistema viário foi atualizado por meio da ferramenta *editor*. Posteriormente, foi calculada a densidade (vias/km²) de vias por sub-bacia.

4.3.2 Análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água superficial do canal principal de sub-bacias hidrográficas

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), classifica as águas doces do território nacional em cinco classes, segundo seus usos preponderantes. Desta forma, o Art. 4º da Resolução CONAMA nº 357, de 2005, classifica as águas doces em:

I - *Classe especial: águas destinadas:*

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

II - *Classe 1: águas que podem ser destinadas:*

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - *Classe 2: águas que podem ser destinadas:*

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;

- d) 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; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - Classe 3: águas que podem ser destinadas:

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

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística (CONAMA, 2005, p.3-4).

Para cada uma destas classes a resolução prevê limites máximos e mínimos de concentrações permitidos para determinados elementos e parâmetros na água. Desta forma, as águas das sub-bacias da Bacia PJ se enquadram principalmente nas Classes 1 e 2. Os parâmetros de qualidade de água mensurados e analisados nesta tese foram os seguintes:

Parâmetros físicos: temperatura, condutividade elétrica, turbidez, total de sólidos dissolvidos e resistividade.

Parâmetros químicos: pH, oxigênio dissolvido, nitrato, cloreto e salinidade.

Parâmetros biológicos: coliformes totais e a bactéria *E. coli*.

As análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram realizadas após um planejamento estruturado nas seguintes etapas:

- a) Delineamento amostral das sub-bacias e respectivos pontos de coleta e leitura de parâmetros e traçado do itinerário das viagens de campo;
- b) Seleção dos períodos sazonais para amostragem;
- c) Estimativa da entrada de água nas sub-bacias, por meio de precipitação pluvial acumulada nos 5 dias precedentes às datas de amostragem;
- d) Definição dos métodos analíticos dos parâmetros de qualidade da água; preparação dos materiais; preservação das amostras; e registro dos dados.

4.3.2.1 Delineamento amostral

Foi definida uma amostra de 12 sub-bacias, que corresponde a 27,3% da população total de sub-bacias e abrange 53,04% da área total da Bacia PJ. A seleção das 12 sub-bacias (delineamento amostral) foi estratificada sistemática, com o objetivo de selecionar amostras de todas as unidades de paisagem da Bacia PJ. Conforme Berry (1968), uma amostragem estratificada é aquela em que a área de estudo é subdividida em estratos, e os pontos de amostragem dentro dos estratos podem ser selecionados aleatoriamente, sistematicamente ou de maneira alinhada. Tomou-se como base o mapa de Geossistemas da APA Fernão Dias

(MORETTI, 2011), a ordem do canal principal das sub-bacias e a acessibilidade às mesmas. Priorizou-se a seleção, sistemática, de sub-bacias de quarta ordem que abrangessem, preferencialmente, expressivas áreas territoriais em apenas um geossistema (estrato) e com acessibilidade ao ponto de coleta/medição. Caso o número de sub-bacias selecionadas para serem amostradas a partir de tais premissas não contemplasse um total de doze sub-bacias, admitir-se-iam sub-bacias inseridas em mais de um geossistema ou com canal principal de terceira ordem, ou, em casos excepcionais, sub-bacias de quinta ordem.

Assim, a partir de amostragem estratificada por geossistemas, foram selecionadas quatro sub-bacias inseridas integralmente no geossistema *Altos da Terra Fria*, três sub-bacias inseridas integralmente no geossistema *Corredor da Rodovia Fernão*, duas sub-bacias inseridas integralmente no geossistema *Bordas do Planalto Alto Jaguari*, duas sub-bacias inseridas nos geossistemas *Corredor da Rodovia Fernão* e *Bordas do Planalto Alto Jaguari* e uma sub-bacia inserida numa área compreendida nos três geossistemas. Tal amostragem contempla todas regiões da Bacia PJ, evitando assim, uma amostragem enviesada.

Os pontos de coleta/medição selecionados estão localizados à montante dos exutórios das sub-bacias, uma vez que os parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas superficiais, neste trecho das sub-bacias, tendem a ser influenciados pelas variáveis biofisiográficas e antrópicas de toda área à montante da sub-bacia. Evitou-se áreas próximas à pontos de lançamentos de efluentes líquidos industriais e/ou domésticos. O conjunto dos pontos amostrais compõe a rede de monitorização de PQA da Bacia PJ. Na etapa de seleção dos pontos de coleta/análise foram utilizadas cartas topográficas impressas (Tabela 4.1) e a plataforma Google Earth.

Tendo em vista a extensão da rede de pontos de coleta/medição de PQA da Bacia PJ, as campanhas de amostragem foram realizadas em três dias distintos, sendo amostradas, preferencialmente, quatro sub-bacias por dia. Na primeira campanha de amostragem, por eventualidades, tais critérios não puderam ser seguidos. Já na campanha referente à primavera, foram realizadas apenas duas campanhas de amostragens, com análise dos pontos de 1 a 6 na primeira campanha de amostragem e de 7 a 12 na segunda campanha de amostragem.

4.3.2.2 Períodos sazonais de amostragem

Para se determinar a época de amostragem nos períodos sazonais foi utilizado o Atlas Pluviométrico do Brasil, Isoietas dos Totais Trimestrais - 1977 a 2006 (PINTO et al., 2009 - CPRM), o qual foi elaborado a partir de dados pluviométricos de uma série temporal de 30

anos. Com base nas isoietas do Atlas, foram gerados mapas de isarítmicas de precipitação total média na Bacia PJ para os seguintes trimestres: dezembro-janeiro-fevereiro; março-abril-maio; junho-julho-agosto; e setembro-outubro-novembro (Figura 4.6).

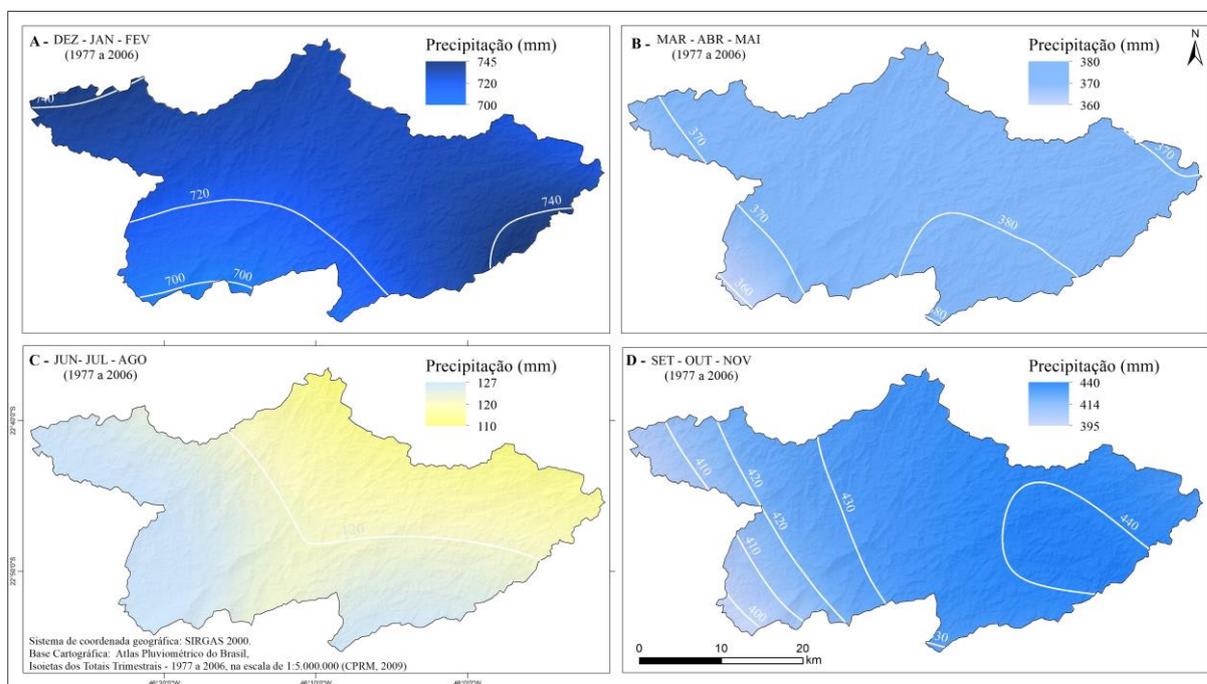


Figura 4.6 - Mapa da distribuição da chuva na Bacia PJ em quatro períodos trimestrais: (A) dezembro, janeiro e fevereiro; (B) março, abril e maio; (C) junho, julho e agosto; (D) setembro, outubro e novembro. Modificado de PINTO et al., 2011.

A partir da análise da coleção de mapas contida na Figura 4.6, correspondentes aos mapas isarítmicos de precipitação total média na Bacia PJ, por trimestre, definiu-se os seguintes períodos amostrais: período seco (Inverno) – uma campanha de amostragem nos meses de agosto e setembro (2015); período chuvoso (Verão) – uma campanha de amostragem no mês de dezembro (2015); período intermediário I (Outono) – uma campanha de amostragem nos meses de março e abril (2016); e período intermediário II (Primavera) – uma campanha de amostragem no mês de outubro (2016).

4.3.2.3 Cálculo da entrada de água, por precipitação, nas sub-bacias

A análise da quantidade de água precipitada nas sub-bacias nos 5 dias que precederam cada uma das campanhas de amostragem foi realizada a partir dos dados de precipitação da missão GPM (*Global Precipitation Mission* – NASA e JAXA). A missão GPM é uma parceria entre as agências espaciais dos Estados Unidos (NASA) e do Japão (JAXA), com o objetivo de fornecer dados de precipitação para todo o globo terrestre, possibilitando a

medição global dos padrões de distribuição das chuvas (NASA, 2016). A base da missão GPM é o satélite *GPM Core Observatory*, desenvolvido e testado no *NASA Goddard Space Flight Center* e colocado em órbita pelo Japão, com o foguete H-IIA, lançado da Ilha Tanegashima, no Japão, em 27 de fevereiro de 2014 (NASA, 2016).

Os dados coletados pelos sistemas sensores do satélite *GPM Core Observatory* servem como padrão de referência na unificação de medições de precipitação obtidos por uma série de satélites operacionais lançados por um consórcio científico entre os Estados Unidos, Japão, França, Índia e outros países da Europa (NASA, 2016). O satélite *GPM Core Observatory* mede a precipitação na forma de chuva e neve a partir de dois instrumentos: o *GPM Microwave Imager* (GMI) e o *Dual-frequency Precipitation Radar* (DPR). O GMI capta a intensidades da precipitação em padrões horizontais, enquanto o DPR fornece informações sobre a estrutura tridimensional das partículas precipitantes (NASA, 2016). O satélite *GPM Core Observatory* opera a uma altitude de 407 km em uma órbita heliossíncrona, cobrindo a Terra de 65 °S a 65 °N - do Círculo Antártico ao Círculo Ártico (NASA, 2016).

A constelação de satélites GPM gera dados de precipitação para todo o globo terrestre a cada 2 horas, com uma resolução espacial de 0,1 grau (1 quilômetro), com erro médio menor que 3 mm/h, considerado adequado para aplicações científicas (NASA, 2016). Os dados de precipitação da missão GPM são disponibilizados no repositório *Giovanni* (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>), fornecidos como precipitação média ou precipitação acumulada para um dado período (horas, dias, meses).

Para a obtenção dos dados utilizados nesta pesquisa, foram informadas as coordenadas geográficas do retângulo envolvente à Bacia PJ, e solicitado, separadamente, os dados de precipitação acumulada para o período correspondente aos 5 dias precedentes a cada campanha de amostragem. O repositório *Giovanni* fornece uma variedade de dados, dentre os quais foi utilizado o dado *Multi-satellite precipitation estimate with climatological gauge calibration - Late Run*, o qual os dados são calibrados com dados auxiliares. Em seguida, foi realizado o download dos dados no formato NetCDF.

No ArcGIS, os arquivos NetCDF foram rasterizados a partir da ferramenta *Make NetCDF Raster Layer*. Este processo gerou arquivos matriciais, em cujos pixels é registrada a precipitação acumulada para os períodos requeridos. Posteriormente, os arquivos matriciais foram convertidos para arquivos vetoriais no formato de pontos. Considerando-se que a precipitação consiste em uma variável geográfica contínua, procedeu-se à interpolação dos arquivos de ponto, utilizando-se o aplicativo *Topo to Raster* do ArcGIS 10.5.

Marcuzzo et al. (2011) demonstraram o potencial do interpolador *Topo to Raster* na geração de superfícies de variáveis pluviométricas, tendo este interpolador alcançado resultados superiores aos dos interpoladores *IDW*, *Krigagem* e *Spline de Tensão*. A função *Topo to Raster*, disponível na extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS 10.5, aplica um método de interpolação fundamentado no programa ANUDEM, desenvolvido por Hutschinson (1988, 1989), destinado, inicialmente, à geração de Modelos Digital de Elevação (DEM) hidrológicamente corretos (ESRI, 2016).

Desta forma, as interpolações dos dados de precipitação acumulada foram realizadas por meio da ferramenta *Topo to Raster* do software ArcGIS 10.5, a qual gerou arquivos em formato raster (.tif) com resolução espacial de 50m, previamente definidas. Posteriormente, estes arquivos foram recortados com base nos limites das 12 sub-bacias amostradas, sendo calculada a média da precipitação acumulada nos 5 dias precedentes às campanhas de amostragem realizadas.

4.3.2.4 Procedimentos analíticos empregados na análise dos PQA

Os ensaios analíticos empregados seguem os procedimentos estabelecidos para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos de água superficial descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998), publicado pela *American Public Health Association* (APHA), e no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (2011), publicado pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Durante a campanha de amostragem foram realizados os seguintes procedimentos (Quadro 4.4):

- Registro, em ficha individual por ponto, das coordenadas UTM do local e descrição das características biofisiográficas do ponto;
- Registro fotográfico do ponto de coleta, dos trechos à montante e à jusante do mesmo, bem como do seu entorno;
- Calibração dos sensores do medidor multiparâmetro HI9829 (HANNA, 2013), seguindo as recomendações constantes no manual de instruções do aparelho. Tal procedimento foi realizado apenas no primeiro ponto de cada campanha de amostragem. Foi realizada a calibração individual por parâmetro. Abaixo são apresentados os pontos padrão utilizados na calibração dos parâmetros:
 - pH: pH 4,0, pH 7,0 e pH 10,0;
 - Potencial de Oxidação-Redução: 470 mV;
 - Oxigênio dissolvido: OD 0 % e OD 100 %;

- Condutividade elétrica: CE 12,88 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- Turbidez: 0 UNT, 20 UNT e 200 UNT;
- Coletas e análises efetuadas em triplicatas, com uma amostragem a cada dez minutos, visando uma melhor representatividade do local amostrado. Tal procedimento diminui as chances de possíveis anomalias nos dados, melhorando a acurácia dos mesmos. Em cada amostragem da triplicata são realizados os seguintes procedimentos:
 - Coleta de água superficial do ponto para ambientação do recipiente coletor (balde de aço inox de 7 litros), sendo posteriormente descartada;
 - Coleta de água superficial, entre 0 e 30 centímetros da lâmina d'água, por meio do recipiente coletor. Desta, são coletadas três amostras de 100mL para análise de coliformes totais, *E. coli*, nitrato e cloreto. As mesmas são identificadas – número do ponto e número da amostra - e acondicionadas sob refrigeração em caixa térmica até o momento da análise, a fim de preservar suas características químicas e biológicas; e
 - Mensuração dos parâmetros físico-químicos, realizada a partir do medidor multiparâmetros HANNA HI9829. Os parâmetros medidos são temperatura, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos, resistividade e salinidade. A medição dos parâmetros é realizada mergulhando-se a sonda com sensores no recipiente coletor de amostras, após ambientação e estabilização dos sensores na amostra. Posteriormente, é realizado o registro dos valores medidos, na ficha individual do referido ponto e na memória do multiparâmetros, bem como o horário da coleta. Após cada análise, os sensores são lavados com água destilada.

As amostras coletadas foram analisadas após a campanha de amostragem. As medidas de nitrato e cloreto foram realizadas a partir do medidor multiparâmetros HANNA HI9829. Uma vez que o conector para os sensores de Nitrato e Cloreto é o mesmo que o de pH, procedeu-se inicialmente com a leitura de nitrato, e, posteriormente, a de cloreto. Foi realizada a calibração individual por parâmetro, com os pontos padrão de calibração de nitrato (10 ppm e 100 ppm) e cloreto (10 ppm e 100 ppm).

No Quadro 4.3 são apresentadas as faixas de medidas do multiparâmetros para os parâmetros de qualidade da água, os limites e teores máximos de concentração permitidos para águas das classes 1 e 2 (Brasil, 2005) e uma breve descrição dos sensores de medição.

Quadro 4.3 - Faixas de medidas das concentrações dos parâmetros de qualidade da água dos materiais/métodos empregados, limites e teores máximos de concentração permitidos para águas das classes 1 e 2 (Brasil, 2005) e breve descrição dos sensores de medição.

Parâmetro	Faixa/Unidade	Precisão	Limite máx. permitido (CONAMA)	Características do sensor	
Propriedades físicas	Temperatura	-5,00 a 55,00 °C	± 0,15 °C	-	A sonda é calibrada em fábrica para as leituras da temperatura (HANNA, 2011).
	Condutividade elétrica		± 1% da leitura ou ± 1 µS/cm o que for maior	-	O sensor combinado de CE/Turvação HI 7609829-4 , inclui num único corpo, um sensor de condutividade com 4 eletrodos e um sensor de turvação, em conformidade com as normas ISO 7027. O sensor de turvação usa uma técnica óptica para medir as partículas suspensas na água (HANNA, 2011).
	Turbidez	0,0 a 1000 UNT	± 0,3 UNT ou ± 2% da leitura, o que for maior	100 UNT	
	Total de sólidos dissolvidos	0 a 400000 mg/L	± 1% da leitura ou ± 1 ppm (mg/L) o que for maior	500 mg/L	TSD é calculado com base na condutividade da solução (TDS = factor x EC25). O fator de conversão TSD pode ser definido desde 0.00 a 1.00. Um fator de TSD típico para soluções iônicas fortes é 0.5, enquanto que para soluções iônicas fracas (ex.: fertilizantes) é 0.7. O valor padrão é 0.50 (HANNA, 2011).
	Resistividade	0 a 999999 Ω·cm	-	-	A resistividade é calculada a partir da medição de condutividade (HANNA, 2011).
Propriedades químicas	pH	0,00 a 14,00 pH	± 0,02 pH	6,0 a 9,0 pH	O sensor de pH/ORP possui um bolbo em vidro sensível para leituras de pH, um sensor em platina para medições redox e uma referência de dupla junção em prata/prata, com eletrolítica em gel (HANNA, 2011).
	Oxigênio dissolvido	0,0 a 500.0%	± 1,5% da leitura ou ± 0,10 ppm (mg/L) o que for maior	> 5 mg/L O ₂	O sensor de oxigênio dissolvido (O.D.) é um sensor galvânico. A membrana fina permeável a gás isola os elementos do sensor da solução de teste, mas permite a passagem do oxigênio. O oxigênio que passa através da membrana é reduzido no cátodo e provoca uma corrente, a partir da qual é determinada a concentração de oxigênio (HANNA, 2011).
	Nitrato	0,02 a 200 ppm	± 5% da leitura ou 2 ppm, o que for maior	10 mg/L (10,011 ppm)	O ISE de Nitrato é um sensor de membrana líquida utilizado para a detecção de azoto nítrico em amostras de água doce. O sensor utiliza uma membrana polimérica produzida com um ionóforo de nitrato numa cabeça PVC um eletrodo referência prata/cloreto de com junção dupla e enchimento a gel. Este sensor é utilizado no local do sensor de pH na sonda (HANNA, 2011).
	Cloreto	0,6 a 18000 ppm	± 5% da leitura ou 2 ppm, o que for maior	250 mg/L (250,28 ppm)	O ISE de Cloreto é um sensor de estado sólido combinado, utilizado para a detecção de íons de cloreto livres em amostras de água doce. O sensor utiliza uma pastilha de cloreto de prata alojada numa cabeça PEI um eletrodo referência prata/cloreto de com junção dupla e enchimento a gel. Este sensor é utilizado no local do sensor de pH na sonda (HANNA, 2011).
	Salinidade	0.00 a 70,0 PSU	±2% da leitura ou ±0.01 PSU o que for maior	-	A medição da salinidade baseia-se na Escala Prática de Salinidade que utiliza a medição EC (HANNA, 2011).

Quadro 4.4 - Procedimentos realizados durante as campanhas de amostragem.



1) Preparação do multiparâmetros e das soluções e materiais utilizados na calibração.



2) Soluções padrão para calibração dos sensores, acondicionadas em frascos identificados.



3) Seleção do parâmetro a ser calibrado.



4) Calibração por parâmetro.



5) Ambientação do recipiente de aço inox e coleta de amostra de água, em ponte.



5.1) Ambientação do recipiente de aço inox e coleta de amostra de água, em margem.



6) Separação de amostra para análise de coliformes totais, *E. Coli*, nitrato e cloreto.



7) Ambientação e estabilização dos sensores na amostra, para posterior leitura



8) Registro dos valores medidos em tabela impressa e na memória do multiparâmetros.

A análise microbiológica referente aos coliformes totais e *E. coli* emprega o método por diluição seriada com teste cromogênico. Foi utilizado o dispositivo iMPNplate™-1600 e substrato cromogênico definido ONPG-MUG para a contagem dos micro-organismos, e estufa portátil Termobac Microprocessada para incubação dos dispositivos com as amostras, com mensuração dos parâmetros após 24 horas de incubação a $36 \pm 0,5$ °C (Quadro 4.5).

O iMPNplate™-1600 é um dispositivo de enumeração microbiana projetado de acordo com o índice número mais provável (NMP), e apresenta limites de confiança de 95% conforme *Standard Methods*. O dispositivo contém poços de tamanhos variáveis: cinco poços de 10mL, cinco poços de 1mL, cinco poços 0,1mL, e o poço 16, com pouco mais de 55mL (AEMTEK, 2012). O dispositivo tem uma calha em torno dos poços que direciona a água excedente para o poço 16. Após misturar a água amostrada com o substrato cromogênico definido ONPG-MUG, a amostra é vertida diretamente nos poços, preenchendo todos os 15 poços. A água restante é então vertida para dentro do poço 16 do iMPNplate™ 1600. Uma película de selagem é aplicada para vedar o dispositivo (AEMTEK, 2012). Os dispositivos são então incubados à temperatura de $36 \pm 0,5$ °C por um período de 24 horas.

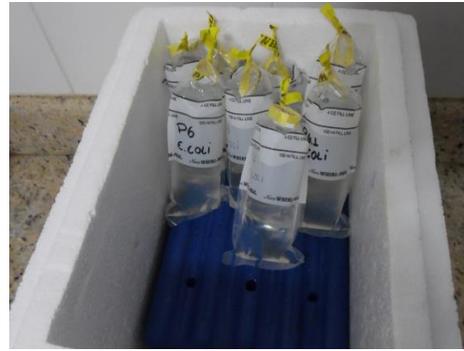
O substrato cromogênico definido ONPG-MUG permite a análise simultânea da presença de *E. coli* e coliformes totais. A detecção de coliformes totais é fundamentada no substrato orto-nitrofenil- β -D-galactopiranosídeo (ONPG), que produz o-nitrofenol de cor amarelada, após a hidrólise com a enzima, caso exista coliformes (GREGHI, 2005). Já a detecção de *E. coli* é obtida através da ação da enzima β -glucoronidase, que ao reagir com o substrato MUG (4-methylumbelliferyl- β -D-glucuronide) confere fluorescência à amostra sob luz ultravioleta no comprimento de onda de 360 nm (GREGHI, 2005).

Após a incubação por um período de 24 horas, foi realizada a contagem do número de poços positivos em cada uma das categorias de volume (S – 0,1 mL; M – 1,0 mL; e L – 10 mL) e a combinação dos positivos foram utilizadas para estimar o valor do número mais provável (NMP), com base no Quadro Índice para leitura de Número Mais Provável (NMP) apresentado na Figura 4.7 (AEMTEK, 2012). O Quadro 4.5 apresenta de forma detalhada e ilustrada os procedimentos supracitados.

Concluída a leitura dos resultados, os dispositivos foram descontaminados por autoclave no Laboratório de Bioprocessos, da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp, e descartados.

Quadro 4.5 - Procedimentos realizados na análise microbiológica.

1) Ambientação da estufa para a temperatura de 36 °C.



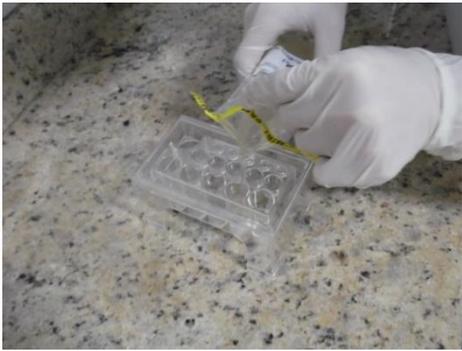
2) Amostras acondicionadas em caixa térmica, sob refrigeração.



3) Remoção da embalagem esterilizada do dispositivo “Placa de NMP iMPNplate™1600”.



4) Diluição do substrato cromogênico definido ONPG-MUG na amostra de 100 mL de água.



5) Despejo da mistura amostra/substrato nos 15 poços da Placa de NMP iMPNplate™1600.



6) Vedação do dispositivo com película adesiva, deslizando a mão na direção esquerda/direita. Excesso fica no poço 16.



7) Fixação das abas da película adesiva nas laterais do dispositivo, de modo a deixar o dispositivo selado.



8) Identificação, no dispositivo, do ponto e número da amostra. A amostra está pronta para ser incubada.



9) Dispositivos encubados à temperatura de 36 °C, após 6 horas, já com mudança de cor de alguns poços.



10) Dispositivos encubados à temperatura de 36 °C, após 24 horas, com mudança de cor de vários poços.



11) Leitura do resultado de acordo com o método. A cor amarelada da amostra no poço indica positivo para coliformes totais.



12) Dispositivo observado em ambiente escuro com lanterna UV. Reação de fluorescência indica positivo para *E. coli*.

# of Positive Wells			MPN/ 100mL	# of Positive Wells			MPN/ 100mL	# of Positive Wells			MPN/ 100mL	# of Positive Wells			MPN/ 100mL	# of Positive Wells			MPN/ 100mL				
L	M	S		L	M	S		L	M	S		L	M	S		L	M	S					
10 mL	1 mL	0.1 mL	10 mL	1 mL	0.1 mL	10 mL	1 mL	0.1 mL	10 mL	1 mL	0.1 mL	10 mL	1 mL	0.1 mL	10 mL	1 mL	0.1 mL	10 mL	1 mL	0.1 mL			
0	0	0	< 1 or 1*	1	0	0	2	2	0	0	5	3	0	0	8	4	0	0	13	5	0	0	24
0	0	1	2	1	0	1	4	2	0	1	7	3	0	1	11	4	0	1	17	5	0	1	31
0	0	2	4	1	0	2	6	2	0	2	9	3	0	2	14	4	0	2	21	5	0	2	43
0	0	3	5	1	0	3	8	2	0	3	12	3	0	3	17	4	0	3	25	5	0	3	58
0	0	4	7	1	0	4	10	2	0	4	14	3	0	4	20	4	0	4	30	5	0	4	76
0	0	5	9	1	0	5	12	2	0	5	16	3	0	5	23	4	0	5	36	5	0	5	95
0	1	0	2	1	1	0	4	2	1	0	7	3	1	0	11	4	1	0	17	5	1	0	33
0	1	1	4	1	1	1	6	2	1	1	9	3	1	1	14	4	1	1	21	5	1	1	46
0	1	2	6	1	1	2	8	2	1	2	12	3	1	2	17	4	1	2	26	5	1	2	63
0	1	3	7	1	1	3	10	2	1	3	14	3	1	3	20	4	1	3	31	5	1	3	84
0	1	4	9	1	1	4	12	2	1	4	17	3	1	4	23	4	1	4	37	5	1	4	110
0	1	5	11	1	1	5	14	2	1	5	19	3	1	5	27	4	1	5	43	5	1	5	130
0	2	0	4	1	2	0	6	2	2	0	9	3	2	0	14	4	2	0	22	5	2	0	49
0	2	1	6	1	2	1	8	2	2	1	12	3	2	1	17	4	2	1	26	5	2	1	70
0	2	2	7	1	2	2	10	2	2	2	14	3	2	2	20	4	2	2	32	5	2	2	94
0	2	3	9	1	2	3	12	2	2	3	17	3	2	3	24	4	2	3	38	5	2	3	120
0	2	4	11	1	2	4	15	2	2	4	19	3	2	4	27	4	2	4	44	5	2	4	150
0	2	5	13	1	2	5	17	2	2	5	22	3	2	5	31	4	2	5	50	5	2	5	180
0	3	0	6	1	3	0	8	2	3	0	12	3	3	0	17	4	3	0	27	5	3	0	79
0	3	1	7	1	3	1	10	2	3	1	14	3	3	1	21	4	3	1	33	5	3	1	110
0	3	2	9	1	3	2	13	2	3	2	17	3	3	2	24	4	3	2	39	5	3	2	140
0	3	3	11	1	3	3	15	2	3	3	20	3	3	3	28	4	3	3	45	5	3	3	180
0	3	4	13	1	3	4	17	2	3	4	22	3	3	4	31	4	3	4	52	5	3	4	210
0	3	5	15	1	3	5	19	2	3	5	25	3	3	5	35	4	3	5	59	5	3	5	250
0	4	0	8	1	4	0	11	2	4	0	15	3	4	0	21	4	4	0	34	5	4	0	130
0	4	1	9	1	4	1	13	2	4	1	17	3	4	1	24	4	4	1	40	5	4	1	170
0	4	2	11	1	4	2	15	2	4	2	20	3	4	2	28	4	4	2	47	5	4	2	220
0	4	3	13	1	4	3	17	2	4	3	23	3	4	3	32	4	4	3	54	5	4	3	280
0	4	4	15	1	4	4	19	2	4	4	25	3	4	4	36	4	4	4	62	5	4	4	350
0	4	5	17	1	4	5	22	2	4	5	28	3	4	5	40	4	4	5	69	5	4	5	430
0	5	0	9	1	5	0	13	2	5	0	17	3	5	0	25	4	5	0	41	5	5	0	240
0	5	1	11	1	5	1	15	2	5	1	20	3	5	1	29	4	5	1	48	5	5	1	350
0	5	2	13	1	5	2	17	2	5	2	23	3	5	2	33	4	5	2	56	5	5	2	540
0	5	3	15	1	5	3	20	2	5	3	26	3	5	3	37	4	5	3	64	5	5	3	920
0	5	4	17	1	5	4	22	2	5	4	29	3	5	4	41	4	5	4	72	5	5	4	1600
0	5	5	19	1	5	5	24	2	5	5	32	3	5	5	45	4	5	5	81	5	5	5	> 1600

Figura 4.7 - Quadro Índice para leitura de NMP no dispositivo iMPNplate™-1600. Fonte: AEMTEK iMPNplate™-1600 User Manual and MPN Table v.1, 2012.

4.3.3 Extrapolação de parâmetros de qualidade da água e regionalização de sub-bacias hidrográficas

4.3.3.1 Extrapolação de parâmetros de qualidade da água

Nesta etapa foi realizada a extrapolação de valores de doze parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de qualidade da água, a partir da correlação entre variáveis explicativas, contabilizadas para uma população de 44 sub-bacias da Bacia PJ e variáveis respostas, contabilizada para uma amostra de 12 sub-bacias.

4.3.3.1.1 Modelos de extrapolação

Esta seção aborda os métodos de extrapolação utilizados para extrapolar valores de qualidade da água de sub-bacias amostradas para sub-bacias não amostradas. Neste estudo foram empregadas as técnicas *Support Vector Regression* (SVR) e *K Nearest Neighbors Regression* (K-NNR). Antes de se abordar as técnicas de extrapolação, é apresentada uma descrição do conjunto de dados utilizado nos modelos.

4.3.3.1.2 Conjunto de dados

O conjunto de dados utilizado nos modelos de extrapolação é composto por dados referentes às variáveis explicativas e às variáveis resposta. O conjunto das variáveis explicativas é composto por dados de 27 variáveis, sendo 18 correspondentes a características geomorfológicas e 9 a características de uso da terra e cobertura vegetal (Tabela 4.4), contabilizadas para uma população de 44 sub-bacias da Bacia PJ. Já o conjunto referente às variáveis resposta é composto por dados de 12 parâmetros de qualidade da água, sendo 5 sobre propriedades físicas, 5 referentes a propriedades químicas e dois sobre propriedades microbiológicas (Tabela 4.5). Os valores destes parâmetros foram obtidos em 12 das 44 sub-bacias, nas quatro estações do ano, e em triplicatas, totalizando 144 amostras para cada parâmetro de qualidade de água. Exceções foram os parâmetros nitrato e cloreto. O nitrato não foi aferido no outono devido a falha no sensor ISE Nitrato, totalizando assim 108 amostras deste parâmetro. O cloreto não foi aferido nos períodos intermediários (primavera e outono) devido a falha no sensor ISE Cloreto, totalizando assim 72 amostras deste parâmetro.

Tabela 4.4 - Variáveis explicativas utilizadas nos modelos de regressão e respectivos parâmetros e unidades de medida.

	Parâmetro	Unidade
Morfometria	Densidade de Drenagem (Dd)	Km/km ²
	Densidade Hidrográfica (Dh)	Canais/km ²
	Coefficiente de Manutenção (Cm)	m ² para um 1m de canal
	Extensão do Percurso Superficial (Eps)	m
	Textura Topográfica (Tt)	Adimensional
	Índice de rugosidade (Ir)	Adimensional
Relevo	Plano (0 a 3%)	
	Suave ondulado (3 a 8%)	
	Moderadamente ondulado (8 a 13%)	
	Ondulado (13 a 20%)	
	Forte ondulado (20 a 45%)	
	Montanhoso ou escarpado (>45%)	%
	Vertente retilínea	
	Vertente côncava	
	Vertente convexa	
	Vertente plana	
Vertente convergente		
Vertente divergente		
Uso e cobertura vegetal da terra	Agricultura	
	Pastagem	
	Silvicultura	
	Remanescente florestal	
	Capoeira	%
	Área urbana	
	Água	
Afloramento de rocha		
Densidade de estradas	Vias/km ²	

Tabela 4.5. Variáveis resposta utilizadas nos modelos de regressão e respectivos parâmetros de qualidade da água.

	Parâmetro	Unidade
Propriedades físicas	Temperatura	°C
	Condutividade elétrica	(μ S/cm)
	Resistividade	(Ω .cm)
	Turbidez	(UNT)
	Total de sólidos dissolvidos	(mg/L)
Propriedades químicas	pH	-
	Oxigênio dissolvido	(mg/L)
	Nitrato	(mg/L)
	Cloreto	(mg/L)
	Salinidade	PSU
Propriedades microbiológicas	Coliformes totais	(NMP)
	<i>E. coli</i>	(NMP)

4.3.3.1.3 Variáveis resposta – tratamento de dados ausentes

Em virtude da falha do sensor ISE Nitrato no período seco e falha do sensor ISE Cloreto nos períodos intermediários (primavera e outono), foram realizadas estimativas das concentrações de nitrato e cloreto para os períodos correspondentes. A partir do coeficiente de correlação (r), constatou-se que a variável nitrato apresentou correlação com os parâmetros condutividade elétrica (0,88), TSD (0,88) e Resistividade (-0,89); e a variável cloreto apresentou correlação com os parâmetros condutividade elétrica (0,8) e TSD (0,8).

Posteriormente, foi realizada uma análise da proporção dos períodos que continham dados de ambas variáveis, com o intuito de ver o quanto os valores de CE, TSD e Resistividade variava em relação à concentração nitrato e o quanto os valores de CE e TSD variava em relação à concentração de cloreto. Após esta etapa, realizou-se o cálculo de média ponderada da soma de cada uma para compor os dados ausentes.

4.3.3.1.4 Variáveis resposta – subdivisão para treinamento e teste

Etapa precedente à aplicação dos modelos de extrapolação constitui-se na subdivisão do conjunto de dados das variáveis resposta, de modo a reservar uma parte dos dados para treinamento e a outra parte para validação e teste. Em um primeiro momento, das doze sub-bacias amostradas, duas delas, localizadas em diferentes tipos de unidades de paisagem da Bacia PJ foram reservadas para teste. Do total de 144 análises realizadas para cada um dos parâmetros de qualidade da água, 120 (83,33%) foram reservadas para treinamento e 24 (16,67%) para teste e validação.

4.3.3.1.5 Modelo de extrapolação - *K-Nearest Neighbor Regressor* (K-NNR)

O algoritmo dos vizinhos mais próximos apresenta variações determinadas pelo número de vizinhos analisados. Cada objeto representa um ponto em um espaço definido pelos atributos, chamado espaço de entrada, onde ao se definir uma métrica nesse espaço, é possível se computar as longinquidades entre dois pontos utilizando-se a distância euclidiana (FACELI, 2011).

Com a aplicação do K-NNR cada objeto é extrapolado pela interpolação local dos objetos associados a vizinhos mais próximos, no conjunto de treinamento. O valor de k é definido pelo usuário, sendo recomendado um valor pequeno e ímpar (por exemplo, $k=3, 5, 7, \dots$) (FACELI, 2011). Neste contexto, a extrapolação dos parâmetros de qualidade com base em variáveis biofisiográficas foi realizada a partir da técnica K-NNR, com aplicação da métrica distância euclidiana. Foi utilizada toda a base, sendo empregada a média ponderada pela distância dos valores obtidos para os 3 vizinhos mais próximos ($k=3$). Esta etapa foi realizada em linguagem python (ROSSUM; BOER, 1991), utilizando pacote Scikit-learn, o qual já fornece o algoritmo implementado.

4.3.3.1.6 Modelo de extrapolação - *Support Vector Regression* (SVR)

A Regressão por Vetores de Suporte (*Support Vector Regression* - SVR) é uma adaptação da Máquina de Vetores de Suporte (*Support Vector Machines* – SVM), introduzida por Cortes e Vapnik (1995) (BARRETO, 2017). O algoritmo SVM foi desenvolvido com o objetivo de resolver problemas de reconhecimento de padrões, sendo o SVR uma extensão do SVM para problemas de aproximação de funções – estimação, predição e extrapolação (VAPNIK, 1995).

O algoritmo de vetores de suporte mapeia os dados de entrada em um espaço multidimensional, onde são classificados a partir de *kernels* não lineares, com a utilização de vetores de suporte, sendo aplicado no final o mapeamento inverso para se fornecer as saídas (BARRETO, 2017). Os vetores de suporte são calculados na etapa de treinamento, com o objetivo de encontrar o limiar equidistante mais próximo que divide as classes geradas conjuntamente com os dados de entrada (BARRETO, 2017).

Diante da lógica dos vetores de suporte, a extrapolação dos parâmetros de qualidade da água com base em variáveis biofisiográfica foi realizada a partir da técnica SVR com emprego do *kernel* de função de base radial (*radial basis function* – RBF). Esta etapa foi realizada em linguagem python (ROSSUM; BOER, 1991), utilizando pacote *Scikit-learn*, o qual já fornece o algoritmo implementado.

4.3.3.1.7 Análise do desempenho dos modelos

O desempenho dos modelos foi avaliado com a finalidade de calcular o erro apresentado por cada método estimador e selecionar aquele que apresentou a maior acurácia na extrapolação dos valores dos parâmetros de qualidade da água. Foram calculados dois tipos de erro: erro médio absoluto e erro médio percentual absoluto; além do coeficiente de determinação (R^2). O erro médio absoluto (MAE) mede a diferença média entre os dados valores extrapolados e os valores observados nas medições, constituindo na média dos erros da extrapolação; O erro médio percentual absoluto (MAPE) mede a magnitude do erro em termos percentuais; O coeficiente de determinação (R^2) apresenta amplitude entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o desempenho do modelo em explicar os valores observados. Para o cálculo destes erros foram utilizados os dados das sub-bacias 2 e 29, reservadas para validação, e os dados extrapolados para estas duas sub-bacias, por meio dos modelos K-NNR e SVR.

Por fim, comparou-se o erro médio absoluto de cada parâmetro de qualidade da água, por período sazonal, com a diferença entre o maior e o menor valor das triplicatas destes mesmos parâmetros. Estes dados são apresentados no apêndice 1.

4.3.3.1.8 Modelo composto

Após a análise dos erros apresentados pelos modelos K-NNR e SVR, selecionou-se o modelo com melhor desempenho para cada parâmetro de qualidade da água. Assim, foi realizada uma nova extrapolação, com aplicação do modelo de melhor precisão para cada parâmetro de qualidade de água, sendo incluído aos dados de treinamento os dados utilizados para teste e validação na etapa anterior. Desta forma, nesta etapa as extrapolações dos parâmetros de qualidade de água foram realizadas com base nos dados de treinamento das 12 sub-bacias analisadas nos quatro períodos sazonais, aumentando a capacidade da extrapolação em alcançar valores mais fidedignos do que os alcançados pela extrapolação com 10 sub-bacias de treinamento.

Por fim, foi gerada uma coleção de mapas temáticos para cada período sazonal, composta pelos mapas de concentração dos parâmetros de qualidade de água das sub-bacias da Bacia PJ. Os valores das concentrações foram divididos em quatro classes, e os intervalos de classes foram obtidos com o emprego da técnica de classificação quebras naturais.

Para avaliar o desempenho do modelo composto, foram coletadas amostras da água do rio principal de seis sub-bacias não amostradas e de duas sub-bacias já amostradas (sub-bacias

para controle). As métricas de erro aplicadas na etapa anterior foram utilizadas nesta etapa, comparando-se os valores do modelo composto aos valores das médias para os quatro períodos sazonais.

4.3.3.2 O Método Ward aplicado na regionalização de sub-bacias hidrográficas

Nesta etapa foram definidas as regiões compostas por grupos homogêneos de sub-bacias hidrográficas, formados de acordo com valores das variáveis de qualidade da água e biofisiográficas medidos nas sub-bacias. O procedimento para a análise dos grupos homogêneos de sub-bacias seguiu os pressupostos do método hierárquico de Ward (WARD, 1963). O método de Ward é um método de agrupamento hierárquico aglomerativo, no qual o critério da soma dos quadrados é usado para decidir que indivíduos ou que clusters devem ser fundidos em cada estágio do procedimento (EVERITT, 2006). Este método baseia-se na “mudança de variação” entre os grupos e no interior dos grupos, formados em cada passo de agrupamento, sendo também denominado de “Mínima Variância” (MINGOTI, 2005).

O procedimento do método de Ward inicia-se com cada objeto como sendo um único grupo, e, a cada passo do processo de agrupamento, o algoritmo calcula o erro baseado na soma de quadrados dentro do cluster (*error sum of squares* - SSE), para determinar os próximos dois grupos que serão mesclados em cada etapa do algoritmo (FERREIRA e HITCHCOCK, 2009).

4.3.3.3 Determinação do número ideal de regiões de qualidade da água

O número ideal de regiões finais formadas durante o agrupamento foi definido com a aplicação do método do índice de silhueta (ROUSSEEUW, 1987; AMORIM et al., 2016). A silhueta foi calculada utilizando-se a distância euclidiana, avaliando-se os agrupamentos de dois a seis grupos. Esta etapa foi realizada em linguagem *Python* (ROSSUM; BOER, 1991), por meio do pacote *Scikit-learn*, o qual já fornece o algoritmo implementado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros biofisiográficos

5.1.1 Delimitação das sub-bacias hidrográficas

A delimitação de sub-bacias hidrográficas inseridas na Bacia PJ possibilitou a identificação de 44 sub-bacias hidrográficas – 3 de segunda ordem, 18 de terceira ordem, 22 de quarta ordem e 1 de quinta ordem – e 3 inter-bacias (Figura 5.1).

Há um predomínio de sub-bacias de quarta ordem maiores nas porções oeste, norte e nordeste da bacia PJ, onde o relevo apresenta formas mais suaves e menor densidade de drenagem, em comparação com as sub-bacias de quarta ordem localizadas nas porções sul e sudeste da Bacia PJ, quem tendem a apresentar áreas menores, associadas a maiores densidades de drenagem.

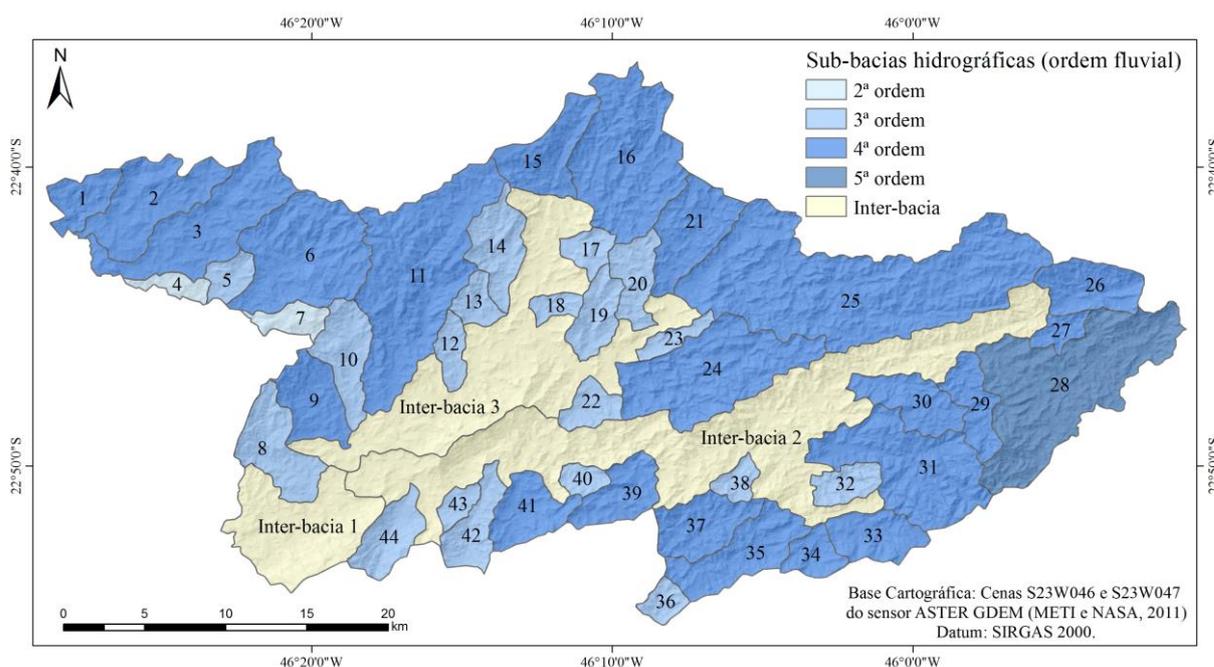


Figura 5.1 - Mapa de hierarquia fluvial das sub-bacias da Bacia PJ. Os números indicam o código de cada sub-bacia.

5.1.2 Clinometria do relevo

De modo geral, a Bacia PJ apresenta declives acentuados, principalmente à montante dos rios Jaguari e Camanducaia, expondo um conjunto de relevos com vertentes íngremes e apresentando superfície topográfica mais suave, à medida que atinge as áreas mais à jusante (Figura 5.2).

As áreas referentes às classes de relevo *plano* e *suave ondulado* ocupam juntas uma área de aproximadamente 137,23 km², correspondendo a pouco mais de 10% da área da Bacia PJ (Tabela 5.1), e representam, principalmente, as áreas de planícies aluviais (Figura 5.2). As classes de relevo *suavemente ondulado* e *moderadamente ondulado* perfazem 26,61% e referem-se as áreas de colinas, distribuídas próximas às planícies aluviais. Já as classes de relevo *fortemente ondulado* e *montanhoso e escarpado* englobam mais de 60% da área da bacia (Tabela 5.1), sendo que 48,58% é correspondente às áreas de relevo *fortemente ondulado*.

Tabela 5.1 - Classes de declividade segundo o método de classificação da EMBRAPA (2004).

Classe de declividade (%)	Área (km ²)	Área (%)
< 3	59,32	5,13
3 ÷ 8	77,91	6,74
8 ÷ 13	111,22	9,62
13 ÷ 20	196,57	16,99
20 ÷ 45	561,89	48,58
> 45	149,82	12,95
TOTAL	1156,73	100,0

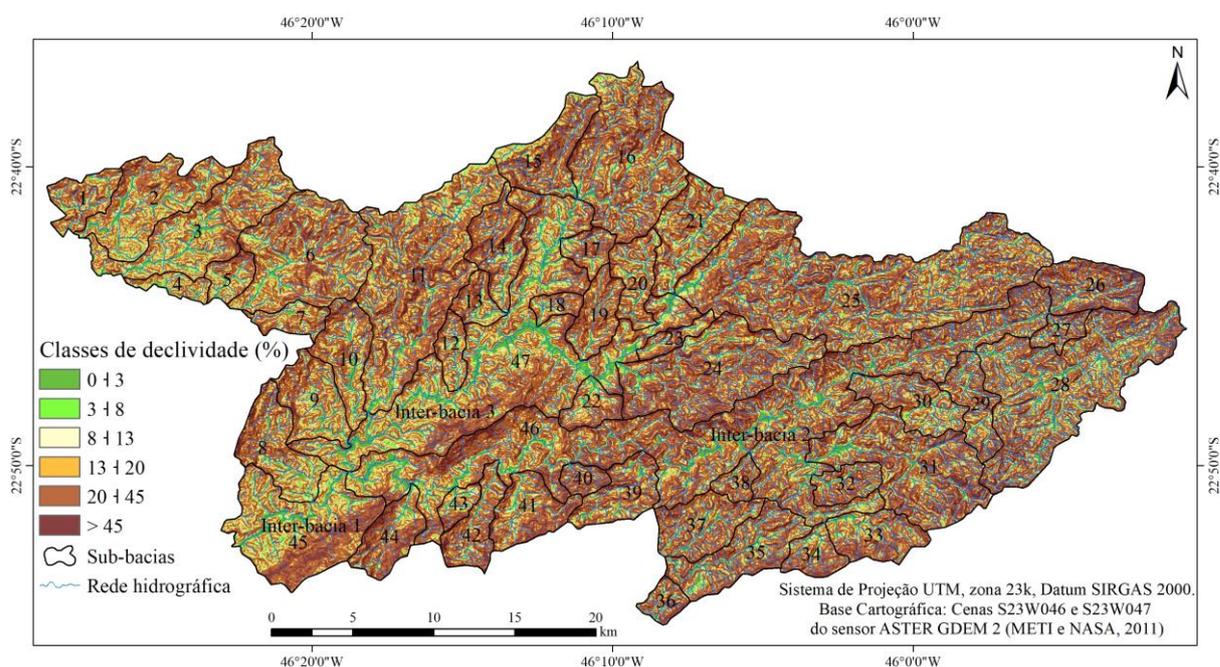


Figura 5.2. Mapa clinométrico do relevo da Bacia PJ, e suas respectivas sub-bacias hidrográficas.

Na Tabela 5.2 é apresentada a proporção de área ocupada pelas classes de declividade nas quarenta e quatro sub-bacias hidrográficas identificadas e nas inter-bacias.

Tabela 5.2 - Proporção em área das sub-bacias ocupada por classe de declividade do relevo.

BACIA	Classes de declividade (%)					
	< 3	3 ÷ 8	8 ÷ 13	13 ÷ 20	20 ÷ 45	> 45
1	3,36	6,90	11,56	20,99	50,24	6,95
2	6,09	9,07	12,83	21,45	45,98	4,58
3	6,26	8,75	12,58	21,41	45,35	5,65
4	7,58	11,99	15,71	24,87	38,86	1,00
5	5,85	8,97	12,72	20,88	44,77	6,81
6	3,37	6,86	10,22	18,12	51,30	10,12
7	2,92	6,54	10,99	20,37	52,56	6,63
8	4,22	7,90	11,69	19,46	48,36	8,37
9	4,62	7,58	11,68	22,32	46,75	7,06
10	5,75	7,03	10,99	18,78	49,24	8,21
11	3,86	6,53	10,04	18,48	50,79	10,30
12	4,15	8,07	12,73	23,69	45,84	5,52
13	4,68	8,20	10,38	17,03	47,82	11,88
14	2,69	5,80	8,17	15,29	53,41	14,65
15	2,47	6,07	8,60	15,85	51,46	15,55
16	3,34	5,97	8,72	16,29	51,12	14,56
17	3,40	6,12	8,69	15,41	49,81	16,57
18	4,23	7,73	10,21	18,14	50,63	9,06
19	2,80	4,29	7,75	16,09	56,93	12,15
20	4,42	6,56	10,77	18,70	51,60	7,94
21	5,09	8,21	11,06	17,30	47,19	11,16
22	5,89	7,23	11,05	19,35	45,87	10,61
23	3,38	6,75	9,78	17,53	46,91	15,65
24	3,51	5,35	7,81	13,96	50,04	19,32
25	3,85	5,87	8,84	15,67	50,31	15,46
26	2,34	3,31	5,58	11,77	51,34	25,65
27	2,58	5,48	8,18	15,95	50,99	16,82
28	5,24	6,77	9,07	16,23	50,11	12,59
29	3,38	6,61	9,87	16,19	49,31	14,65
30	4,55	7,80	11,11	17,97	47,98	10,59
31	3,80	5,10	7,36	13,30	50,02	20,41
32	4,05	5,38	7,30	13,10	53,04	17,12
33	4,28	6,11	8,72	16,46	49,63	14,80
34	4,25	6,29	8,65	14,40	50,37	16,04
35	5,53	6,76	8,81	14,96	48,06	15,88
36	3,69	4,81	8,34	14,12	51,68	17,37
37	4,77	4,96	7,24	14,70	54,98	13,35
38	2,67	5,72	8,07	15,56	49,85	18,12
39	4,05	6,13	8,14	15,40	48,73	17,56
40	1,07	2,01	4,60	11,33	54,74	26,25
41	2,36	4,80	8,11	15,84	49,64	19,26
42	2,77	4,06	6,97	15,81	54,94	15,46
43	4,90	10,16	14,03	22,07	38,50	10,34
44	3,02	4,49	6,37	11,93	52,45	21,74
Inter-bacia 1	7,43	8,22	11,43	18,89	42,31	11,73
Inter-bacia 2	6,90	6,04	8,35	15,35	48,45	14,92
Inter-bacia 3	10,86	9,43	12,19	19,19	40,68	7,65

A Figura 5.3, por meio de cartograma para cada uma das classes clinométricas, apresenta os dados da Tabela 5.2 com os valores de proporção de área ocupada pelas classes de declividade agrupadas em intervalos, com o objetivo de mostrar, quantitativamente e qualitativamente (especialmente), a frequência/concentração de tais proporções nas unidades espaciais sub-bacias.

Os valores de proporção foram divididos em seis classes – o número de classes foi definido pelo método de Sturges –, e os intervalos de classes foram obtidos com o emprego da

técnica de classificação *Quebras naturais* ou *método de Jenks* (frequência ordenada). O mesmo procedimento foi aplicado às demais variáveis biofisiográficas.

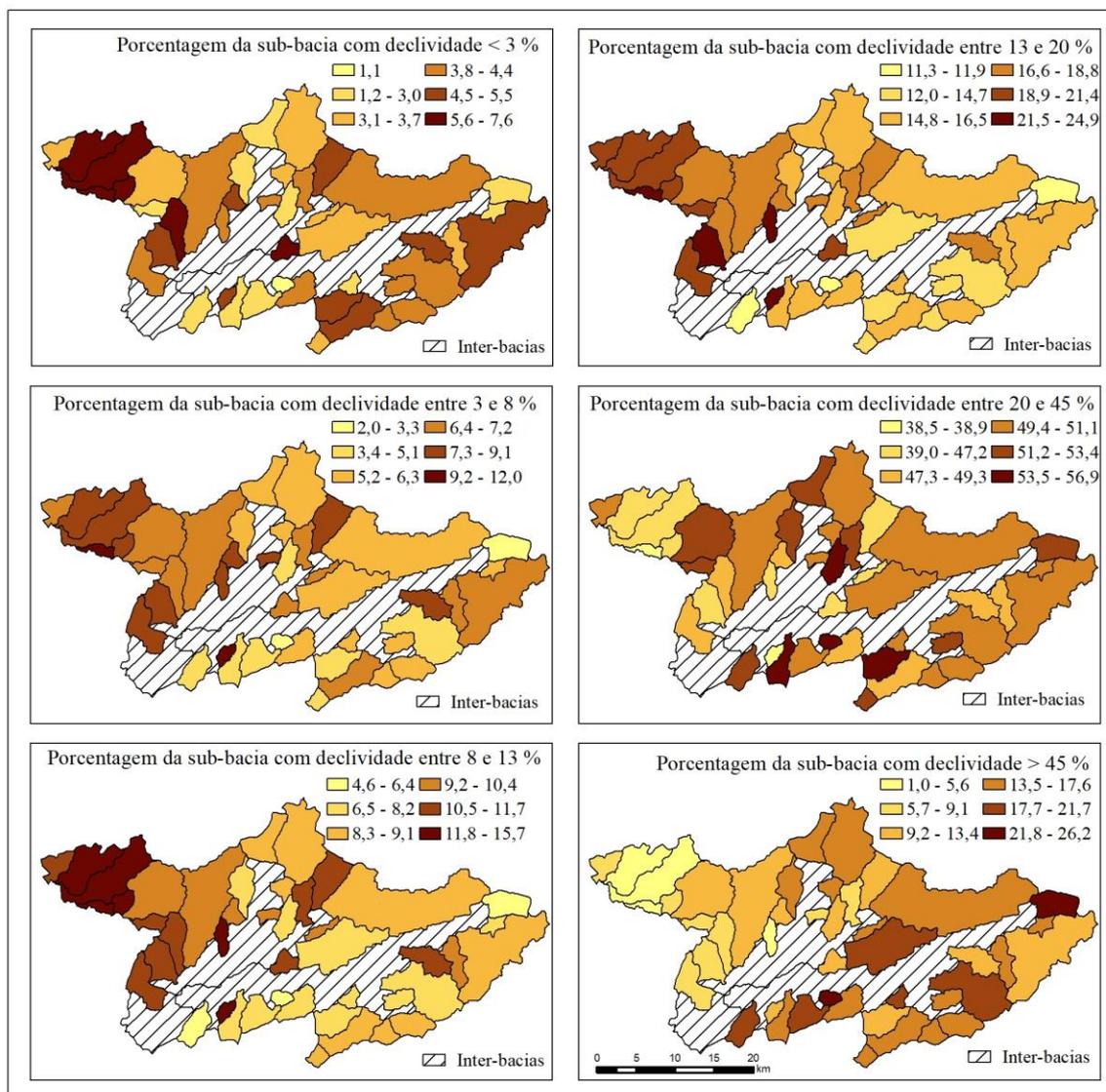


Figura 5.3 - Mapas do percentual em área ocupada por classe clinométrica em cada sub-bacia.

Conforme os cartogramas apresentados na Figura 5.3, as sub-bacias localizadas na porção sudeste da Bacia PJ apresentam relevo com declividades superiores à 20% entre 60 a 80% de suas áreas. Nas sub-bacias da porção oeste as áreas com relevo que apresentam declividade superiores à 20% correspondem à 39 a 60%.

5.1.3 Forma do terreno

Os mapas de curvatura vertical e horizontal do terreno na Bacia PJ e em suas respectivas sub-bacias são apresentados nas Figuras 5.4 e 5.5, respectivamente.

De modo geral, aproximadamente 51,92% do terreno da Bacia PJ apresentam curvatura vertical côncava (Figura 5.4 e Tabela 5.3). Estas áreas estão relacionadas principalmente aos fundos de vale, que apresentam máximo acúmulo do escoamento. Essa elevada proporção de relevos convergente-côncavo deve-se ao alto grau de falhamentos estruturais da Bacia PJ - condicionados pela litologia cristalina -, que lhe confere uma elevada densidade de drenagem, com forte controle estrutural.

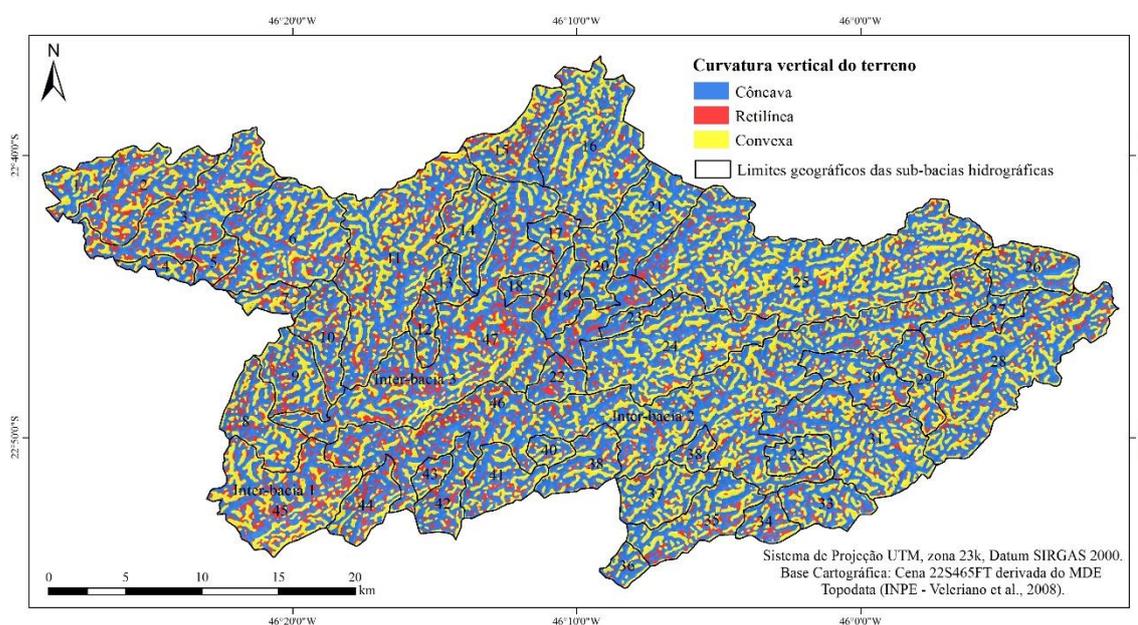


Figura 5.4 - Mapa de curvatura vertical do terreno na Bacia PJ.

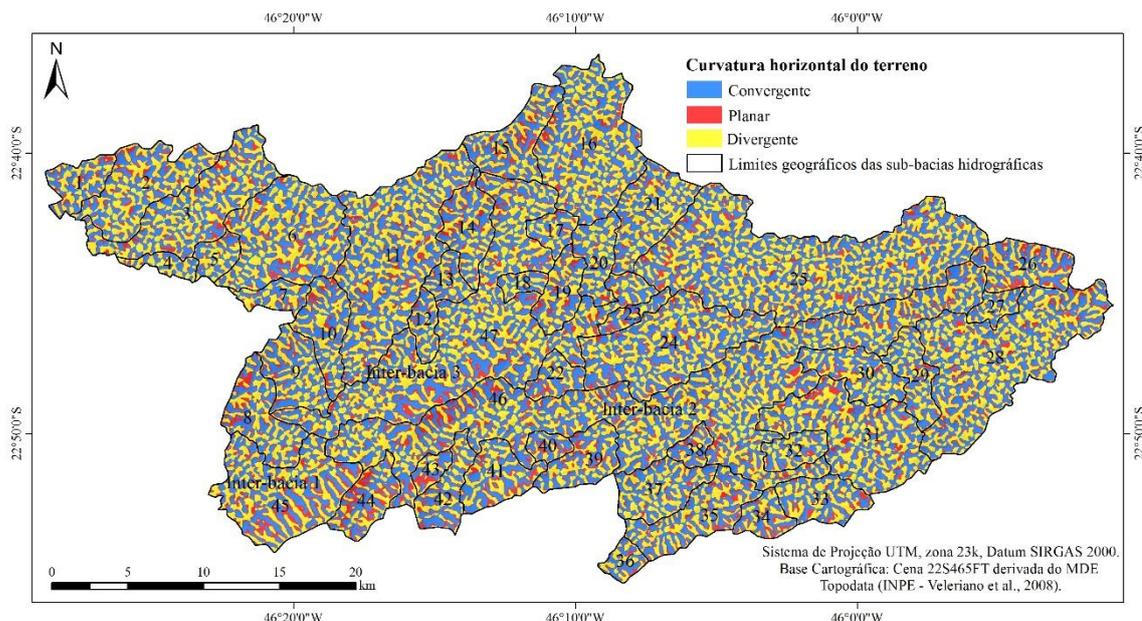


Figura 5.5 - Mapa de curvatura horizontal do terreno na Bacia PJ.

Os terrenos com curvatura horizontal convergente ocupam, aproximadamente 88% da área da Bacia PJ. Associadas, as formas convergente-côncava apresentam máxima concentração e acúmulo do escoamento.

Os terrenos com curvatura vertical convexa - relacionados principalmente aos interflúvios - representam, aproximadamente, 36,43% da área da bacia (Figura 5.4 e Tabela 5.3), que associadas com a curvatura horizontal divergente (Figura 5.5), que ocupam 42,92 % da área da Bacia PJ, correspondem à máxima dispersão do escoamento.

Tabela 5.3 - Área das classes de forma do terreno por km² e por proporções percentuais da área total da Bacia PJ.

Forma do terreno					
Curvatura vertical	Área (km ²)	Área (%)	Curvatura horizontal	Área (km ²)	Área (%)
Côncava	601,12	51,92	Convergente	461,65	39,88
Convexa	421,66	36,43	Divergente	497,08	42,94
Retilínea	134,76	11,64	Planar	198,81	17,17

Na Tabela 5.4 é apresentada a proporção de área ocupada pelas classes de Forma do Terreno, vertical e horizontal, nas quarenta e quatro sub-bacias hidrográficas identificadas e nas inter-bacias.

Tabela 5.4 - Proporção de área das sub-bacias ocupada por classe de forma do terreno.

BACIA	Forma Vertical			Forma Horizontal		
	Côncava	Convexa	Retilínea	Convergente	Divergente	Planar
1	47,21	40,7	12,1	39,17	43,37	17,47
2	46,7	35,12	18,17	38,02	45,24	16,73
3	49,96	36,15	13,87	38,98	43,86	17,14
4	50,9	38,43	10,68	37,59	50,6	11,82
5	51,88	34,44	13,68	38,43	46,92	14,65
6	51,97	36,3	11,73	39,36	43,82	16,82
7	44,91	39,62	15,45	37,47	45,85	16,66
8	46,12	38,91	14,97	39,58	40,92	19,5
9	47,71	37,39	14,9	42,46	41,83	15,71
10	50,78	34,69	14,55	42,33	39,88	17,81
11	50,12	37,33	12,55	40,45	43,03	16,52
12	50,8	35,88	13,33	42,11	42,27	15,63
13	53,42	37,27	9,32	42,3	42,36	15,35
14	51,42	38,96	9,61	39,81	41,05	19,13
15	45,43	39,65	14,91	40,88	39,59	19,52
16	53,49	37,94	8,57	41,84	43,03	15,13
17	53,15	34,22	12,62	40,26	43,56	16,17
18	55,54	35,09	9,37	41,5	45,95	12,55
19	54,94	31,43	13,62	37	43,31	19,68
20	56,41	36,98	6,62	41,22	45,5	13,29
21	58,63	36,02	5,35	39,75	45,51	14,74
22	53,03	29,73	17,24	41,91	39,64	18,45
23	56,51	33,41	10,08	42,91	36,79	20,3
24	53,5	39,16	7,35	41,11	42,92	15,98
25	53,39	38,47	8,13	40,24	43,97	15,78
26	53,33	36,7	9,96	38,89	37,65	23,45
27	51,29	39,15	9,55	40,66	46,13	13,2
28	54,2	36,35	9,44	39,67	44,38	15,94
29	50,11	40,32	9,57	40,41	45,21	14,38
30	54,12	35,06	10,83	41,61	43,32	15,08
31	53,67	37,99	8,34	37,33	44,94	17,73
32	51,35	41,88	6,78	40,93	44,73	14,35
33	54,41	34,91	10,68	39,51	42,34	18,15
34	50,49	32,92	16,59	39,18	38,88	21,94
35	50,67	38,24	11,09	39,92	41,46	18,62
36	56,7	36,89	6,42	41,72	42,79	15,5
37	52,62	40,89	6,51	42,1	43,41	14,51
38	49,41	39,63	10,96	42,84	36,82	20,34
39	56,03	35,13	8,83	41,32	40,32	18,35
40	49,32	43,55	7,12	42,4	36,92	20,67
41	54,03	33,94	12,04	41,41	39,28	19,32
42	54,78	31,63	13,59	42,33	40,09	17,58
43	48,74	34,25	17,01	37,59	38,48	23,93
44	50,1	31,04	18,86	35,4	35,49	29,11
Inter-bacia 1	44,9	35,87	19,21	38	41,28	20,7
Inter-bacia 2	52,27	35,9	11,83	39,6	43,07	17,33
Inter-bacia 3	52,59	32,07	15,34	39,19	43,55	17,26

A Figura 5.6 apresenta os dados da Tabela 5.4 com os valores de proporção de área ocupada pelas classes de curvatura do terreno em intervalos, com o objetivo de mostrar, quantitativamente e qualitativamente (especialmente), a frequência e concentração de tais proporções nas unidades espaciais sub-bacias.

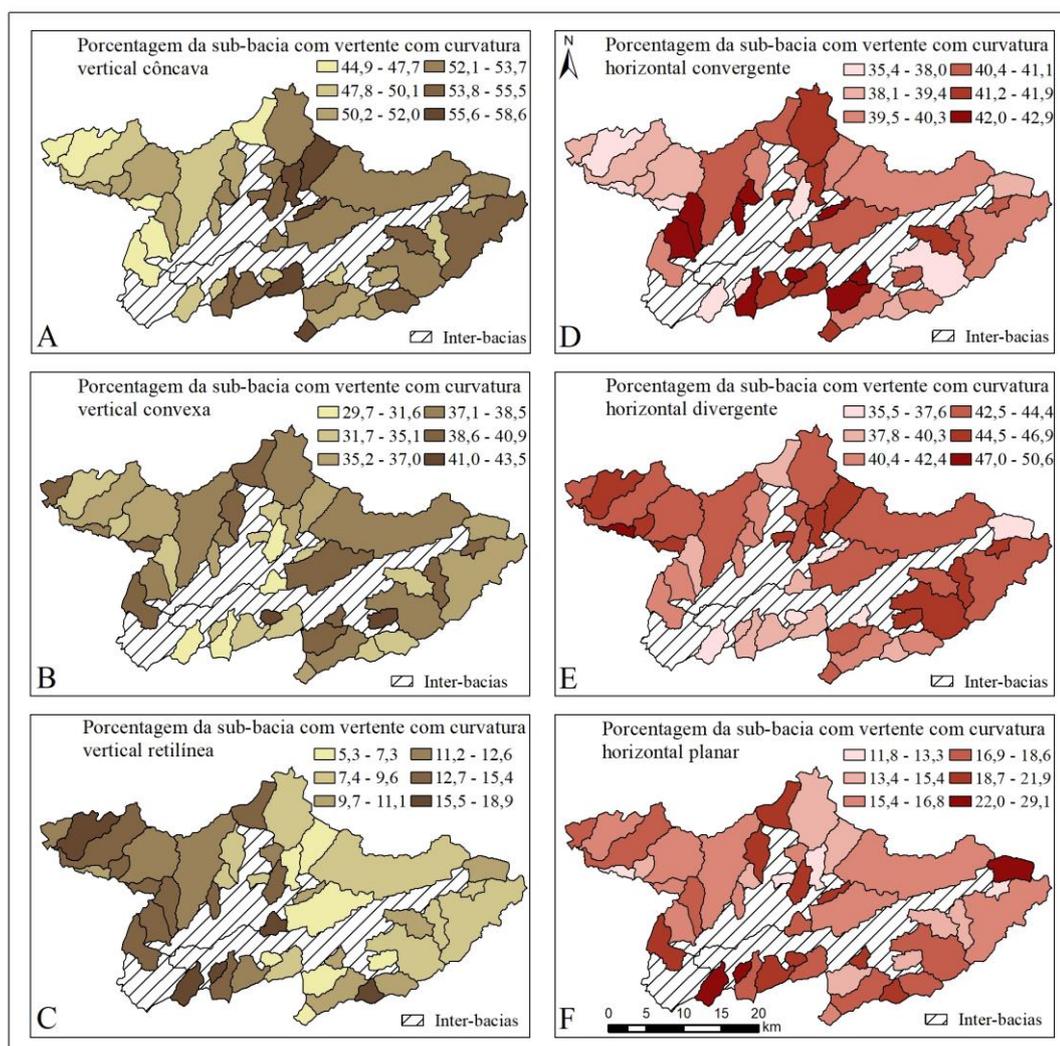


Figura 5.6 - Mapas do percentual em área ocupada por classe de forma do terreno.

De acordo com os mapas da Figura 5.6, observa-se que as sub-bacias das porções central, sudeste e nordeste possuem relevo com curvatura vertical côncava em mais de 50% de suas áreas. Nas sub-bacias da porção oeste este valor tende a ser um pouco menor, não ultrapassando 50% de suas áreas (Figura 5.6 A). As sub-bacias da porção oeste são as que apresentam maior proporção de áreas (entre 10 e 20%) correspondentes aos relevos com curvatura vertical retilínea (Figura 5.6 C). Com relação à proporção das áreas com curvatura vertical convexa, não foi observado um padrão entre as sub-bacias.

Os relevos com curvatura horizontal convergente ocorrem em maior proporção nas sub-bacias da porção central da Bacia PJ, ocupando entre 30 e 40% de suas áreas (Figura 5.6 D). Já as maiores proporções para os relevos com curvatura horizontal divergente foram observadas nas sub-bacias das porções oeste, norte-nordeste e leste-sudeste (Figura 5.6 F). Com relação à proporção das áreas com curvatura horizontal planar, não foi observado um padrão entre as sub-bacias.

5.1.4 Parâmetros morfométricos

A Tabela 5.5 apresenta os dados de caracterização básica das sub-bacias hidrográficas e dos canais de drenagem analisados, que serviram de base para o cálculo dos atributos morfométricos.

Tabela 5.5 - Dados básicos das bacias hidrográficas e dos canais de drenagem analisados.

Bacia	Ordem	A (km ²)	Alt. max. (m)	Alt. min. (m)	ΔH	Ntc
1	4	9,99	1355,00	943,00	412,00	31
2	2	27,49	1442,00	1015,00	427,00	64
3	4	37,97	1499,00	1033,00	466,00	117
4	2	4,84	1178,00	1045,00	133,00	11
5	3	6,37	1381,00	1055,00	326,00	18
6	4	42,37	1550,00	1058,00	492,00	117
7	2	6,72	1523,00	1063,00	460,00	13
8	3	18,88	1429,00	878,00	551,00	53
9	4	16,41	1445,00	872,00	573,00	31
10	3	15,91	1512,00	891,00	621,00	53
11	4	65,66	1531,00	885,00	646,00	205
12	3	6,36	1266,00	898,00	368,00	37
13	3	6,24	1274,00	927,00	347,00	17
14	3	15,27	1502,00	927,00	575,00	53
15	4	18,64	1564,00	944,00	620,00	69
16	4	48,13	1544,00	948,00	596,00	185
17	3	6,16	1315,00	940,00	375,00	23
18	3	4,09	1310,00	904,00	406,00	13
19	3	11,00	1337,00	908,00	429,00	27
20	3	11,54	1326,00	991,00	335,00	37
21	4	21,27	1301,00	985,00	316,00	59
22	3	7,36	1315,00	908,00	407,00	23
23	3	4,82	1421,00	921,00	500,00	11
24	4	45,11	1689,00	906,00	783,00	193
25	4	107,48	2009,00	989,00	1020,00	471
26	4	16,24	1980,00	1437,00	543,00	81
27	4	5,12	1753,00	1437,00	316,00	59
28	5	66,32	1977,00	1422,00	555,00	643
29	4	12,16	1885,00	1414,00	471,00	95
30	4	15,28	1741,00	1299,00	442,00	99
31	4	41,95	1932,00	1338,00	594,00	227
32	3	7,93	1672,00	1348,00	324,00	37
33	4	14,00	2006,00	1515,00	491,00	53
34	4	7,50	2014,00	1506,00	508,00	37
35	4	21,72	1782,00	1200,00	582,00	147
36	3	4,84	1524,00	1143,00	381,00	23
37	4	16,71	1589,00	1198,00	391,00	104
38	3	4,69	1592,00	1251,00	341,00	17
39	4	13,69	1601,00	1073,00	528,00	43
40	3	4,34	1481,00	951,00	530,00	17
41	4	14,78	1577,00	940,00	637,00	34
42	3	11,87	1450,00	937,00	513,00	43
43	3	4,19	1352,00	903,00	449,00	13
44	3	12,70	1574,00	879,00	695,00	21
45	Inter-bacia	40,80	1698,00	850,00	848,00	63
46	Inter-bacia	151	1820	868	952	626
47	Inter-bacia	104	1478	870	608	269

Onde: Lt = comprimento total de canais; A = área; ΔH = amplitude altimétrica; Alt.max. = altitude máxima; Alt. min. = altitude mínima; e Ntc = número total de canais.

Na Tabela 5.6 são apresentados os resultados que definem o padrão e forma e as características do relevo das sub-bacias.

Tabela 5.6 - Parâmetros morfométricos que definem a densidade de drenagem e as características do relevo nas sub-bacias analisadas.

Bacia	Dd	Dh	Cm	Eps	Tt	Ir
1	1,87	3,10	536,01	268,00	1,61	768,64
2	1,52	2,33	656,93	328,47	1,52	649,99
3	1,72	3,08	582,05	291,03	1,57	800,62
4	1,35	2,27	742,28	371,14	1,46	179,18
5	1,74	2,83	574,58	287,29	1,58	567,37
6	1,79	2,76	557,61	278,81	1,59	882,33
7	1,72	1,94	582,82	291,41	1,57	789,26
8	1,71	2,81	583,56	291,78	1,57	944,21
9	1,67	1,89	600,56	300,28	1,56	954,11
10	1,90	3,33	527,56	263,78	1,61	1177,11
11	1,89	3,12	530,19	265,10	1,61	1218,42
12	2,34	5,82	426,56	213,28	1,70	862,71
13	1,81	2,72	552,13	276,07	1,59	628,47
14	2,10	3,47	475,92	237,96	1,66	1208,19
15	2,13	3,70	469,25	234,63	1,66	1321,25
16	2,14	3,84	466,88	233,44	1,67	1276,56
17	2,13	3,74	468,75	234,37	1,66	800,00
18	2,14	3,18	466,41	233,21	1,67	870,47
19	1,75	2,45	569,99	285,00	1,58	752,64
20	1,86	3,21	537,97	268,99	1,60	622,71
21	1,83	2,77	546,56	273,28	1,60	578,16
22	1,92	3,12	521,35	260,67	1,62	780,67
23	1,82	2,28	550,27	275,13	1,59	908,65
24	2,38	4,28	419,45	209,72	1,71	1866,74
25	2,38	4,38	420,18	210,09	1,71	2427,52
26	2,95	4,99	339,40	169,70	1,80	1599,90
27	3,44	11,51	290,56	145,28	1,87	1087,54
28	3,47	9,70	288,07	144,04	1,88	1926,59
29	3,08	7,81	324,56	162,28	1,82	1451,19
30	2,80	6,48	356,70	178,35	1,78	1239,12
31	2,62	5,41	382,34	191,17	1,75	1553,57
32	2,63	4,67	380,90	190,45	1,75	850,61
33	2,31	3,79	433,51	216,76	1,70	1132,61
34	2,53	4,93	395,52	197,76	1,74	1284,39
35	2,85	6,77	350,45	175,22	1,79	1660,74
36	2,71	4,75	369,03	184,52	1,77	1032,43
37	2,59	6,22	386,08	193,04	1,75	1012,75
38	2,07	3,63	483,11	241,55	1,65	705,85
39	1,99	3,14	503,73	251,87	1,63	1048,17
40	2,58	3,92	387,31	193,65	1,75	1368,43
41	1,73	2,30	578,50	289,25	1,57	1101,12
42	2,12	3,62	471,27	235,64	1,66	1088,55
43	2,09	3,10	478,95	239,48	1,65	937,46
44	1,51	1,65	663,10	331,55	1,51	1048,10
45	1,28	1,54	781,38	390,69	1,44	1085,26
46	2,32	4,15	431,86	215,93	1,70	2204,40
47	1,94	2,59	515,99	257,99	1,62	1178,32

Onde: Dd = densidade de drenagem; Dh = densidade hidrográfica; Cm = coeficiente de manutenção; Eps. = extensão do percurso superficial; Tt = textura topográfica; e Ir = índice de rugosidade.

A Figura 5.7 apresenta os dados da Tabela 5.6, com os valores dos parâmetros morfométricos agrupados em intervalos, com o objetivo de mostrar os padrões morfométricos das sub-bacias inseridas na Bacia PJ.

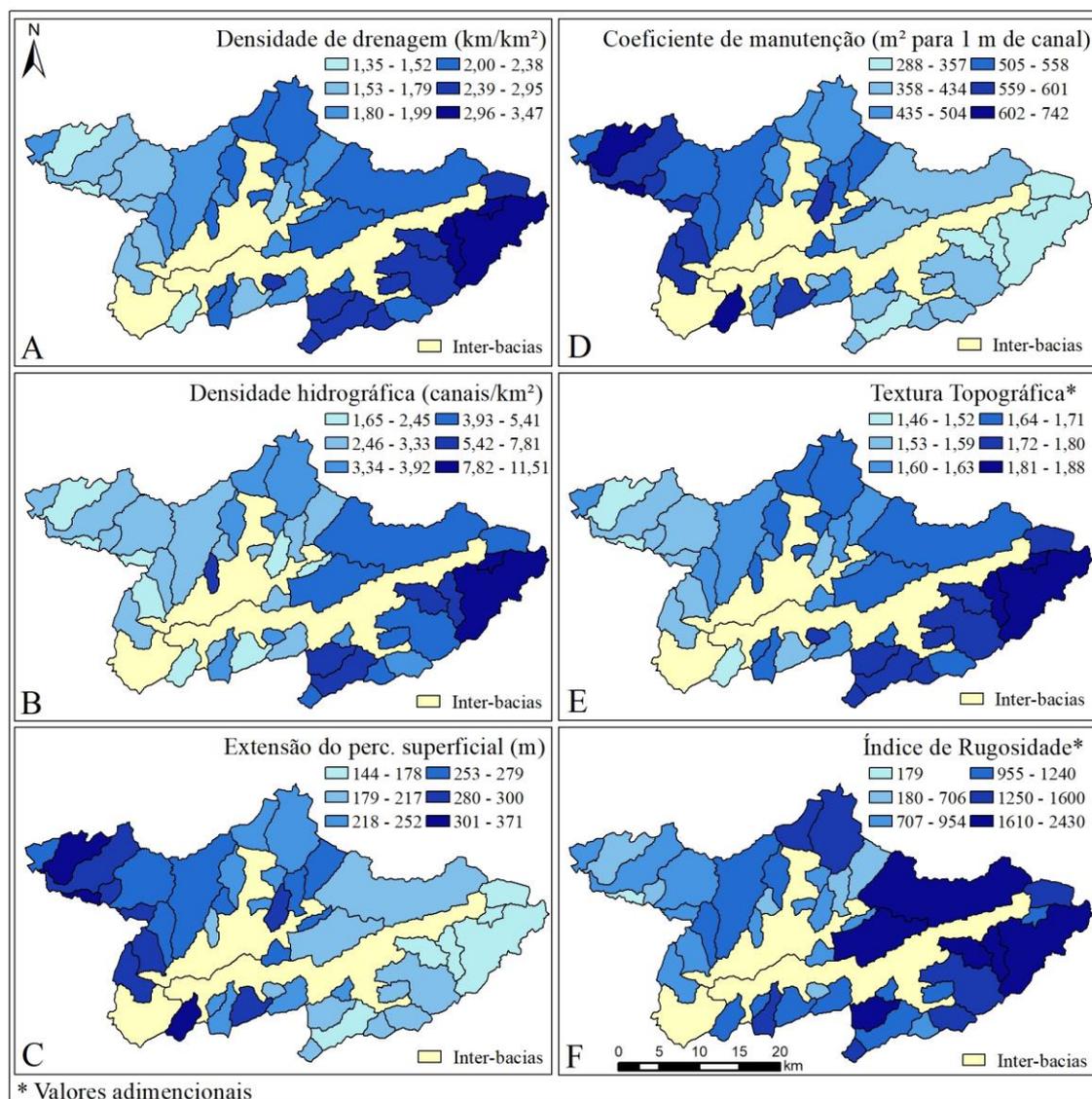


Figura 5.7 - Mapas de parâmetros morfométricos calculados para as sub-bacias.

O cartograma para cada um dos parâmetros morfométricos agrupados em intervalos evidencia os padrões morfométricos das sub-bacias inseridas na Bacia PJ (Figura 5.7). No contexto da Bacia PJ, observa-se que as sub-bacias da porção sudeste apresentam as maiores densidades de drenagem (Figura 5.7 A) e hidrográfica (Figura 5.7 B), os maiores valores de Textura topográfica (Figura 5.7 F) e Índice de Rugosidade (Figura 5.7 G) e os menores valores de Coeficiente de manutenção (Figura 5.7 C) e Extensão do percurso superficial (Figura 5.7 D). Este padrão morfométrico é corroborado com o mapa de declividade, uma vez que a declividade das vertentes das sub-bacias da porção sudeste tende a ser superior a 20%, peculiar de áreas com relevo fortemente inclinado a montanhoso.

As sub-bacias da porção oeste da Bacia PJ apresentam padrões morfométricos opostos aos das sub-bacias da porção sudeste, exibindo, de modo geral, as menores densidades de

drenagem (Figura 5.7 A) e hidrográfica (Figura 5.7 B), os menores valores de Textura Topográfica (Figura 5.7 F) e Índice de rugosidade (Figura 5.7 G) e os maiores valores para Coeficiente de manutenção (Figura 5.7 C) e Extensão do percurso superficial (Figura 5.7 D). Tais características são típicas de áreas com relevo ondulado a colinoso, com predomínio de vertentes extensas e de média declividade (menor que 20%).

Já as sub-bacias da porção central da Bacia PJ tendem a apresentar padrão morfométrico intermediário aos observados nas sub-bacias das porções sudeste e oeste, prevalecendo valores próximos aos valores médios para todas sub-bacias (Figura 5.7), evidenciando áreas de transição de relevos colinosos para relevos fortemente inclinados.

5.1.5 Uso da terra e cobertura vegetal da Bacia PJ

Em geral, os perfis espectrais das 15 classes de uso da terra e cobertura vegetal apresentados na Figura 5.8 corroboram aqueles reportados em Galvão et al. (2009), Liesenberg et al. (2010) e Ponzoni et al. (2012).

A Figura 5.8 mostra que as áreas cobertas por remanescentes florestais, exceto áreas cobertas por capoeira, apresentam perfis espectrais semelhantes, principalmente na banda dois (i.e. azul, 482.5nm). As florestas ombrófila densa e mista apresentaram maior reflectância no comprimento de onda da banda 5 (i.e. infravermelho próximo, 865nm). A reflectância espectral nesta região do espectro eletromagnético para a vegetação, segundo Ponzoni et al. (2012) é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo foliar. Entretanto, a variação estrutural vertical e o regime de sombras intra-dosséis podem ser responsáveis pela separabilidade com as demais classes analisadas.

No caso da floresta estacional semidecídua, há perda parcial de folhas na estação seca (i.e. julho a setembro). Portanto, esta classe apresentou características espectrais de uma planta senescente no momento de aquisição da imagem. Tal fato é evidenciado pela elevada reflectância desta classe no comprimento da banda 6 (i.e. infravermelho médio; 1610nm), que caracteriza um menor percentual de umidade das folhas em relação às demais classes de vegetação (PONZONI et al., 2012).

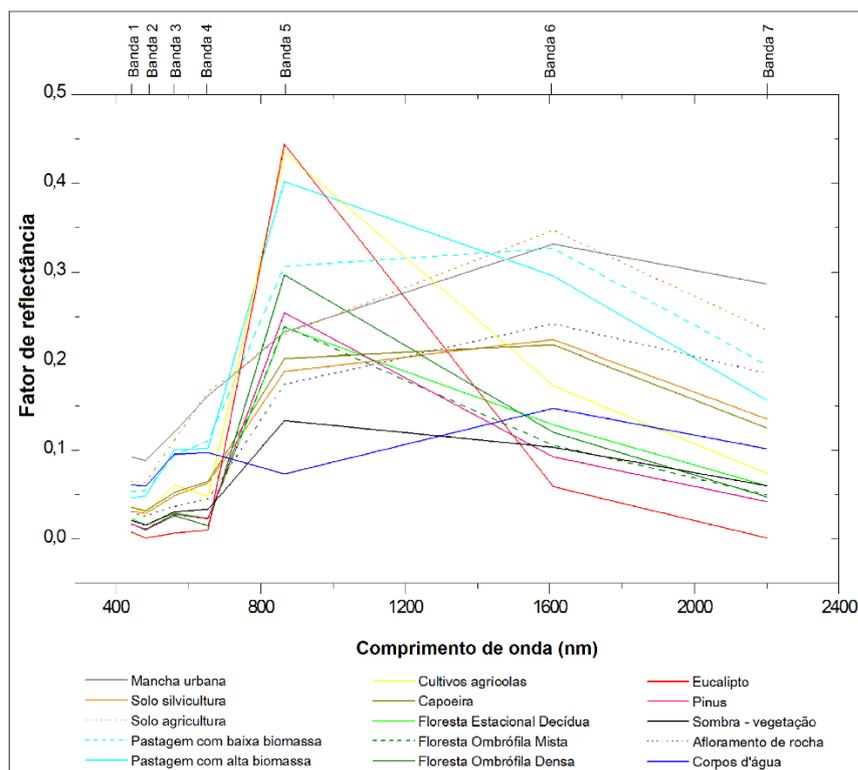


Figura 5.8 - Perfil espectral das classes de uso da terra identificadas na Bacia PJ.

Outras duas classes que apresentaram perfis espectrais semelhantes são a capoeira e o solo exposto destinado à silvicultura (Figura 5.8). A capoeira é uma vegetação secundária composta predominantemente por gramíneas e arbustos esparsos com exposição de folhas secas e solo. Já o solo destinado à silvicultura tende a apresentar resíduos e serapilheira (restos da colheita) sobre o solo, tendo assim um comportamento espectral semelhante ao da capoeira. A alta reflectância de superfície das classes de pastagem, cultivos agrícolas e eucalipto, no comprimento de onda da banda cinco, é típico de coberturas vegetais homogêneas.

Uma análise desses perfis espectrais, mostra que uma classificação pautada apenas nas características espectrais dos objetos tenderia a apresentar inconsistências entre classes com perfis espectrais semelhantes. Evidencia-se, portanto, a importância de também serem considerados os atributos referentes à forma e à textura dos objetos analisados. A partir da segmentação realizada, foram obtidos diferentes resultados nos mapas temáticos gerados, de acordo a aplicação de cada algoritmo utilizado na classificação (Figura 5.9).

As classificações pelos métodos SVM e K-NN apresentaram percentagens semelhantes das áreas ocupadas pelas classes de uso e cobertura selecionadas (Tabela 5.7). Com base nessas classificações, a Bacia PJ tem aproximadamente 50% de sua área coberta por remanescentes florestais, 25% por pastagens e 25% pelas demais classes.

Tabela 5.7 - Área das classes identificadas e suas proporções em porcentagem de acordo com os classificadores SVM e K-NN.

	km ²		%	
	SVM	KNN	SVM	KNN
Área urbana	65,94	71,65	5,7	6,19
Solo destinado à silvicultura	21,95	40,2	1,9	3,47
Solo destinado à agricultura	27,35	30,45	2,36	2,63
Pastagem com baixo teor de	244,7	204,48	21,14	17,66
Pastagem com alto teor de fitomassa	59,51	80,24	5,14	6,93
Cultivos agrícolas	41,46	34,32	3,58	2,97
Capoeira	43,78	46,71	3,78	4,04
Floresta ombrófila mista	55,17	44,19	4,77	3,82
Floresta estacional semidecídua	379,12	367,1	32,75	31,71
Floresta ombrófila densa	97,6	110,54	8,43	9,55
Eucalipto	41,92	35,57	3,62	3,07
Pinus	13,64	24,52	1,18	2,12
Afloramento de rocha	52,16	49,17	4,51	4,25
Sombra	12,04	13,82	1,04	1,19
Corpos d'água	1,2	4,59	0,1	0,4
TOTAL	1.157,55		100	

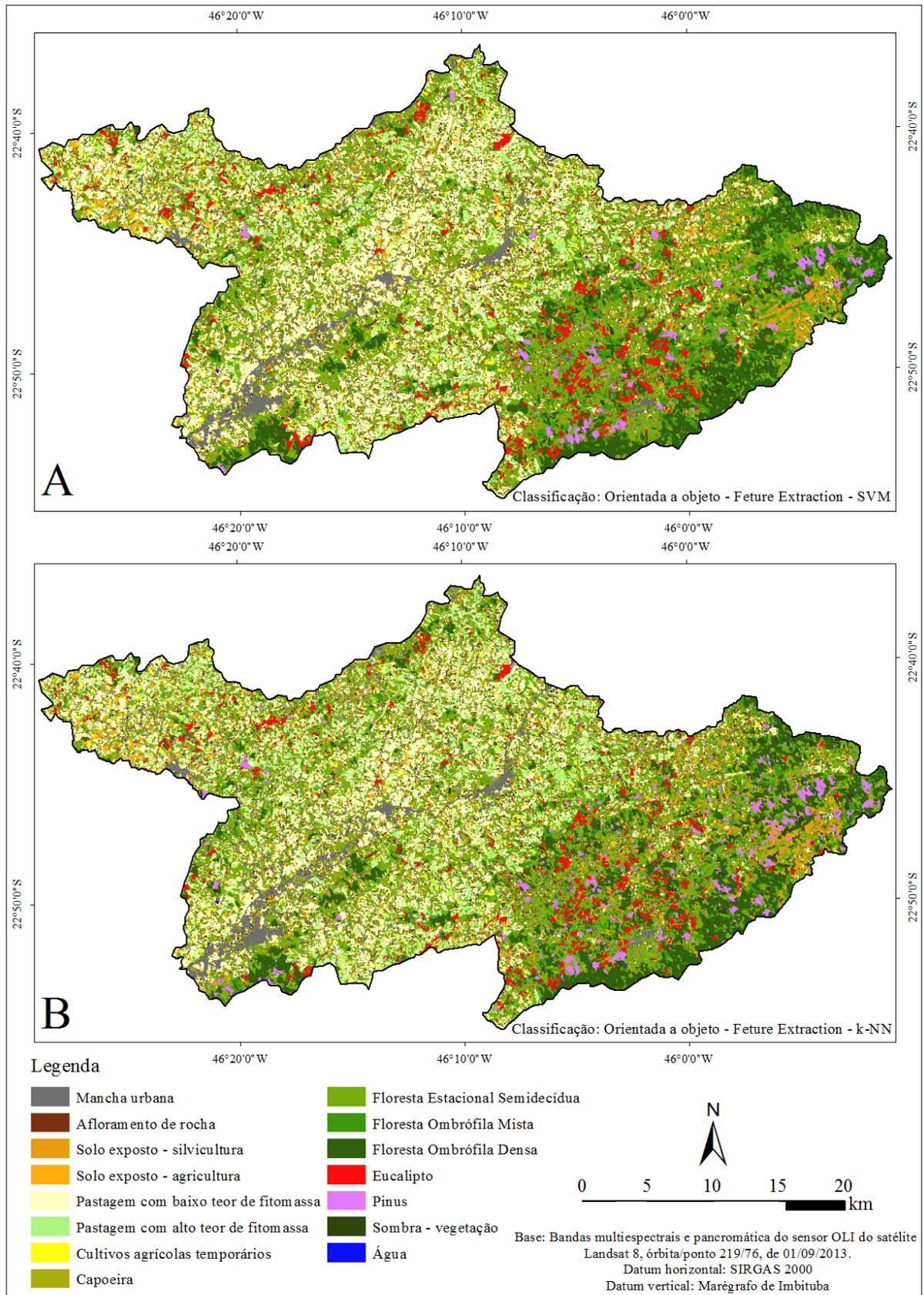


Figura 5.9 - Coleção de mapas de uso da terra e cobertura vegetal da Bacia PJ – MG, conforme os classificadores SVM (A) e K-NN (B).

Os classificadores SVN e K- NN obtiveram desempenho excelente ($Z=5,68$) segundo o teste Z (CONGALTON & GREEN, 1999). Contudo, os valores obtidos pelo teste Z evidenciam uma diferença sutil entre as classificações SVM/K- NN a 95% de probabilidade ($Z = 1,96$).

A validação dos resultados, pelo método de exatidão global, mostra que o classificador que apresentou melhor acurácia foi o SVM, com valor 0,93, enquanto o K- NN obteve o valor 0,88. Esses valores corroboram aqueles obtidos pelo índice Kappa, de 0,92, e 0,86, respectivamente.

O classificador SVM foi o que apresentou melhor desempenho, com acerto superior a 90% para 12 das 15 classes (Tabela 5.8 A), e obteve os melhores resultados para as classes pinus, sombra, cultivo agrícola, pastagem com alto teor de fitomassa e área urbana. As maiores inconsistências foram observadas para as classes de solo destinado à agricultura, eucalipto e solo destinado à silvicultura.

Assim como nas inconsistências de classificação observadas para o método K- NN, as inconsistências do classificador SVM também estão relacionadas à similaridade espectral e textural dos objetos, de modo que solos destinados à silvicultura foram classificados como capoeira (25,7%). Eucalipto foi classificado como Floresta Ombrófila Mista (20,4%) e solo destinado à agricultura foi classificado como Floresta Estacional Semidecídua (23%).

O alto desempenho do SVM, com baixo erro de classificação na separabilidade de coberturas florestais distintas, se deve à robustez e capacidade de formar planos n- dimensionais deste método. As melhores qualidades em classificação, obtidas pelo método K- NN, foram encontradas nas seguintes classes: área urbana, pastagens, cultivos agrícolas, capoeira, eucalipto, água, Floresta Ombrófila Mista, sombra, pinus e solo destinado à agricultura, com acertos próximos ou superiores a 80% (Tabela 5.8 B). Entre estas classes, observou-se maior erro de classificação entre áreas de pastagem com alto teor de fitomassa classificadas como aquelas de baixo teor de fitomassa (11,3%) e cultivos agrícolas (8,1%), assim como áreas de eucalipto classificadas como pinus (9,8%). Tais inconsistências podem estar associadas ao comportamento espectral semelhante dessas classes, que tendem a influenciar até mesmo uma classificação orientada a objetos.

Classes como solo destinado à silvicultura e Floresta Estacional Semidecídua apresentaram os menores acertos pelo classificador K- NN, com valores de 60,6 e 54,9%, respectivamente (Tabela 5.8 B). Na região do visível (0,433 — 0,68 μm), a classe Floresta Estacional Semidecídua apresentou comportamento espectral muito semelhante ao das classes pinus, sombra, Floresta Ombrófila Densa e capoeira, porém distinto na região do

infravermelho (0,845—2,3 μm). Assim, o maior número de bandas na região do visível pode ter influenciado as inconsistências de classificação da classe Floresta Estacional Semidecídua com as classes supracitadas. Vale ressaltar também a condição sazonal dessa cobertura vegetal quanto ao período do imageamento, no mês de setembro, quando há perda de grande parte das folhas e conseqüente alteração do comportamento espectral do dossel, o que torna a sua textura mais rugosa, similar à dos dosséis das classes que foram confundidas com Floresta Estacional Semidecídua. Neste caso, o uso de uma imagem em outra data poderia melhorar, de forma combinada ou isolada, eventualmente, a acurácia desta classe.

Tabela 5.8 - Matrizes de Erro dos classificadores SVM (A.) 3 K-NN (B.), para as diferentes classes de uso da terra e cobertura vegetal na Bacia PJ – MG. Os valores em linha representam a performance do classificador enquanto que as colunas a referência.

SVM	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
A	99,8			0,2												
B		72,3				25,7					2,0					
C			93,9			6,1										
D				98,2	1,8											
E				3,9	96,1											
F		5,8				94,2										
G							71,0	8,6		20,4						
H							2,5	94,3		0,6					2,5	
I									91,2	8,8						
J							5,5			94,5						
K											93,6		6,4			
L		4,3										92,5	3,2			
M													100			
N														100		
O							5,4			10,8	23,0				60,8	
Ac. Prod.(%)	100	91,3	100	91,5	98,7	61,3	83,5	94,9	100	66,2	87,4	100	82,9	100	91,8	
Ac. Us. (%)	99,8	72,3	93,9	98,2	96,1	94,2	71,0	94,3	91,2	94,5	93,6	92,5	100	100	60,8	
		Exatidão Global = 0,933					Índice kappa = 0,919									
A																
KNN	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
A	99,8			0,2												
B		60,6				20,2							19,2			
C		1,2	85,4	6,1		7,3										
D			11,3	79,0	8,1		1,6									
E				4,1	95,9											
F		22,0				78,0										
G							89,6					0,6		9,8		
H		5,3				2,6		75,4	12,3		2,6		1,8			
I									100							
J										82,2	6,7				11,1	
K						4,9					54,9	7,8	17,6	14,7		
L							9,4			5,9	5,9	71,3	3,0	4,5		
M													100			
N											5,3	4,3		90		
O															100	
Ac. Prod.(%)	100	75,0	90,9	83,1	93,3	57,5	88,0	100	80,0	75,5	70,9	91,7	70,2	65,4	100	
Ac. Us. (%)	99,8	60,6	85,4	79,0	95,9	78,0	89,6	75,4	100	82,2	54,9	71,3	100	90,4	100	
		Exatidão Global = 0,885					Índice kappa = 0,860									
B																

Onde: A=área urbana; B=solo silvicultura; C=pastagem com baixo teor de fitomassa; D=pastagem com alto teor de fitomassa; E=cultivos agrícolas; F=capoeira; G=eucalipto; H=afloramento de rocha; I=água; J=floresta ombrófila mista; K=floresta estacional semidecídua; L=floresta ombrófila densa; M=sombra em vegetação; N=pinus; e O=solo agricultura.

Uma análise mais qualitativa entre as diferenças apresentadas entre as classificações obtidas pelos métodos SVM e K- NN foi possibilitada pela espacialização das áreas em discordância entre os resultados gerados. Os pixels corretos (sejam no SVM e K- NN) são ilustrados na cor branca. Os pixels que apresentaram discordância estão representados na cor preta (Figura 5.10).

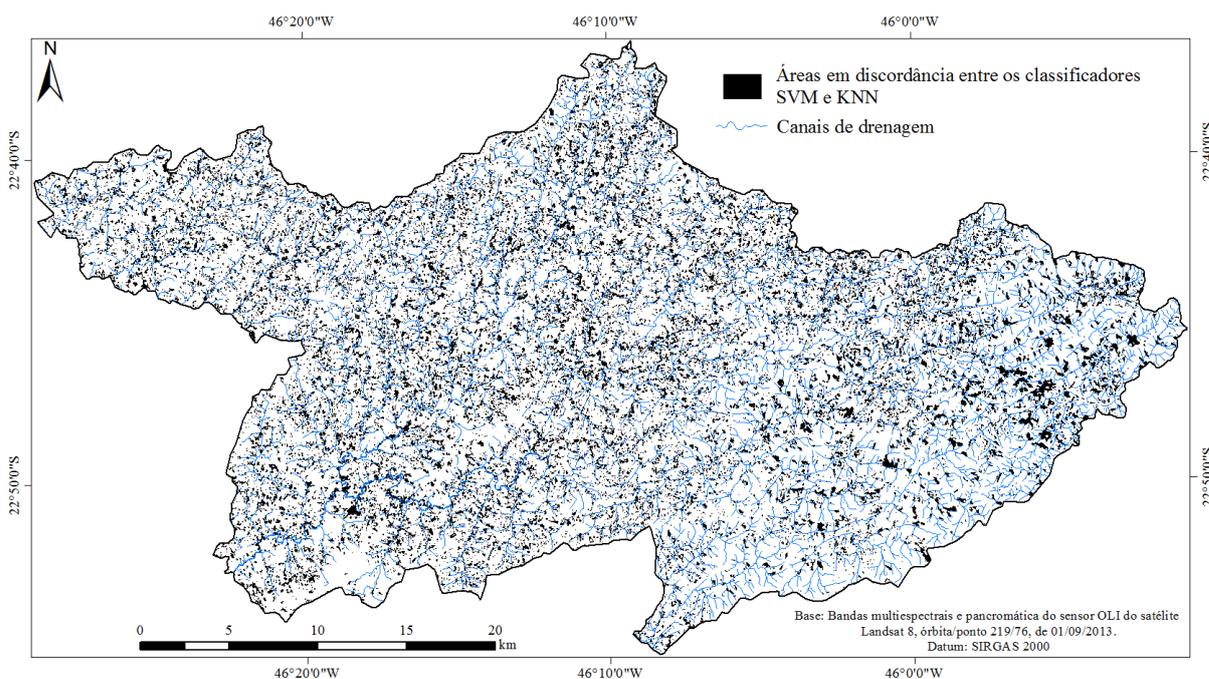


Figura 5.10 - Mapa de áreas em discordância entre as classificações SVM e K-NN.

Grandes manchas de discordância na porção sudeste da Bacia PJ, relacionadas a áreas de remanescentes florestais classificados diferentemente entre os classificadores SVM e K- NN foram observados (Figura 5.10). Uma análise desse mapa, em conjunto com as matrizes de erro desses classificadores, evidencia a superioridade do classificador SVM para separar diferentes coberturas florestais, principalmente entre áreas classificadas como pinus, pelo classificador SVM, e Floresta Ombrófila Mista, pelo classificador K- NN, uma vez que o SVM obteve 100% de acerto na classificação de pinus, e o K- NN obteve acerto de 82,2% na classificação da classe Floresta Ombrófila Mista quando, de acordo com as amostras de referência, 11,1% das áreas classificadas erroneamente nessa classe correspondem a pinus.

A maior concentração de áreas em discordância ocorreu na porção centro- oeste da Bacia PJ, no corredor de influência da Rodovia Fernão Dias. Nessa área, o uso da terra é mais fragmentado, em comparação à porção sudeste da bacia. Tal fato, associado à alta densidade de drenagem decorrente da rugosidade do relevo local (Figuras 2.2), acaba por criar muitas faixas de transição entre classes limítrofes à rede de drenagem. Talvez, uma correção da

topografia possa diminuir as diferenças observadas entre esses classificadores. Todavia, o trabalho carece de mais investigação a respeito das possíveis influências para tais discordâncias.

Embora a classificação orientada a objetos seja mais amplamente aplicada em imagens de alta resolução espacial (MALLINIS et al., 2008; TANSEY et al., 2009; ZHOU et al., 2009; MACHADO et al., 2014), os resultados obtidos no presente trabalho mostram a robustez do método também para imagens de média resolução espacial. Essa adequação também decorre da resolução radiométrica de 16 bits das imagens, da correção atmosférica realizada e da fusão entre bandas multiespectrais, de 30 m de resolução espacial, e a banda pancromática, de 15 m. Assim, além da informação de reflectância, foram obtidos detalhes de forma, textura e nitidez.

Os resultados evidenciam a potencialidade da classificação orientada a objetos, pelos métodos SVM e K-NN, como subsídio ao planejamento socioambiental de bacias hidrográficas, e podem amparar decisões de gestores públicos e privados. Mapas acurados de uso da terra e cobertura vegetal são importantes para uma correta gestão territorial, por representar resultados fidedignos à realidade da área em estudo. Diminuem, assim, as inconsistências relacionadas à estimativa de áreas das classes mapeadas, tais como remanescentes florestais, tornando mais confiável a análise de Áreas de Preservação Permanentes (APP), por exemplo (VALLE JÚNIOR et al., 2010).

Diante dos resultados obtidos, a análise da variável geoambiental referente ao uso da terra e cobertura vegetal da Bacia PJ tomará como base a classificação gerada pelo método SVM, que apresentou EG=0,93 e K=0,91, contra EG=0,88 e K=0,86 obtidos pelo método K-NN.

A Figura 5.11 apresenta de forma detalhada o mapa de uso da terra e cobertura vegetal da Bacia PJ obtido pelo classificador SVM, com sobreposição das sub-bacias hidrográficas. Na Tabela 5.9 estão representadas as proporções de área ocupada pelas classes de uso, em cada uma das sub-bacias.

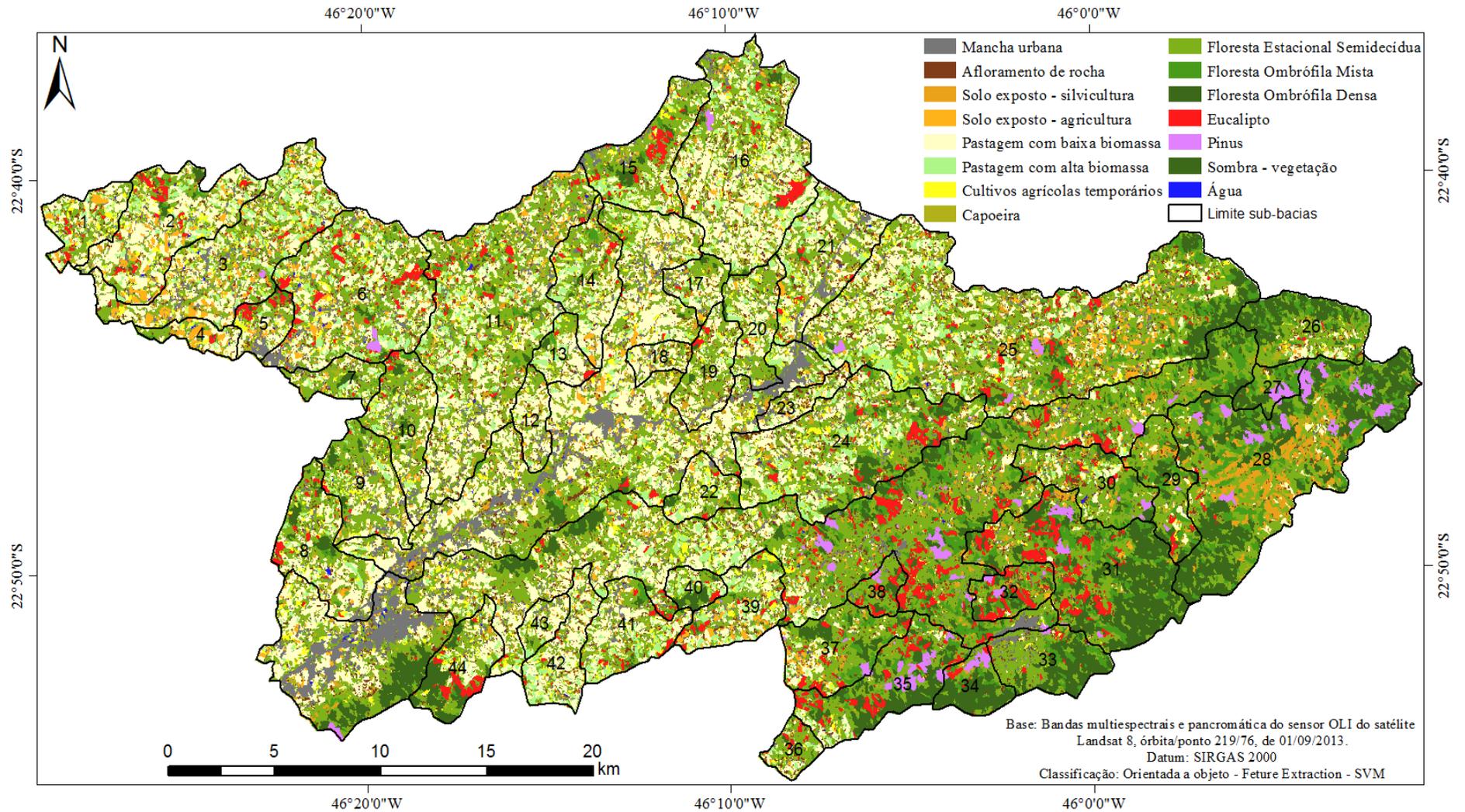


Figura 5.11 - Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG), e suas respectivas sub-bacias hidrográficas.

Tabela 5.9 - Proporção de área das sub-bacias ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal.

SUB-BACIA	CLASSES DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL														
	AURB	AFLO	SOAG	SOSI	PBTF	PATF	AGRI	EUCA	PINUS	CAPO	FESD	FOMM	FOMD	ÁGUA	SOMBRA
1	4,05	4,15	6,63	0,69	32,02	8,82	8,13	4,40	0,07	2,96	27,24	0,40	0,31	0,12	0,01
2	4,91	3,48	8,29	0,72	35,52	8,35	6,43	4,83	0,10	3,21	20,30	1,20	2,42	0,23	0,00
3	7,45	4,95	7,56	1,16	30,37	9,41	5,79	1,28	0,28	5,52	25,47	0,49	0,13	0,11	0,05
4	4,70	2,53	16,68	2,54	28,91	3,67	4,36	2,00	0,02	7,64	22,76	3,41	0,27	0,50	0,00
5	13,65	4,75	4,46	1,20	23,74	3,06	5,44	10,09	0,15	7,16	22,10	2,27	1,65	0,26	0,00
6	7,94	5,09	3,77	1,31	26,00	8,29	5,21	5,75	1,02	3,71	29,31	1,16	1,09	0,19	0,16
7	5,03	5,74	2,06	1,03	18,91	7,00	3,93	0,56	0,05	4,63	45,45	0,90	4,55	0,18	0,00
8	5,62	4,65	1,19	1,17	29,13	5,60	4,63	3,92	0,02	3,71	32,94	1,20	5,86	0,31	0,07
9	7,27	3,64	1,17	1,03	21,35	5,15	5,22	1,69	0,06	4,74	43,51	0,39	4,70	0,08	0,00
10	7,92	4,28	1,42	1,28	24,28	4,35	4,53	2,24	0,05	4,20	40,52	1,03	3,89	0,01	0,01
11	6,12	5,04	2,94	1,36	28,58	6,50	3,98	2,47	0,03	4,34	35,90	1,32	1,06	0,15	0,19
12	6,73	4,76	2,14	1,63	44,39	3,21	3,12	0,09	0,02	8,11	25,57	0,16	0,05	0,02	0,00
13	2,74	4,39	0,37	0,47	37,96	9,98	4,07	2,73	0,01	4,49	28,51	1,59	2,58	0,10	0,00
14	5,93	4,21	2,97	1,02	30,95	8,81	4,83	2,20	0,02	3,76	32,48	1,57	1,19	0,07	0,00
15	6,45	2,61	1,35	0,70	15,62	7,23	5,11	8,30	0,04	4,14	40,86	1,95	5,53	0,05	0,06
16	4,19	5,86	1,87	1,23	35,99	9,72	4,26	2,92	0,60	4,90	26,60	0,51	1,23	0,05	0,07
17	5,97	5,25	1,92	1,88	32,68	7,02	2,71	1,05	0,03	4,39	34,40	0,20	2,39	0,12	0,00
18	6,69	6,88	3,12	2,49	45,75	4,02	4,29	0,02	0,00	5,02	20,33	1,00	0,14	0,23	0,00
19	3,70	6,92	0,26	1,84	31,32	3,26	3,68	2,24	0,04	5,09	39,87	0,19	1,54	0,05	0,00
20	5,61	5,88	2,56	0,63	29,77	9,11	4,00	0,42	0,11	2,31	37,56	0,51	1,38	0,13	0,02
21	7,22	6,34	1,63	1,62	30,93	9,20	4,96	1,79	0,20	4,47	30,56	0,28	0,58	0,21	0,00
22	3,44	4,03	1,35	0,55	28,55	8,40	8,34	2,44	0,01	5,84	31,38	1,38	4,27	0,02	0,00
23	8,42	10,70	3,93	1,21	38,18	5,22	4,21	0,06	0,00	5,14	22,63	0,18	0,06	0,07	0,00
24	3,73	4,77	1,20	1,00	19,87	8,87	4,71	4,75	0,16	2,86	36,31	4,13	6,86	0,07	0,69
25	3,64	6,27	3,83	1,54	19,75	6,69	3,99	2,28	0,67	4,06	36,56	4,61	5,18	0,07	0,84
26	0,81	4,08	1,51	1,12	6,87	1,47	1,60	0,50	0,05	2,36	35,77	12,89	22,70	0,02	8,26
27	0,12	1,38	0,11	1,34	0,51	0,00	0,41	0,00	12,71	0,33	28,79	22,57	25,97	0,00	5,78
28	0,26	1,87	0,19	11,28	1,90	0,01	0,13	0,39	5,37	2,67	28,23	15,38	30,11	0,00	2,22
29	0,68	3,54	0,86	5,13	5,64	0,16	1,14	3,28	1,42	3,11	42,97	14,47	14,80	0,00	2,79
30	3,33	5,83	2,45	1,62	10,22	2,59	2,25	3,22	1,78	2,37	47,43	9,51	6,21	0,26	0,93
31	0,67	2,26	0,70	1,69	1,06	0,06	0,35	11,01	2,08	0,96	25,96	14,76	33,90	0,02	4,52
32	2,28	4,39	1,49	1,82	0,99	0,00	0,44	21,33	4,11	1,76	31,54	14,03	13,24	0,09	2,49
33	5,22	3,11	0,02	0,23	0,61	0,11	0,86	2,73	1,08	0,70	41,10	9,74	32,90	0,00	1,59
34	0,37	2,26	0,00	1,10	0,05	0,00	0,03	4,15	8,76	0,26	17,68	8,07	56,87	0,00	0,41
35	0,78	1,64	0,12	0,43	4,78	1,78	1,09	11,20	7,93	0,71	32,34	8,44	26,81	0,03	1,92
36	3,01	6,24	1,36	0,50	15,66	8,80	3,47	6,19	0,14	3,09	47,37	2,39	1,41	0,13	0,25
37	2,21	2,95	3,66	1,11	10,52	2,03	1,92	7,03	1,86	2,66	42,05	9,57	11,61	0,04	0,79
38	3,11	2,22	0,62	0,42	0,33	0,00	0,31	15,12	4,59	1,12	53,21	6,85	12,08	0,01	0,02
39	5,70	4,49	8,34	0,60	24,29	13,08	6,97	4,55	0,11	1,85	25,77	3,25	0,50	0,03	0,46
40	2,05	2,86	0,69	0,27	19,50	11,99	3,49	4,05	0,03	0,83	31,76	0,90	20,39	0,03	1,15
41	5,12	4,68	0,99	0,91	28,96	10,62	5,38	4,10	0,06	4,66	30,23	1,97	1,96	0,08	0,28
42	4,56	5,42	1,31	1,24	41,64	13,47	5,55	1,72	0,06	2,95	21,64	0,11	0,21	0,11	0,00
43	5,91	3,57	1,32	0,93	43,23	8,17	4,40	0,05	0,00	4,54	26,40	0,00	1,48	0,00	0,00
44	2,34	3,06	0,12	0,43	19,04	3,23	4,37	9,82	0,01	3,10	26,73	1,57	26,10	0,05	0,04
Inter-bacia 1	21,87	4,38	1,56	1,32	22,27	1,20	3,40	0,16	0,70	5,62	24,71	0,58	11,60	0,43	0,19
Inter-bacia 2	4,23	4,55	1,47	1,61	13,34	3,13	2,80	5,39	1,71	3,10	40,96	8,49	6,66	0,08	2,48
Inter-bacia 3	13,33	4,93	2,05	1,49	34,76	3,87	3,96	0,55	0,03	6,22	26,67	0,51	1,46	0,10	0,07

Onde: AURB = área urbana; SOAG = solo agricultura; SOSI = solo silvicultura; PBTF = pastagem com baixo teor de fitomassa; PATF = pastagem com alto teor de fitomassa; AGRI = agricultura; CAPO = capoeira; FESD = floresta estacional semidecídua; FOMM = floresta ombrófila mista; FOMD = floresta ombrófila densa; EUCA = eucalipto; PINUS = pinus; SOMB = sombra-vegetação; e ÁGUA = água.

Na Tabela 5.10 são apresentadas as proporções de área ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal, de forma agrupada. As classes Floresta Estacional Semidecídua, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa e Sombra-vegetação foram agrupadas em uma nova classe denominada Mata. As classes Pinus, Eucaliptos e Solo silvicultura foram agrupadas em uma nova classe denominada Silvicultura. As classes Uso Agrícola e Solo arado foram agrupados na classe Agricultura. As classes Pastagem com baixo teor de fitomassa e Pastagem com alto teor de fitomassa foram agrupadas na classe Pastagem. Já as classes Uso urbano, Afloramento de Rocha, Capoeira e Água não foram agrupadas.

Tabela 5.10 - Proporção de área das sub-bacias ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal, agrupadas.

SUB-BACIA	CLASSES DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL							
	AURB	AFLO	CAPO	ÁGUA	AGRI	PAST	SILV	MATA
1	4,05	4,15	2,96	0,12	14,75	40,84	5,17	27,96
2	4,91	3,48	3,21	0,23	14,73	43,86	5,66	23,92
3	7,45	4,95	5,52	0,11	13,34	39,77	2,72	26,14
4	4,70	2,53	7,64	0,50	21,04	32,58	4,57	26,44
5	13,65	4,75	7,16	0,26	9,91	26,81	11,44	26,02
6	7,94	5,09	3,71	0,19	8,98	34,29	8,08	31,72
7	5,03	5,74	4,63	0,18	5,99	25,90	1,64	50,89
8	5,62	4,65	3,71	0,31	5,82	34,73	5,11	40,06
9	7,27	3,64	4,74	0,08	6,39	26,50	2,78	48,60
10	7,92	4,28	4,20	0,01	5,95	28,63	3,58	45,44
11	6,12	5,04	4,34	0,15	6,92	35,08	3,87	38,47
12	6,73	4,76	8,11	0,02	5,26	47,60	1,75	25,77
13	2,74	4,39	4,49	0,10	4,44	47,94	3,22	32,68
14	5,93	4,21	3,76	0,07	7,80	39,77	3,24	35,23
15	6,45	2,61	4,14	0,05	6,46	22,85	9,04	48,40
16	4,19	5,86	4,90	0,05	6,13	45,71	4,75	28,41
17	5,97	5,25	4,39	0,12	4,62	39,70	2,96	36,98
18	6,69	6,88	5,02	0,23	7,41	49,77	2,51	21,47
19	3,70	6,92	5,09	0,05	3,94	34,58	4,12	41,60
20	5,61	5,88	2,31	0,13	6,55	38,88	1,17	39,47
21	7,22	6,34	4,47	0,21	6,60	40,13	3,62	31,42
22	3,44	4,03	5,84	0,02	9,69	36,95	2,99	37,03
23	8,42	10,70	5,14	0,07	8,14	43,40	1,27	22,86
24	3,73	4,77	2,86	0,07	5,92	28,74	5,91	47,99
25	3,64	6,27	4,06	0,07	7,81	26,44	4,49	47,20
26	0,81	4,08	2,36	0,02	3,11	8,33	1,67	79,62
27	0,12	1,38	0,33	0,00	0,51	0,51	14,05	83,10
28	0,26	1,87	2,67	0,00	0,32	1,91	17,04	75,93
29	0,68	3,54	3,11	0,00	2,00	5,80	9,84	75,03
30	3,33	5,83	2,37	0,26	4,70	12,80	6,62	64,08
31	0,67	2,26	0,96	0,02	1,04	1,12	14,78	79,15
32	2,28	4,39	1,76	0,09	1,94	0,99	27,26	61,30
33	5,22	3,11	0,70	0,00	0,88	0,72	4,05	85,32
34	0,37	2,26	0,26	0,00	0,03	0,05	14,01	83,02
35	0,78	1,64	0,71	0,03	1,21	6,56	19,56	69,52
36	3,01	6,24	3,09	0,13	4,83	24,45	6,83	51,42
37	2,21	2,95	2,66	0,04	5,57	12,54	10,00	64,02
38	3,11	2,22	1,12	0,01	0,94	0,33	20,12	72,15
39	5,70	4,49	1,85	0,03	15,31	37,37	5,26	29,98
40	2,05	2,86	0,83	0,03	4,18	31,49	4,35	54,20
41	5,12	4,68	4,66	0,08	6,36	39,58	5,06	34,45
42	4,56	5,42	2,95	0,11	6,85	55,11	3,03	21,96
43	5,91	3,57	4,54	0,00	5,72	51,40	0,98	27,88
44	2,34	3,06	3,10	0,05	4,49	22,27	10,25	54,45
Inter-bacia 1	21,87	4,38	5,62	0,43	4,96	23,47	2,17	37,09
Inter-bacia 2	4,23	4,55	3,10	0,08	4,26	16,47	8,71	58,59
Inter-bacia 3	13,33	4,93	6,22	0,10	6,01	38,63	2,06	28,70

A Figura 5.12 apresenta o mapa de uso da terra e cobertura vegetal com suas respectivas classes agrupadas conforme apresentado na Tabela 5.10.

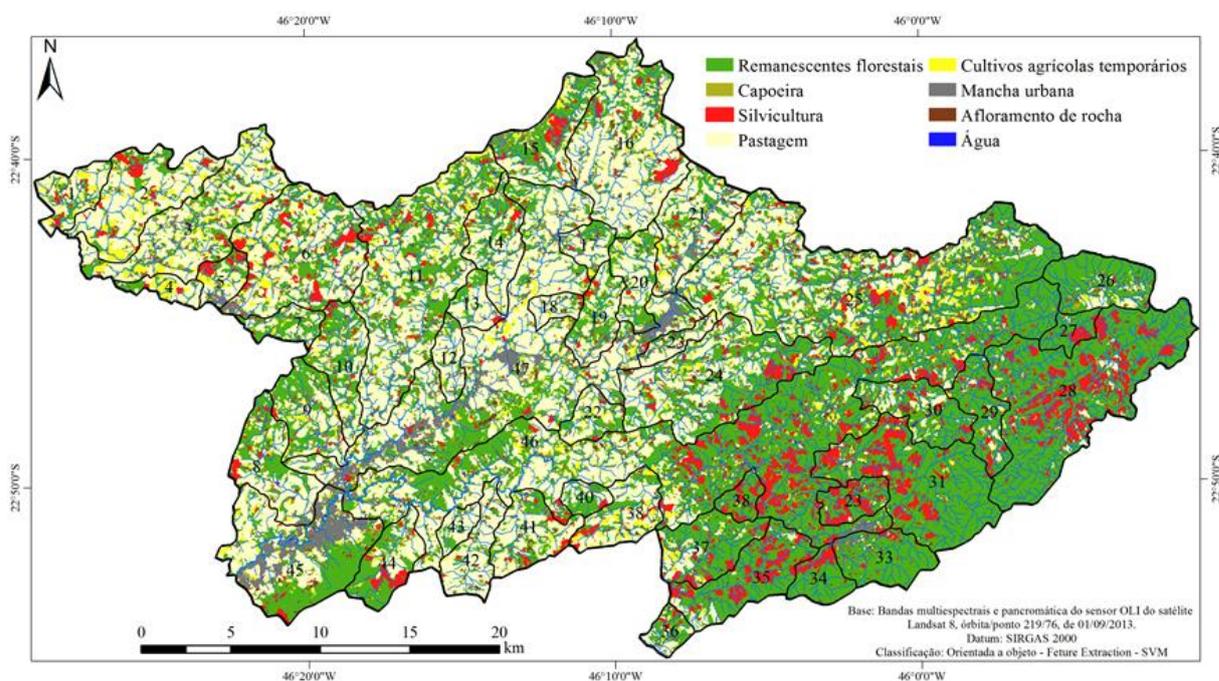


Figura 5.12 - Mapa síntese de uso da terra e cobertura vegetal da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG), e suas respectivas sub-bacias hidrográficas.

A Figura 5.13, por meio de cartograma para cada uma das classes de uso da terra e cobertura vegetal, apresenta os dados da Tabela 5.10 com os valores de proporção de área ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal agrupados em intervalos, com o objetivo de mostrar, quantitativamente e qualitativamente (especialmente), a frequência/concentração de tais proporções nas unidades espaciais sub-bacias.

Os valores de proporção foram divididos em seis classes – o número de classes foi definido pelo método de Sturges, e os intervalos de classes foram obtidos com o emprego da técnica de classificação *Quebras naturais*.

Os mapas de cada classe de uso da terra e cobertura vegetal mostram os padrões de uso nas sub-bacias inseridas na Bacia PJ (Figura 5.13). No contexto da Bacia PJ, observa-se que as sub-bacias situadas a oeste e no centro apresentam as maiores proporções de áreas ocupadas por uso urbano (Figura 5.13 A). Deve-se destacar que as áreas urbanas de Extrema, Itapeva e Camanducaia estão inseridas nas áreas de inter-bacias, e por isto, não estão apresentadas nos mapas, e sim, na Tabela 5.10.

A classe de uso agrícola apresenta padrão espacial semelhante ao da classe de uso urbano, pois as maiores proporções de suas áreas ocorrem nas porções oeste, central e

nordeste da Bacia PJ, correspondentes, principalmente, aos municípios de Toledo e Camanducaia (Figura 5.13 B).

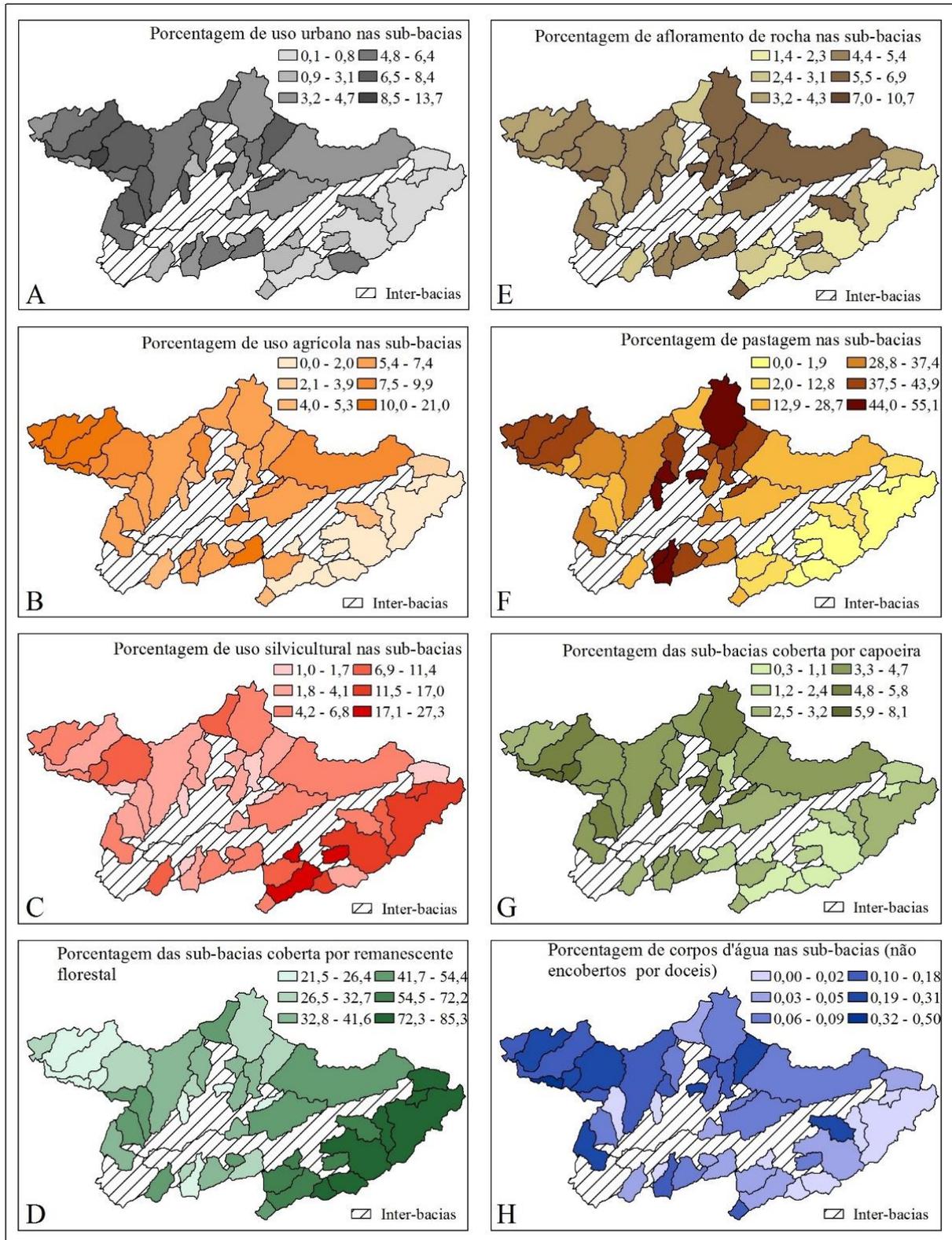


Figura 5.13 - Cartogramas de proporção de área (%) ocupada pelas classes de uso da terra e cobertura vegetal.

Nas sub-bacias das porções oeste, central e nordeste da Bacia PJ, as áreas agrícolas são representadas principalmente pelo cultivo de batata, feijão, milho, tomate, repolho e brócolis, de acordo com verificações em campo. Estas constatações são corroboradas pelas informações contidas na Tabela 2.4 da seção 2.3.1. As sub-bacias com maiores proporções de áreas com pastagem correspondem às localizadas na porção central da Bacia PJ, onde totalizam entre 44 e 55% da área total em algumas sub-bacias desta porção (Figura 5.13 F). Nas sub-bacias da porção oeste, as proporções das pastagens variam de 10 a 30% da área total, onde ocorrem intercaladas a cultivos agrícolas e fragmentos florestais. As capoeiras ocorrem principalmente nos fundos de vale, e representam tanto áreas em regeneração quanto remanescentes florestais em estado de degradação. Ocorrem em maior proporção (entre 4 e 8%) em sub-bacias das porções central e oeste da Bacia PJ (Figura 5.13 G).

A maior proporção de áreas ocupadas por silvicultura nas sub-bacias das porções sul e sudeste da Bacia PJ (Figura 5.13 C) se deve, em parte, ao fato da Companhia Melhoramentos possuir uma unidade instalada no município de Camanducaia, próxima ao distrito de Monte Verde. Esta unidade da companhia corresponde à Fazenda Levantina, a qual realiza o manejo de Pinus e de Eucalipto, para abastecer sua indústria de Fibras de Celulose.

As sub-bacias com maior proporção de áreas cobertas por remanescentes florestais são as da porção sudeste da Bacia PJ. Nestas sub-bacias, os remanescentes de Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista ocupam entre 50 e 85% das áreas (Figura 5.13 D). Nas sub-bacias localizadas nas porções central e oeste, as áreas de matas são representadas por fragmentos de Floresta Estacional Semidecídua, associadas à fundos de vale e áreas de relevo com altas declividades, abrangendo de 20 a 40% dos das sub-bacias (Figura 5.13 D).

Os corpos d'água são formados, principalmente, por reservatórios artificiais destinados à irrigação, dessedentação de animais, piscicultura e lazer (pesqueiros e lagos ornamentais). Ocorrem em maior proporção nas sub-bacias localizadas nas porções oeste e central da Bacia PJ (Figura 5.13 H), associadas às áreas agropastoris.

A Bacia PJ, em decorrência de suas características geológicas, apresenta inúmeros grandes afloramentos predominantemente de rochas granitóides, tais como: na Serra do Quebra-Canga (Toledo); Serra do Bugiu e Serra de Itapeva (Itapeva); Serra do Lopo, Serra do Forja, Morro do Lobo Guará, próxima ao bairro do Juncal (Extrema); nas serras de São Domingos, do Selado, dos Poncianos e Santa Bárbara (Camanducaia); e nas serras de Santa Bárbara e das Três Orelhas (Sapucai-Mirim).

Além dos afloramentos rochosos, há ainda áreas com exposição do regolito, formando campos de matações e blocos. As sub-bacias inseridas nas porções oeste, central e nordeste da

Bacia PJ são as que apresentaram maior proporção de áreas ocupadas por rochas expostas (entre 4 e 7%), em função do menor índice de vegetação nestas áreas, em relação à porção sudeste da Bacia PJ (Figura 5.13 E).

5.1.6 Densidade de vias de circulação

A Figura 5.14 apresenta o mapa de vias de circulação e densidade de vias por sub-bacia. A extensão do sistema viário na Bacia PJ é de aproximadamente 1.490 km, com uma densidade média de 1,3 km de vias por km². Os maiores adensamentos de vias ocorrem nas porções noroeste e oeste da Bacia PJ, que concentra áreas de produção agrícola. Neste caso, as vias servem de acesso às pequenas fazendas, sítios e bairros rurais, sendo, também, estradas carreadoras da produção agrícola.

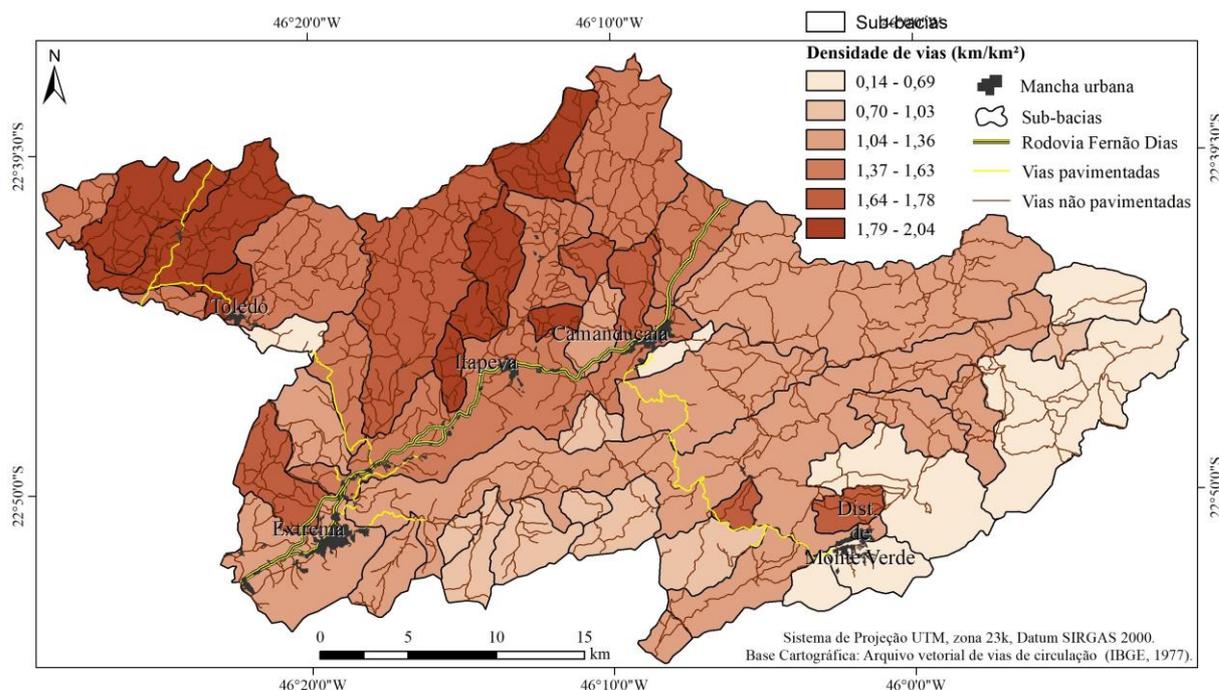


Figura 5.14 - Mapa de vias de circulação da alta bacia do rio Piracicaba-Jaguari (MG), e suas respectivas sub-bacias hidrográficas.

A porção centro-oeste da Bacia PJ apresenta de médio à alto adensamento de vias de circulação. Esta área concentra os núcleos urbanos dos municípios de Extrema, Itapeva e Camanducaia, nas margens da BR-381 (Rodovia Fernão Dias), além de bairros rurais. A média densidade de vias de circulação observada nas imediações do núcleo urbano do Distrito de Monte Verde está associada ao intenso fluxo turístico desta região. Some a isto o plantio de pinus e eucalipto na porção norte do distrito, que demanda uma alta concentração de vias para

o escoamento da madeira, sendo a silvicultura o principal fator da alta densidade de vias nesta área da Bacia PJ.

A baixa concentração de vias nas porções leste e sudeste da Bacia PJ resulta das áreas preservadas com presença de grandes remanescentes florestais, nas áreas de relevos declivosos, que dificultam a ocupação antrópica. A Tabela 5.11 apresenta os dados sobre a extensão do sistema viário e a densidade de vias por sub-bacias.

Tabela 5.11 - Extensão viária e densidade de vias de circulação das sub-bacias da Bacia PJ.

Bacia	A (km ²)	Extensão do sistema viário (km)	Densidade de vias (km/km ²)
1	9,99	15,79	1,58
2	27,49	51,46	1,87
3	37,97	72,56	1,91
4	4,84	7,80	1,61
5	6,37	12,00	1,88
6	42,37	67,34	1,59
7	6,72	4,55	0,68
8	18,88	33,14	1,75
9	16,41	22,24	1,36
10	15,91	24,04	1,51
11	65,66	115,00	1,75
12	6,36	11,79	1,85
13	6,24	12,21	1,96
14	15,27	29,91	1,96
15	18,64	36,22	1,94
16	48,13	74,51	1,55
17	6,16	10,92	1,77
18	4,09	8,32	2,04
19	11,00	14,23	1,29
20	11,54	20,48	1,78
21	21,27	34,06	1,60
22	7,36	7,51	1,02
23	4,82	3,31	0,69
24	45,11	48,30	1,07
25	107,48	115,34	1,07
26	16,24	10,35	0,64
27	5,12	3,96	0,77
28	66,32	29,67	0,45
29	12,16	15,72	1,29
30	15,28	18,95	1,24
31	41,95	27,51	0,66
32	7,93	14,15	1,78
33	14,00	8,86	0,63
34	7,50	1,02	0,14
35	21,72	24,89	1,15
36	4,84	6,13	1,27
37	16,71	13,15	0,79
38	4,69	8,33	1,78
39	13,69	11,57	0,85
40	4,34	3,71	0,85
41	14,78	14,41	0,97
42	11,87	12,19	1,03
43	4,19	3,89	0,93
44	12,70	15,82	1,25
Inter-bacia 1	40,80	55,46	1,36
Inter-bacia 2	150,75	166,56	1,10
Inter-bacia 3	103,85	169,22	1,63

5.2 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água superficial do canal principal das sub-bacias hidrográficas amostradas

5.2.1 Sub-bacias amostradas e itinerário das campanhas de amostragem

O mapa correspondente à Figura 5.15 apresenta as 12 sub-bacias selecionadas na etapa do delineamento amostral e os pontos de coleta/análise.

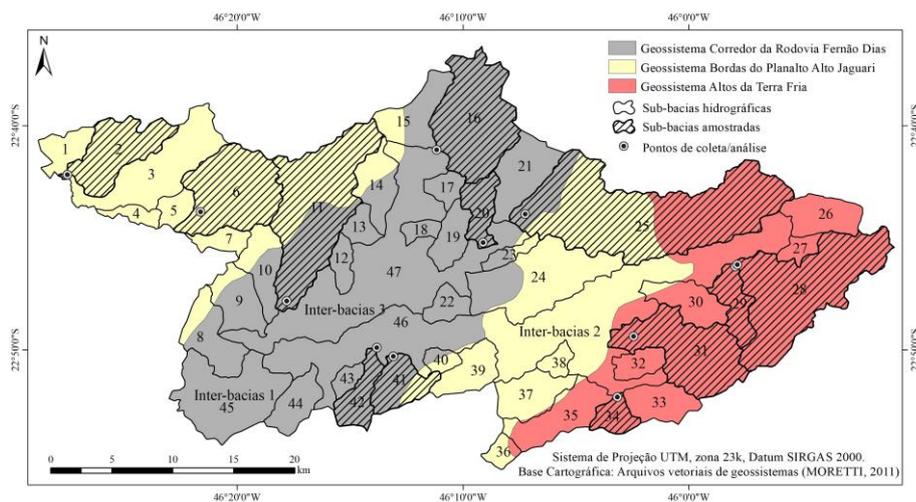


Figura 5.15. Mapa de Geossistemas e sub-bacias hidrográficas da Bacia PJ, com destaque as sub-bacias hachuradas, as quais foram amostradas.

Na Figura 5.16 é apresentado o mapa com o itinerário para cada campanha de amostragem e as respectivas sub-bacias amostradas em cada uma das campanhas.

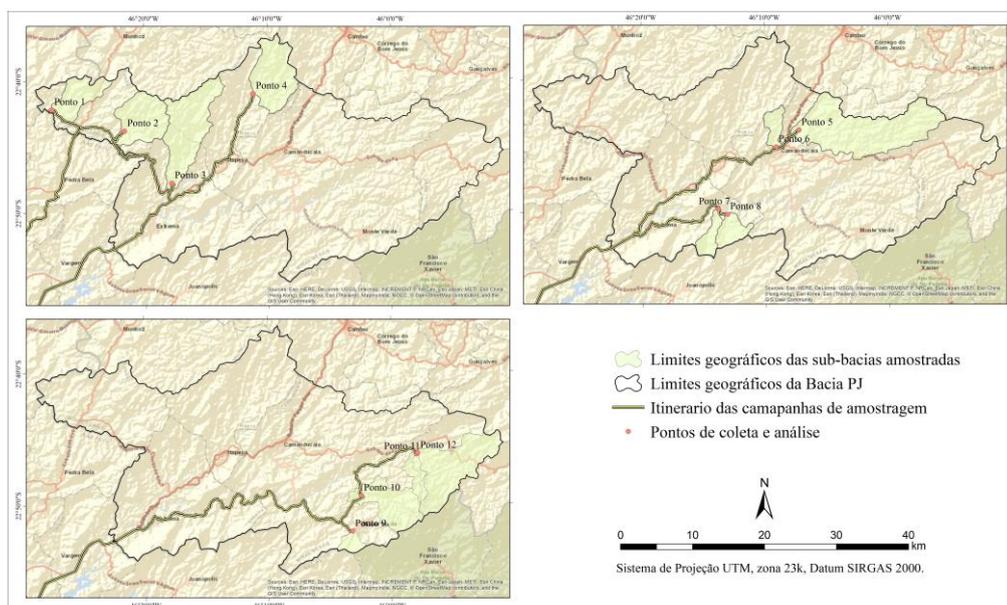


Figura 5.16 - Itinerário realizado em cada uma das campanhas de amostragem: A) campanha de amostragem 1; B) campanha de amostragem 2; e C) campanha de amostragem 3.

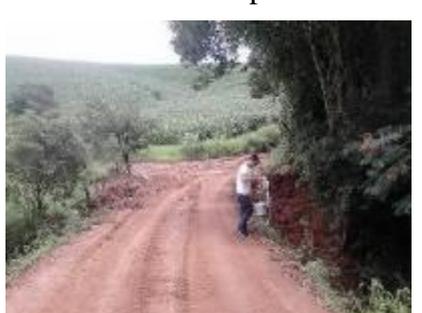
5.2.2 Caracterização das sub-bacias amostradas

Neste item é apresentada uma caracterização das 12 sub-bacias amostradas.

Ponto 1 / Sub-bacia 2 (Sub-bacia do córrego da Bela Vista)

O Ponto 1 (Quadro 5.1 e Figura 5.17), localizado na coordenada UTM 350.180m E / 7.488.583m N, 23K, corresponde ao córrego da Bela Vista, na ponte à montante da confluência com o córrego da Guardinha, no município de Toledo-MG. Neste ponto, o córrego da Bela Vista apresenta mata ciliar parcialmente conservada e entorno com uso da terra predominantemente agropecuário. A atividade agropecuária compõe o uso da terra mais expressivo nessa sub-bacia, com 44% de sua área ocupada com pastagens e 15% ocupada por cultivos agrícolas, ambos entremeados por remanescentes florestais, que perfazem 24% da área da sub-bacia (Figura 5.17 A). Inserida integralmente na Suíte Bragança Paulista, essa sub-bacia apresenta, majoritariamente, de jusante ao seu médio curso, relevo suave a ondulado, com aproximadamente 50% de sua área com declividades inferiores a 20%, enquanto que os relevos do tipo *forte ondulados a montanhosos* (> 20%) ocorrem principalmente do médio ao alto curso da sub-bacia (Figura 5.17 B). Classificada como de 4ª ordem segundo critérios de Strahler (1957), ocupa uma área de 27,5 km², com amplitude altimétrica de 427m (Figura 5.17 C).

Quadro 5.1 - Fotografias do local de coleta /análise do Ponto 1.

	Montante	Jusante	Entorno do ponto
Período Seco			
Período chuvoso			

Os valores de Dd (1,52), Dh (2,33), Cm (656,96) e Eps (328,47) (Tabela 5.6) indicam que os escoamentos superficiais tendem a percorrer caminhos superiores nesta sub-bacia em comparação com as sub-bacias da porção sudeste da Bacia PJ. Na ausência de vegetação ou práticas conservacionistas, há um elevado carregamento de sedimentos para os rios desprovidos de vegetação ripária.

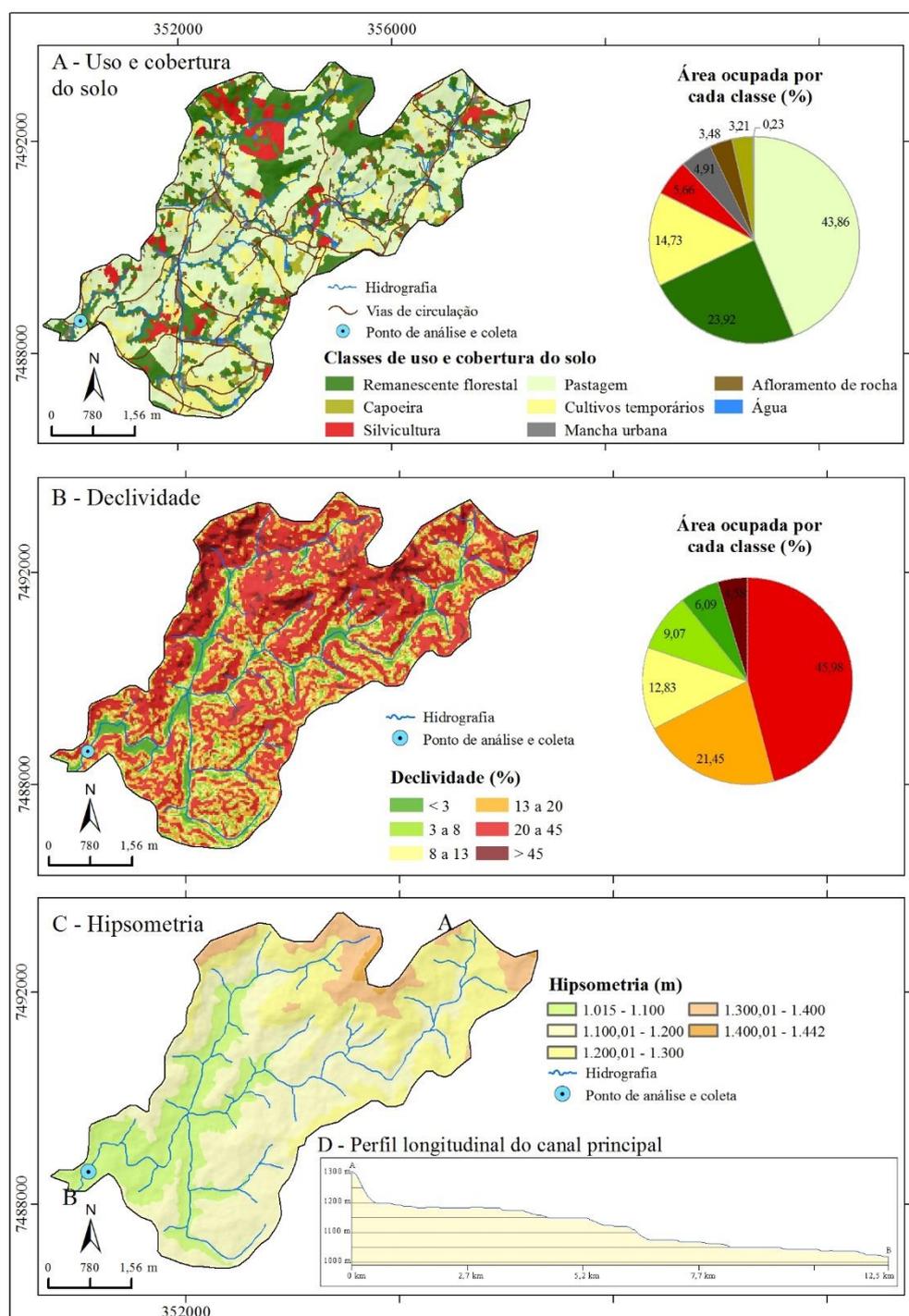


Figura 5.17 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e Perfil Longitudinal do canal principal (D) da sub-bacia do córrego da Bela Vista (Sub-bacia2).

Ponto 2 / Sub-bacia 6 (sub-bacia do córrego do Campestre)

O Ponto 2 corresponde à sub-bacia do córrego do Campestre, na ponte à montante da confluência com o córrego da Guardinha, na coordenada UTM 359.371m E / 7.482.225m N, 23K, no município de Toledo-MG (Figura 5.18). Neste ponto, o córrego do Campestre não possui mata ciliar e seu entorno apresenta uso da terra predominantemente agropecuário (Quadro 5.2 e Figura 5.18 A). Com uma área de 42,4 km², esta sub-bacia é classificada como de 4ª ordem segundo critérios de Strahler (1957). A classe de uso da terra *Mancha urbana e sedes rurais* ocupa aproximadamente 8% do território da sub-bacia, estando a área urbana do município de Toledo inserida parcialmente (aproximadamente 50%) nesta sub-bacia, à jusante do ponto de coleta e, à montante, os bairros rurais São José de Toledo, Moinhos e Pinhal Grande. Os cultivos agrícolas totalizam 9% da área da sub-bacia, representados pelos cultivos de milho, batata e repolho, enquanto que as áreas destinadas à pastagem ocupam 34% (Figura 5.18 A), ambos desenvolvidos principalmente nas áreas de relevo plano a ondulados (declividade < 20%), que perfazem 50% do território da sub-bacia (Figura 5.18 B). Já os remanescentes florestais cobrem 31% da área e a silvicultura 8%, e ocorrem geralmente em terrenos com relevo forte ondulado a montanhoso (Figura 5.18 B).

Quadro 5.2 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 2.

	Montante	Jusante	Entorno do ponto
Período Seco			
Período chuvoso			

Inserida na Suíte Bragança Paulista, apresenta amplitude altimétrica de 490 metros (Figura 5.18C), com Dd (1,79), Dh (2,76), Cm (557,61) e Eps (278,8). O canal principal da sub-bacia apresenta declividade acentuada à média do seu alto curso ao médio curso, passando a apresentar baixa declividade do médio curso para o baixo curso, quando passa a apresentar áreas de agradação (Figura 5.18 C e D)

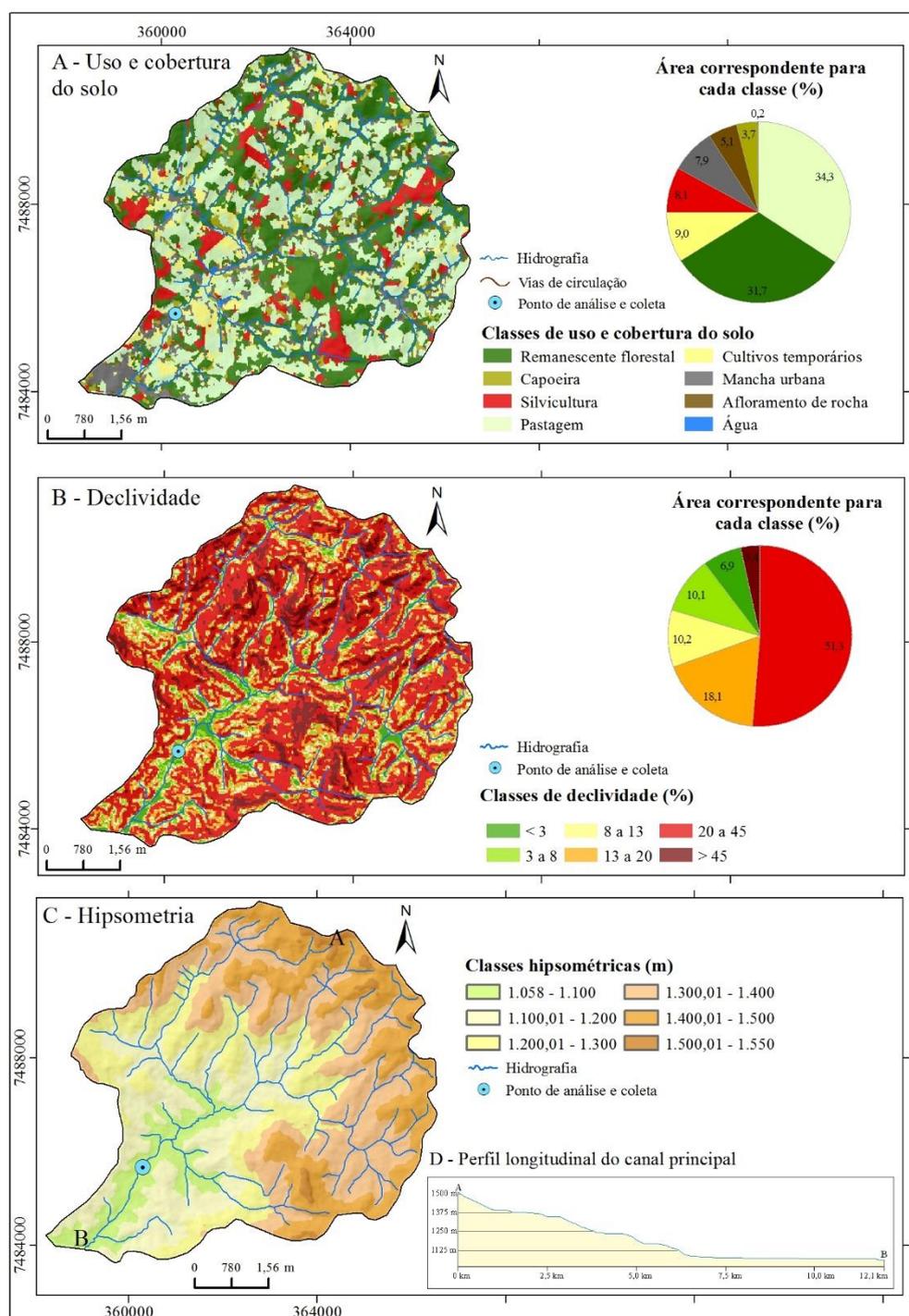
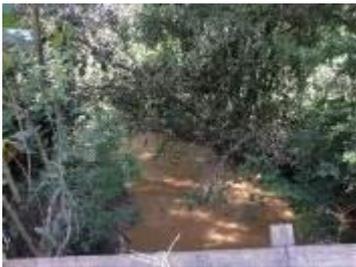


Figura 5.18 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e Perfil Longitudinal do canal principal da sub-bacia do córrego do Campestre (Sub-bacia 6).

Ponto 3 / Sub-bacia 11 (sub-bacia do ribeirão do Juncal)

O Ponto 3, pertencente à sub-bacia do ribeirão do Juncal, está localizado na ponte à montante da confluência do córrego das Furnas, na coordenada UTM 366.876m E/ 7.478.352m N, 23K, no município de Extrema-MG. Neste ponto, o ribeirão do Juncal apresenta mata ciliar parcialmente conservada e entorno com uso da terra agropecuário (Quadro 5.3 e Figura 5.19 A). Abrange áreas do município de Itapeva-MG (médio curso à montante) e áreas do município de Extrema (médio curso à jusante), ocupando uma área de 65,6 km², sendo de 4ª ordem. Os relevos com declividades superiores à 20% representam 61% do seu território (Figura 5.19 B), e são cobertos principalmente por remanescentes florestais, que totalizam 38,5% da área, e pelas pastagens, que ocupam 35,08% da área (Figura 5.19 A). Os cultivos agrícolas (milho, batata, feijão e repolho) ocupam 6,9% da área da sub-bacia, e estão localizados predominantemente na porção norte da sub-bacia. Já a classe *Mancha urbana e sedes rurais* perfaz 6,12% da área, sendo representada principalmente pelo Bairro do Juncal e sedes rurais (Figura 5.19 A). A sub-bacia apresenta uma amplitude altimétrica de 646 metros e o perfil longitudinal do seu canal principal apresenta um degrau com elevada ruptura de declive em seu médio curso, referente a uma cachoeira (Figura 5.19D). Após este trecho, a sub-bacia passa a desenvolver uma planície deposicional em seu baixo curso (Figuras 5.19 B e D).

Quadro 5.3 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 3.

Período Seco	Ponte de coleta	Montante	Entorno do ponto
			
Período chuvoso	Montante	Jusante	Entorno do ponto
			

Apresenta Dd e Dh superiores aos das sub-bacias 2 e 6, indicando assim uma tendência das sub-bacias da porção leste da Bacia PJ apresentarem maior dissecação do relevo. Litologicamente, 77,5% de seu território está inserido no Complexo NPvog.

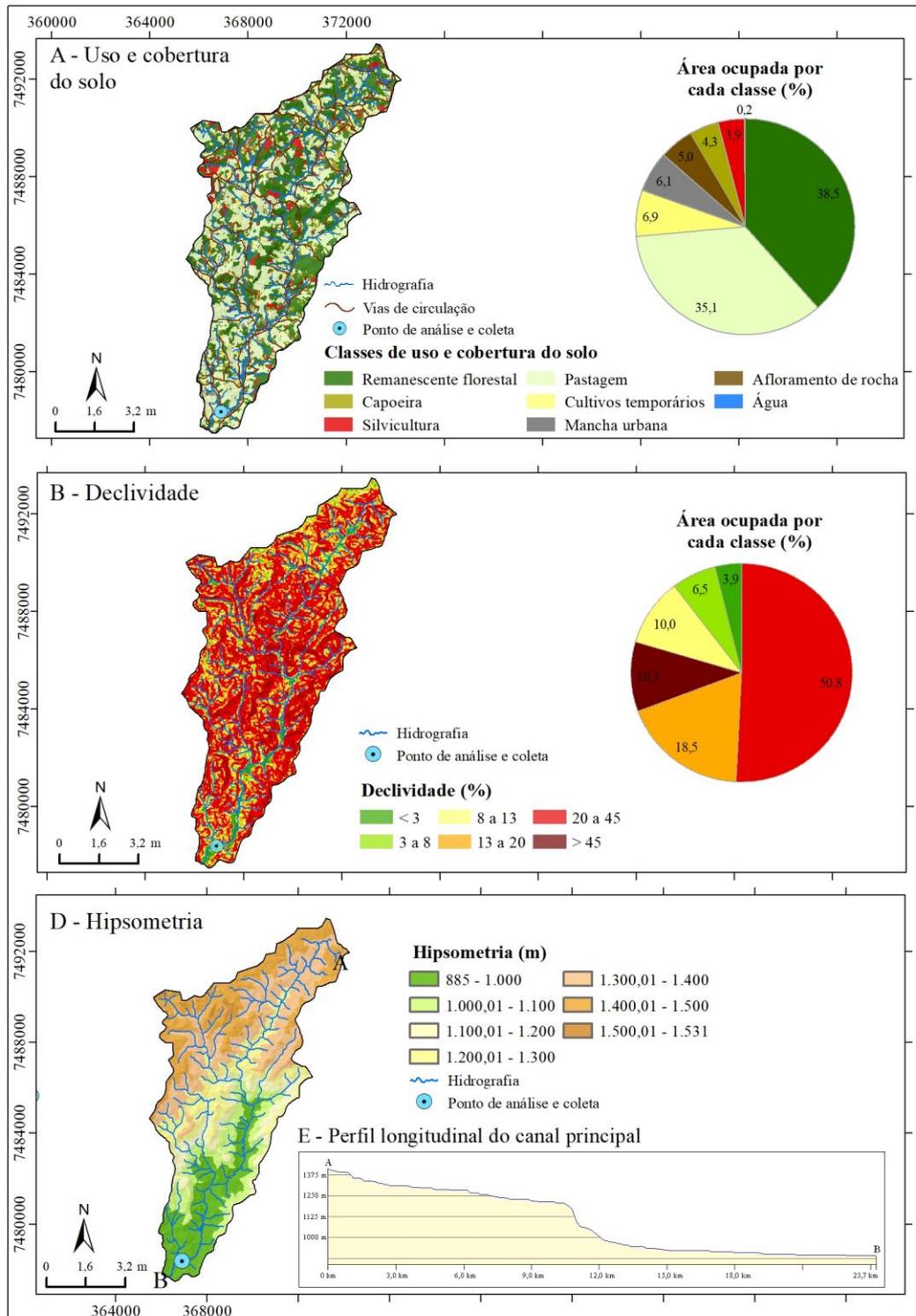


Figura 5.19 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do ribeirão do Juncal (Sub-bacia 11).

Ponto 4 / Sub-bacia 16 (sub-bacia do ribeirão Sertão Grande)

O Ponto 4 representa a sub-bacia do ribeirão Sertão Grande, e está localizado na ponte à montante da confluência com o córrego dos Negros, na coordenada UTM 378.174m E / 7.490.933m N, 23K, no município de Itapeva-MG. Neste ponto, o ribeirão Sertão Grande apresenta mata ciliar parcialmente conservada e entorno ocupado predominantemente por pastagens, com bairro rural próximo (Quadro 5.4 e Figura 5.20 A). A pastagem representa o uso mais expressivo, totalizando 45,7% da área da bacia, ocorrendo deste os terrenos planos até os terrenos mais íngremes. Os cultivos agrícolas representam 6,13% da área, e são compostos principalmente por milho, batata, feijão e morango, e são desenvolvidos principalmente na porção noroeste da sub-bacia (Figura 5.20 A). Os remanescentes florestais constituem 28,4% do uso da área, enquanto que a silvicultura 4,75% (Figura 5.20 A). Ambos se dão principalmente nas vertentes com inclinação superior à 20%, sendo que estas caracterizam 65,7% do relevo local (Figura 5.20 B). Com uma área de 48,13 km², amplitude altimétrica de 596 metros (Figura 5.20 C) e classificada como de 4^a ordem, está totalmente inserida no Complexo Varginha-Guaxupé (NPvog). Os valores de Dd (2,14), Dh (3,84), Cm (466,8) e Eps (233,4) estão dentro da média dos valores apresentados pelas demais sub-bacias da Bacia PJ.

Quadro 5.4 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 4.

Período Seco	Ponte de coleta	Montante	Entorno do ponto
			
Período chuvoso	Montante	Jusante	Entorno do ponto
			

Os declives mais acentuados do canal principal da sub-bacia ocorrem no seu alto curso, enquanto que o trecho correspondente ao baixo curso apresenta baixos declives, associados à uma planície deposicional (Figura 5.20 B e D).

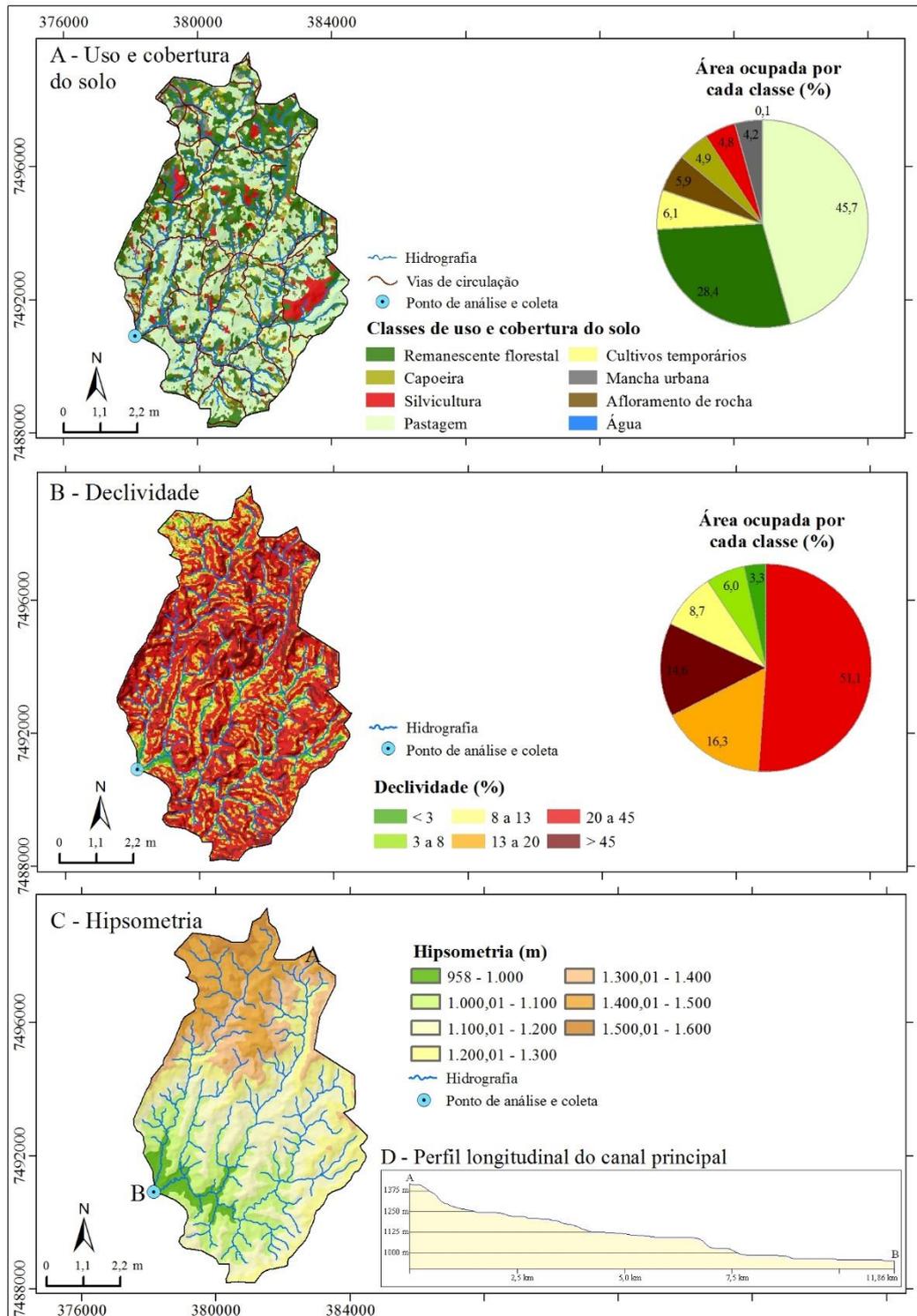


Figura 5.20 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do ribeirão Sertão Grande (Sub-bacia 16).

Ponto 5 / Sub-bacia 25 (sub-bacia do rio Camanducaia)

O Ponto 5 corresponde à sub-bacia do Rio Camanducaia, na ponte à jusante da confluência com o ribeirão do Pinhal, localizada na coordenada UTM 384.931m E/ 7.485.744m N, 23K, no município de Camanducaia-MG. Neste ponto, o rio Camanducaia apresenta mata ciliar conservada e entorno com uso da terra predominantemente agropecuário (Quadro 5.5 e Figura 5.21 A). Com uma área de 107,48 km², é classificada como de 4^a ordem (STRAHLER, 1957), sendo a sub-bacia mais extensa da bacia PJ. Os relevos com declividades superiores à 20% representam 65,77% do seu território (Figura 5.21 B) e são cobertos principalmente por remanescentes florestais, que totalizam 47,2 % da área da sub-bacia, e ocorrem principalmente na porção leste da sub-bacia (Figura 5.21 A). As pastagens correspondem a 26,44 % da área e se distribuem tanto em áreas de baixa e alta declividade. Os cultivos agrícolas (repolho, feijão e milho) perfazem 7,81% da área, concentrando-se na porção centro leste, ocorrendo também em vertentes com declividades superiores a 20% (Figura 5.21 A). Apresenta amplitude altimétrica de 1020m (Figura 5.21 C) e comprimento vetorial de 21km, e o perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia apresenta média declividade do alto ao médio curso, com baixa declividade no baixo curso (Figura 5.21 B e D)

Quadro 5.5 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 5.

	Montante	Jusante	Entorno do ponto
Período Seco			
Período chuvoso			

Com 53,6% do seu território inserido no Granito Gonçalves, no contexto da Bacia PJ, apresenta valores médios de Dd (2,38) e de Dh (4,38), que associados com os valores de Cm (420,18) e Eps (210), caracterizam áreas de relevo dissecado marcado pela predominância de morros de topos aguçados.

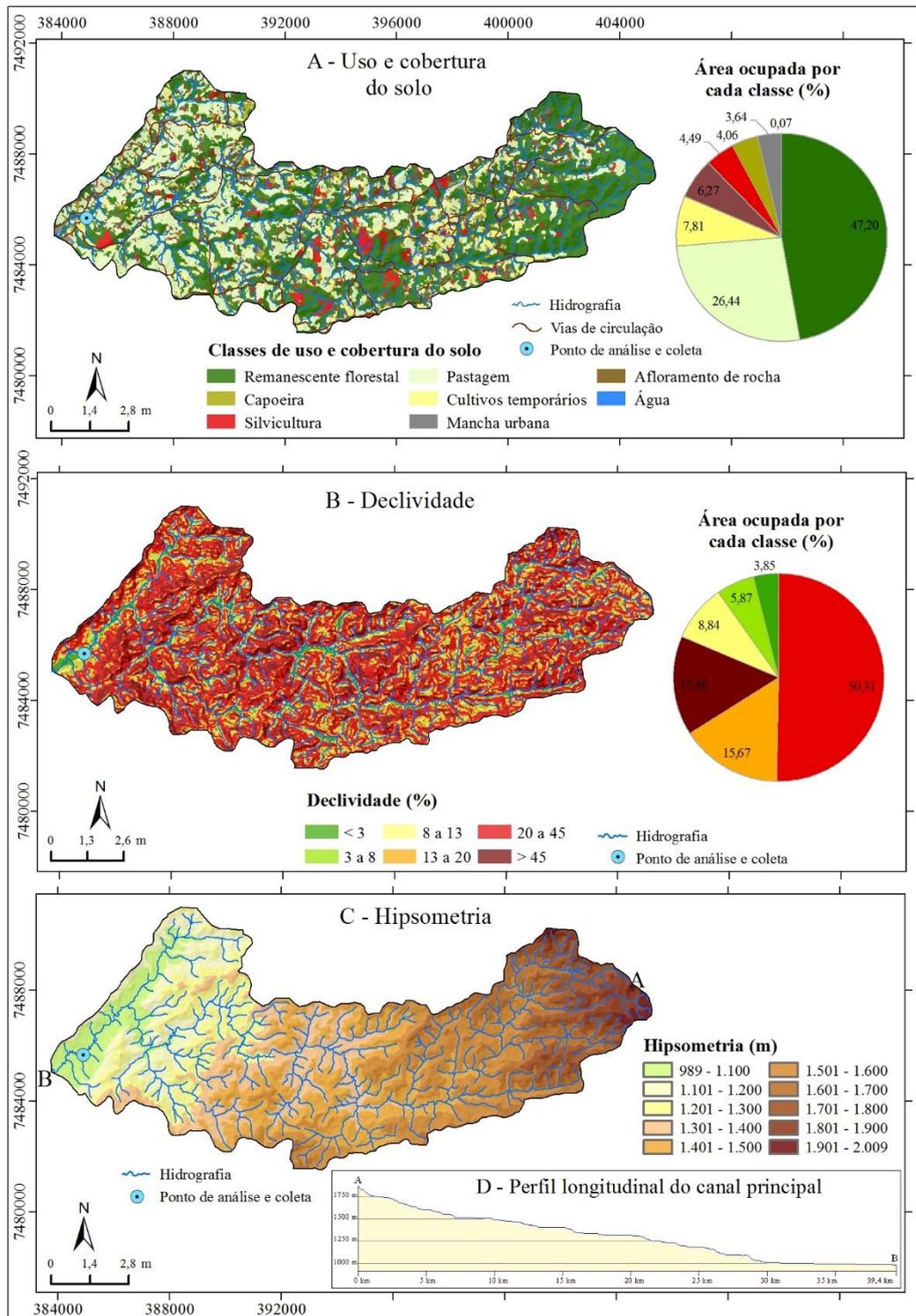


Figura 5.21 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do rio Camanducaia (Sub-bacia 25).

Ponto 6 / Sub-bacia 20 (sub-bacia do ribeirão do Campestre)

O Ponto 6, localizado na coordenada UTM 381.851m E / 7.483.333m N, 23K, corresponde à sub-bacia do ribeirão do Campestre, na ponte à montante da confluência com o rio Camanducaia, no município de Camanducaia-MG. Neste ponto, o ribeirão do Campestre não possui mata ciliar e seu entorno é ocupado predominantemente por pastagem (Quadro 5.6 e Figura 5.22 A). Os remanescentes florestais e as pastagens compõem os usos e cobertura do solo mais significativos nessa sub-bacia, ocupando 39,47% e 38,9%, respectivamente (Figura 5.22 A). Os cultivos agrícolas constituem 6,55% da área da sub-bacia e se desenvolvem em vertentes de média a alta inclinação. Parte da área urbana de Camanducaia está inserida no baixo curso da sub-bacia, a jusante do ponto de amostragem, de modo que a classe *Uso urbano* perfaz 6,61% da área (Figura 5.22 A). Inserida no Complexo Varginha-Guaxupé (NPvog), 59,54% do seu relevo apresenta declividade superior a 20% (Figura 5.22 B). Classificada como de 3ª ordem, ocupa uma área de 11,54 km². Os valores de Dd (1,86), Dh (3,21), Cm (537,97) e Eps (268,99) indicam que o processo de escoamento superficial tende a ser superior ao de infiltração, com rápido escoamento após precipitações, tornando a sub-bacia vulnerável à ocorrência de processos erosivos em áreas desprovidas de vegetação.

Quadro 5.6 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 6.

	Montante	Jusante	Entorno do ponto
Período Seco			
Período chuvoso			

Com amplitude altimétrica de 335m (Figura 5.22 C) e comprimento vetorial de 7,83km, o perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia apresenta média declividade, com vários degraus nos pontos de ruptura de declive (Figura 5.22 B e D).

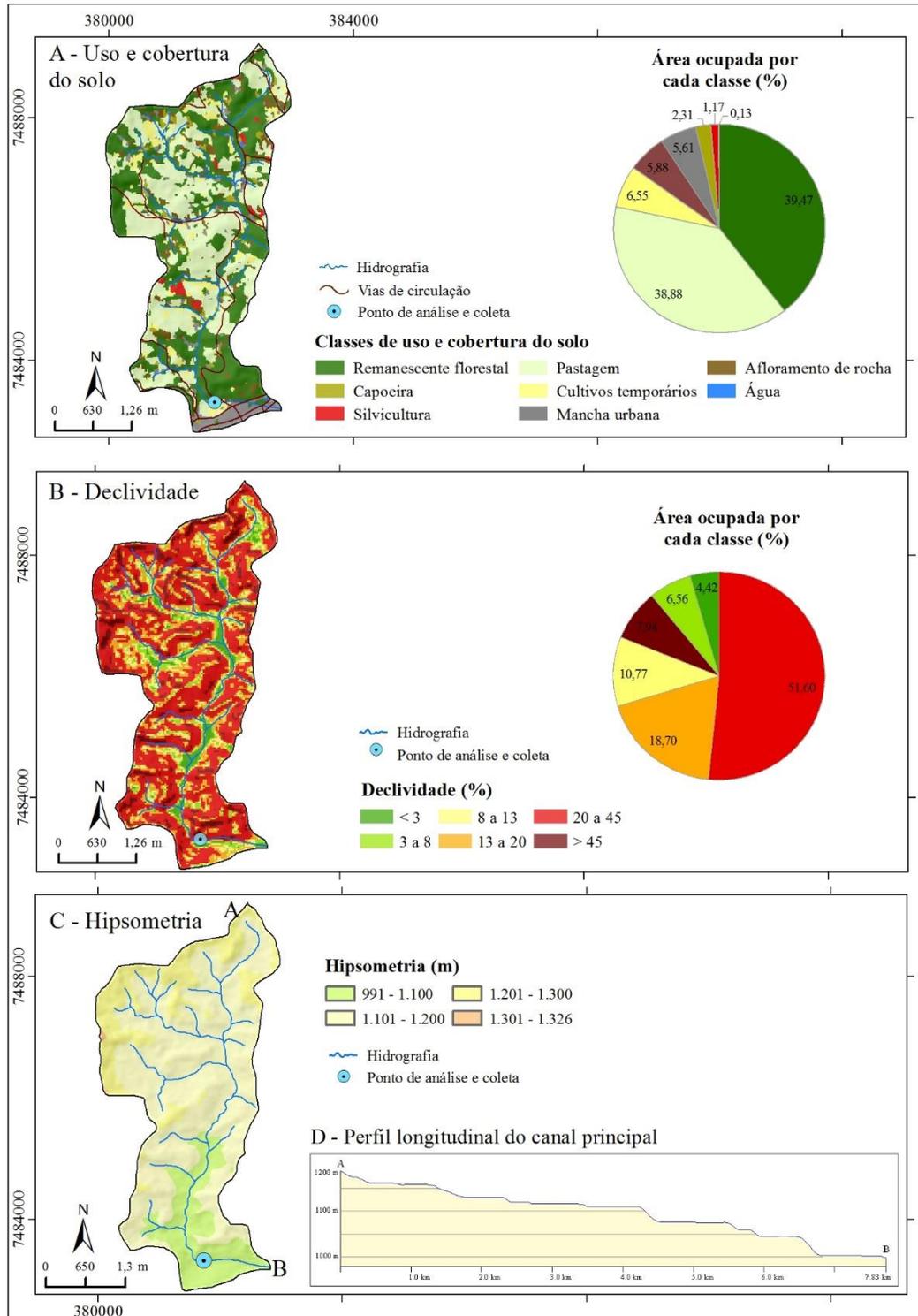
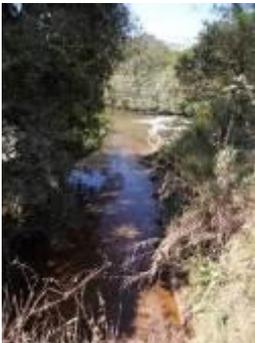
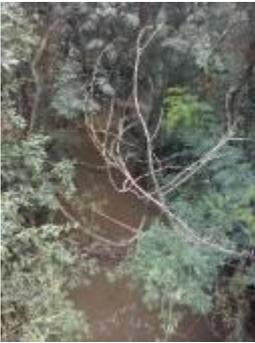
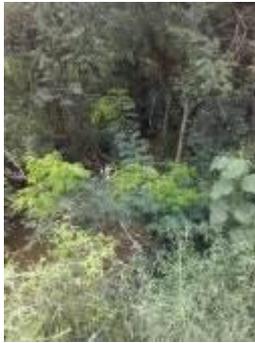


Figura 5.22 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do ribeirão do Campestre (Sub-bacia 20).

Ponto 7 / Sub-bacia 42 (sub-bacia do ribeirão das Posses)

O ponto 7 representa a sub-bacia do ribeirão das Posses, na ponte à montante da confluência com o rio Jaguari, na coordenada UTM 373.771m E / 7.474.628m N, 23K, no município de Camanducaia-MG. Neste ponto, o ribeirão das Posses apresenta mata ciliar parcialmente conservada e seu entorno é ocupado predominantemente por pastagem (Quadro 5.7 e Figura 5.23 A). A pastagem compõe o uso mais expressivo nesta sub-bacia, ocupando 55,11% da área, destinada à pecuária. Os remanescentes florestais ocorrem principalmente em áreas declivosas e em fundos de vale, perfazendo 21,9% da sub-bacia. Ocupando 6,85% da área, os cultivos agrícolas são desenvolvidos em pequenas propriedades (Figura 5.23 A). Já a classe *Urbano e Sedes Rurais* corresponde a 4,56% da área, referentes a sedes rurais, com destaque para uma agroindústria de médio porte (fábrica de picles). Litologicamente, 92,2% do seu território está inserido no Granitóide Piracaia e 7,48% no Complexo Varginha-Guaxupé (NPvp).

Quadro 5.7 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 7.

Período Seco	Montante	Jusante	Coleta em margem - esquerda
			
Período chuvoso	Montante	Jusante	Entorno – margem direita
			

Classificada como de 3ª ordem, ocupa uma área de 11,87 km² com amplitude altimétrica de 530 metros (Figura 5.23 C), de modo que 70,4% do seu relevo apresenta declividade superior à 20% (Figura 5.23 B), que associado ao tipo de uso, torna-se susceptível a processos erosivos, principalmente nas imediações do alto curso da sub-bacias, onde os declives são mais acentuados (Figura 5.23 B e E).

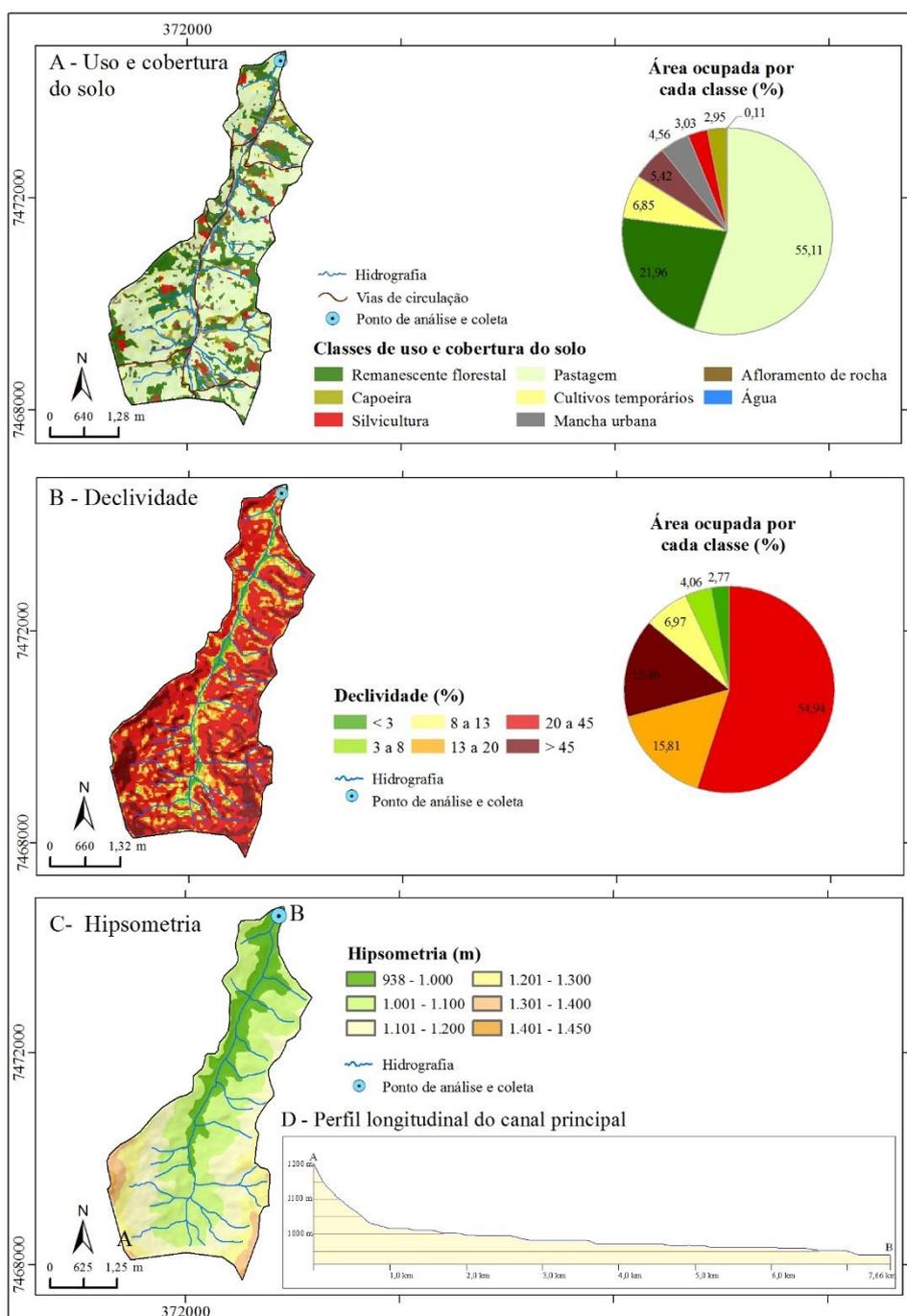


Figura 5.23 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do ribeirão das Posses (Sub-bacia 42).

Ponto 8 / Sub-bacia 41 (sub-bacia do córrego do Salto de Cima)

O Ponto 8 corresponde à sub-bacia do córrego do Salto de Cima, na ponte à montante da confluência com o rio Jaguari, na coordenada UTM 375.024m E / 7.473.854m N, 23K, no município de Camanducaia-MG. Neste ponto, o córrego do Salto de Cima apresenta mata ciliar parcialmente conservada e seu entorno apresenta uso da terra destinado a atividades agropecuárias (Quadro 5.8 e Figura 5.24 A). Com uma área de 14,78 km², é classificada como sendo de 4^a ordem (STRAHLER, 1957). Os relevos com declividades superiores à 20% representam 68,9% do seu território (Figura 5.24 B) e são cobertos principalmente por remanescentes florestais, pastagem e silvicultura que totalizam 34,45%, 39,59% e 5,06% da área da sub-bacia, nesta ordem. Os cultivos agrícolas são desenvolvidos em pequenas propriedades rurais, em áreas de média declividade, abrangendo 6,36% da área da sub-bacia (Figura 5.24 A). Está inserida em área de vários contatos litológicos: Complexo Varginha-Guaxupé (48,16%), Suíte Bragança Paulista (39,08%) e Granitóide Piracaia (12,76). Com amplitude altimétrica de 637 metros (Figura 5.24 C), apresenta Eps (289,25), favorecendo o escoamento superficial, com alto potencial à ocorrência de processos erosivos quando o solo se encontra desprovido de vegetação.

Quadro 5.8 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 8.

	Montante	Jusante	Entorno do ponto
Período Seco			
Período chuvoso			

No perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia pode ser observado um degrau com acentuada ruptura de declive, na altura do médio curso (Figura 5.24 D). Este degrau corresponde à cachoeira do Salto de Cima, a qual dá nome ao rio da sub-bacia correspondente.

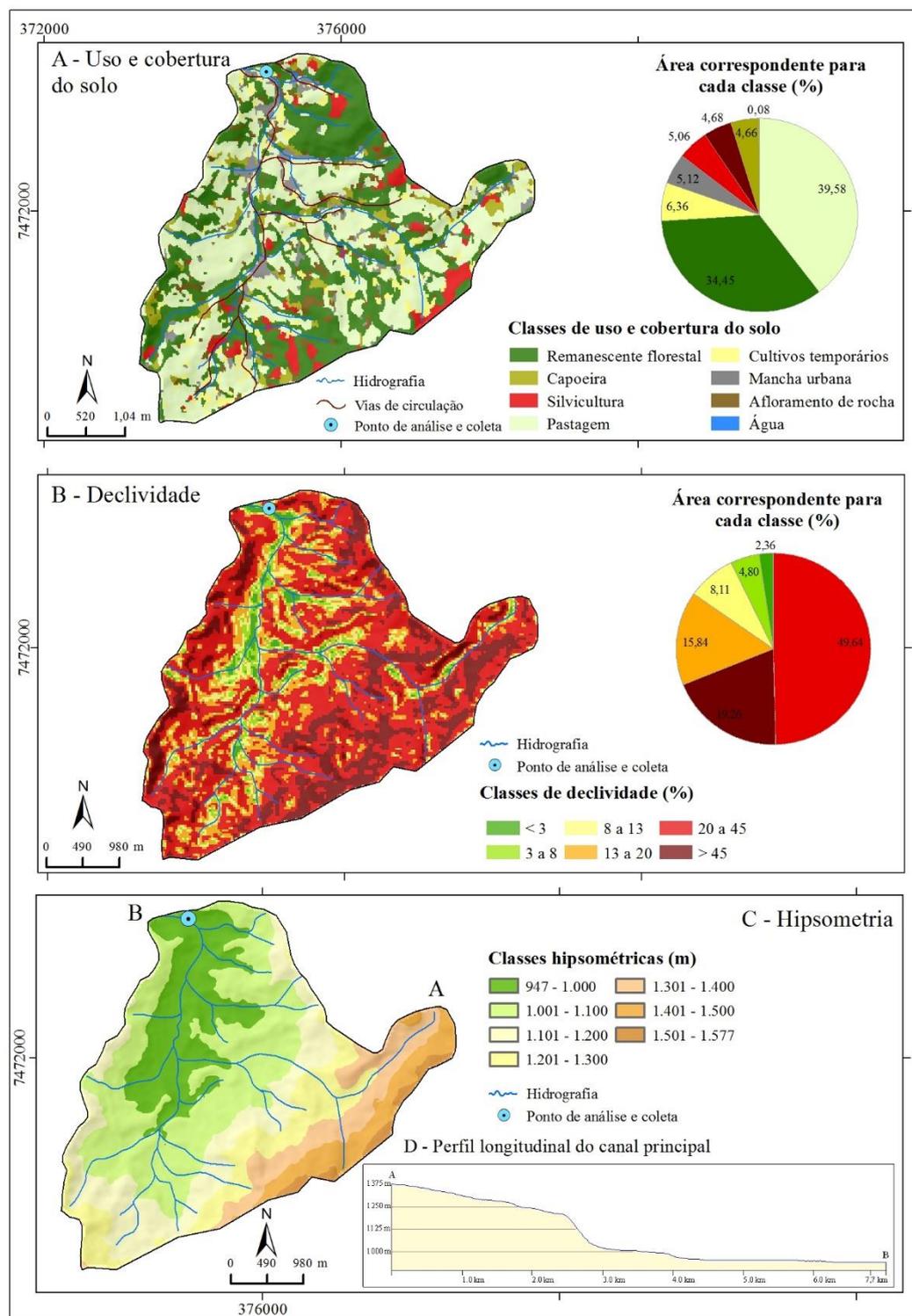


Figura 5.24 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do córrego do Salto de Cima (Sub-bacia 41).

Ponto 9 / Sub-bacia 34 (sub-bacia do córrego da Minhoca)

O ponto 9 representa a sub-bacia do córrego da Minhoca, na ponte à montante da confluência com o córrego do Cadete, na coordenada UTM 388.013m E / 7.475.289m N, 23K, no município de Camanducaia-MG. O córrego da Minhoca apresenta mata ciliar preservada em toda a sua extensão e seu entorno é ocupado por remanescentes florestais e por silviculturas (Quadro 5.9 e Figura 5.25 A). Os remanescentes florestais compõem o uso da terra mais expressivo nesta sub-bacia, ocupando 83% da área, representados pelas formações FOMD e FOMM. A silvicultura perfaz 14%, ocorrendo apenas na porção noroeste da sub-bacia, em seu baixo curso (Figura 5.25 A). Há ainda alguns afloramentos de rocha, que cobrem 2,6% da área da sub-bacia, como por exemplo o Pico do Selado. Embora sua área seja de apenas 7,5 km², esta sub-bacia, de elevada Dh (4,93 canais/km²), é classificada como de 4^a ordem, com amplitude altimétrica de 324 metros (Figura 5.25 C). Tem como base litológica o Corpo Granito Gonçalves, que lhe confere relevo altamente estruturado, confirmado pelo elevado valor de Tt (1,74).

Quadro 5.9 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 9.

	Montante	Jusante	Entorno
Período Seco			
Período chuvoso			

O perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia (Figura 5.25 D) evidencia a elevada declividade desta área, a qual possui mais de 65% do território com declives superiores à 20% (Figura 5.25 B).

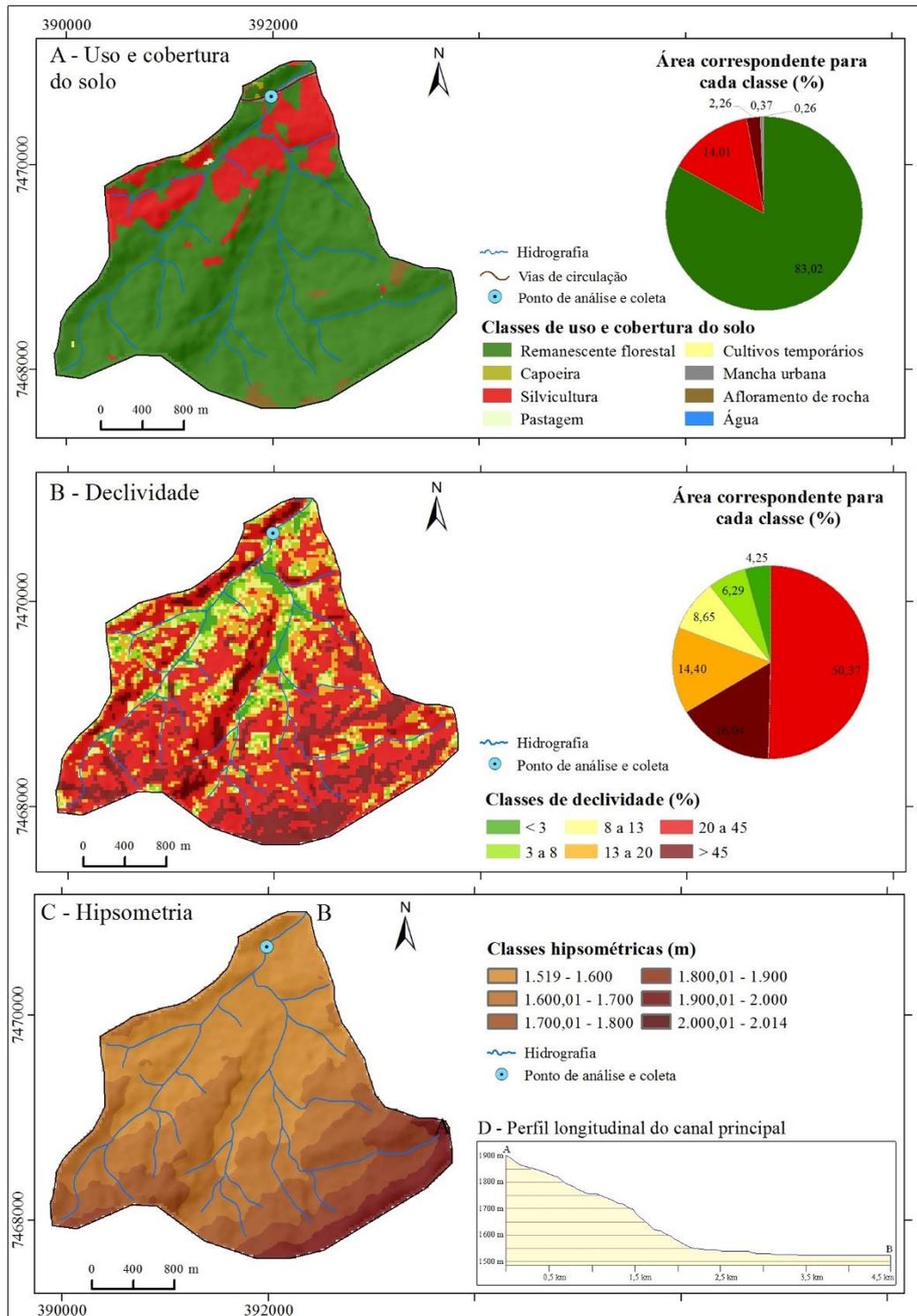


Figura 5.25 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do córrego da Minhoca (Sub-bacia 34).

Ponto 10 / Sub-bacia 31 (sub-bacia do ribeirão dos Poncianos)

O Ponto 10 corresponde à sub-bacia do ribeirão dos Poncianos, na ponte à jusante da confluência com o córrego da Fonte Alegre, com coordenada UTM 388.013m E / 7.475.289m N, 23K, nas imediações da Fazenda Levantina, no município de Camanducaia-MG. O ribeirão dos Poncianos apresenta mata ciliar preservada e seu entorno é ocupado por remanescentes florestais e por cultivos de pinus e eucalipto (Quadro 5.10 e Figura 5.26 A). Os relevos com declividades superiores à 20% representam 70,4% do seu território (Figura 5.26 B) e são cobertos principalmente por remanescentes florestais, que totalizam 79,15% da área da sub-bacia, e pela silvicultura, que ocupa aproximadamente 15% (Figura 5.26 A). Classificada como sendo de 4ª ordem, ocupa uma área de 41,95 km², com amplitude altimétrica de 471 metros (Figura 5.26 C). Aproximadamente 98% do seu território pertence ao Granito Gonçalves, e os valores de Dd (2,62), Dh (5,41), Eps (197,76) e Tt (1,75) são indicativos de alto grau de entalhamento e dissecação.

Quadro 5.10 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 10.

Período Seco	Montante	Jusante	Entorno do ponto – margem direita
			
Período chuvoso	Montante	Jusante	Entorno do ponto – margem esquerda
			

O perfil longitudinal do canal principal (Figura 5.26 D) e o mapa clinométrico (Figura 5.26 B) da sub-bacia demonstram que o canal apresenta elevado declive no seu alto curso, com vales encaixados, passando a apresentar declividade mais suave do médio curso ao baixo curso, com formação de planície deposicional.

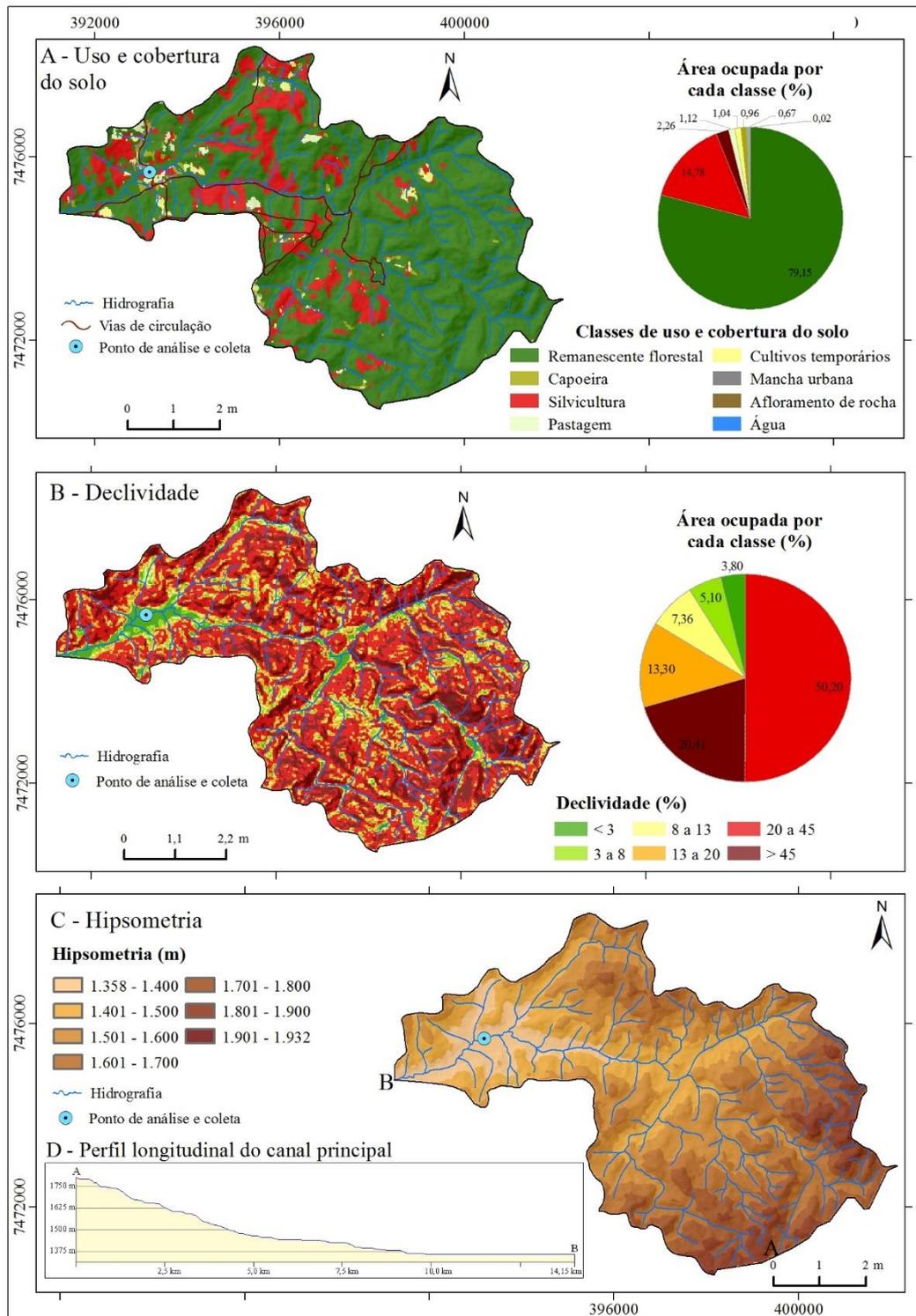


Figura 5.26 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do ribeirão dos Poncianos (Sub-bacia 31).

Ponto 11 / Sub-bacia 29 (sub-bacia do córrego Campo Verde)

O Ponto 11 corresponde à sub-bacia do córrego Campo Verde, na ponte à montante da confluência com o rio Jaguari, coordenada UTM 350.180m E / 7.488.583m N, 23K, no município de Sapucaí-Mirim-MG. No ponto, o córrego Campo Verde apresenta mata ciliar parcialmente conservada, com grande presença de bambu (Quadro 5.11). O entorno do córrego é ocupado por remanescentes florestais e por silviculturas (Figura 5.27 A). O Granito Gonçalves representa a base litológica da sub-bacia, classificada como sendo de 4ª ordem, com amplitude altimétrica de 500 metros e uma área de 12,16km². Com 64% da área de seu terreno apresentando declividade superior à 20% (Figura 5.27 B), apresenta elevados valores de Dd (3,08km/km²) e Tt (1,82) e baixo valor de Eps (162,28), indicativos de alto grau de entalhamento e dissecação. Os remanescentes florestais perfazem 75% da área, representados pela FOMD e FOMM. A silvicultura representa 9,94% do uso total da sub-bacia, enquanto que a pastagem representa 5,8% (Figura 5.27 A).

Quadro 5.11 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 11.

Período Seco	Montante	Jusante	Entorno e ponte de coleta
			
Período chuvoso	Montante	Jusante	Entorno do ponto
			

Com uma amplitude de 457 metros (Figura 5.27 C), a sub-bacia apresenta perfil longitudinal do canal principal com declividade elevada do médio ao alto curso, onde o canal flui em vales em “V”, e declividade média do médio ao baixo curso, onde passa a apresentar vale achatado (Figura 5.27 C e D).

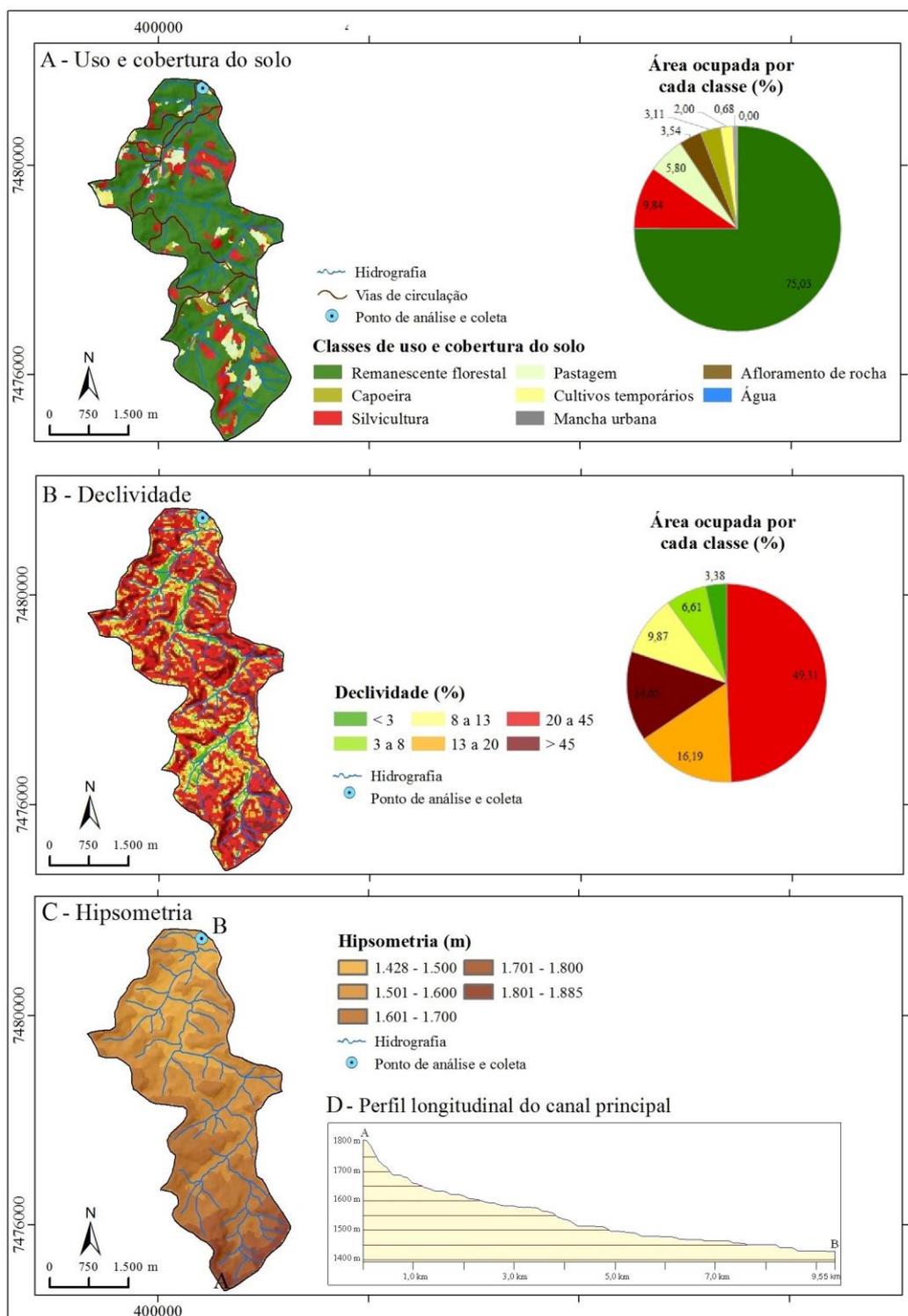


Figura 5.27 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do córrego Campo Verde (Sub-bacia29).

Ponto 12 / Sub-bacia 28 (sub-bacia do rio Jaguari)

O Ponto 12 representa a sub-bacia do rio Jaguari, na ponte à montante da confluência com o córrego Campo Verde, coordenada UTM 384.931m E / 7.485.744 m N, 23K, no município de Sapucaí-Mirim-MG. No ponto, o rio Jaguari apresenta mata ciliar parcialmente conservada, com presença de bambu (Quadro 5.12). Corresponde ao alto curso do rio Jaguari, ainda classificado como sendo de 5ª ordem. Os remanescentes florestais se configuram como uso da terra e cobertura vegetal mais expressivo, cobrindo 75,9% dos 66,32km² da sub-bacia (Figura 5.28 A). A silvicultura, amplamente praticada na região, corresponde à 17,04% do uso total (Figura 5.28 A). Com relação à morfometria, é a sub-bacia com os maiores valores de Dd (3,47 km/km²), Dh (9,70 canais/km²) e Tt (1,88) e os menores valores de Cm (288,07) e Eps (144,04). Tais características evidenciam o alto grau de entalhamento e dissecação da sub-bacia e seu elevado potencial hídrico, sendo o principal manancial do Rio Jaguari.

Quadro 5.12 - Fotografias do local de coleta/análise do Ponto 12.

Período Seco	Ponto de coleta	Jusante	Entorno
			
Período chuvoso	Montante	Jusante	Entorno do ponto de coleta
			

Inserida integralmente sobre o Granito Gonçalves, apresenta predomínio de relevos forte ondulados e montanhosos, com 62,7% do seu território com declividade superior à 20% (Figura 5.28 B). O seu canal principal flui em relevo íngreme no seu alto curso, onde apresenta dois degraus com elevadas rupturas de declive, depois dos quais passa a fluir em área de média declividade (Figura 5.28 E).

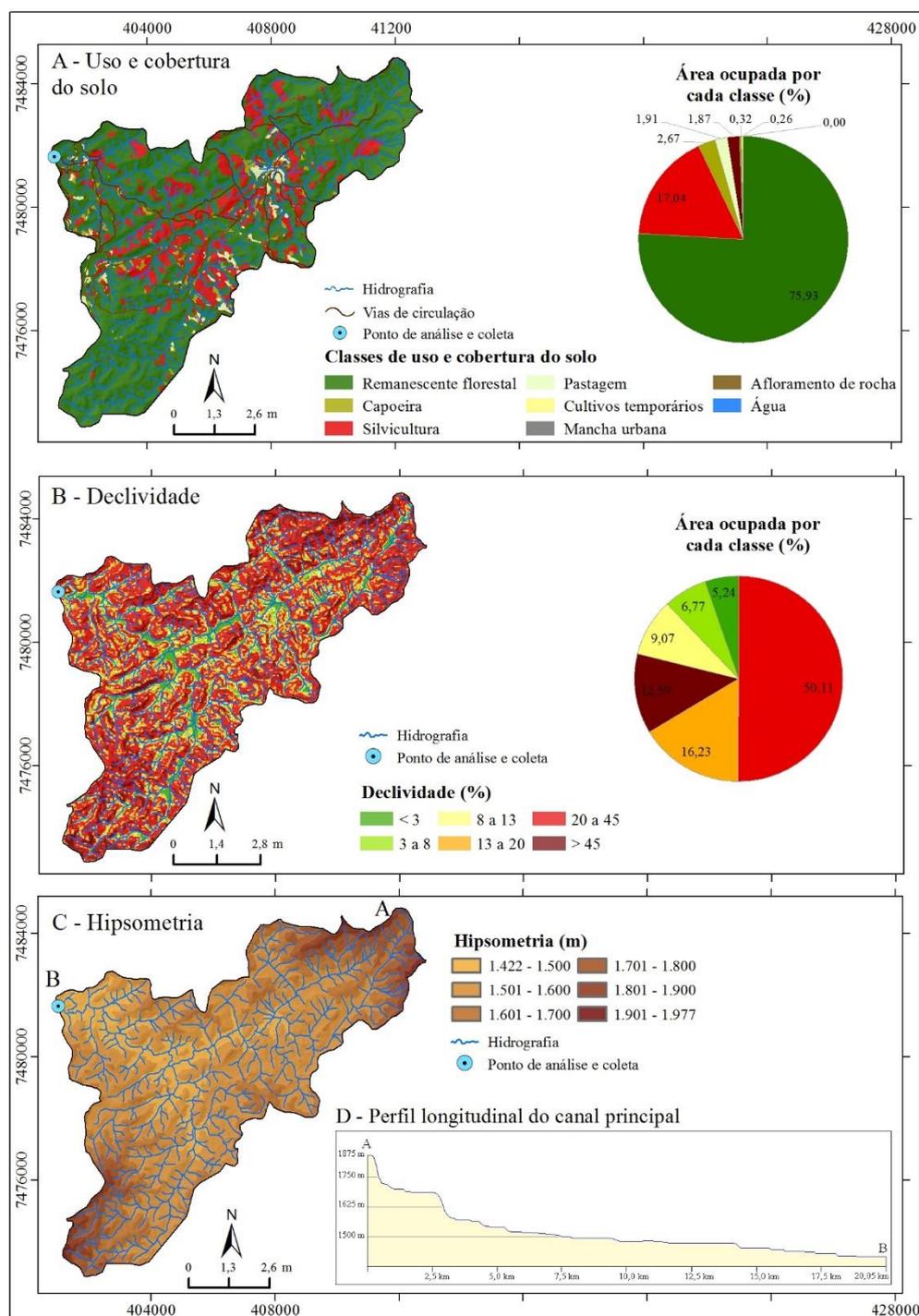


Figura 5.28 - Mapas de uso da terra e cobertura vegetal (A), declividade (B), hipsometria (C) e perfil longitudinal do canal principal da sub-bacia do rio Jaguarí (Sub-bacia 28).

5.2.3 Parâmetros e indicadores de qualidade das águas

Neste item são apresentados os valores médios (média das análises em triplicata) obtidos nas análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas superficiais dos canais principais das sub-bacias amostradas, para cada um dos períodos de amostragem (Inverno, Verão, Outono e Primavera). Os valores das triplicatas para cada um dos pontos podem ser consultados no Apêndice I.

Posteriormente, com o intuito de visualizar e analisar os padrões de concentração dos parâmetros de qualidade da água nas sub-bacias amostrais da Bacia PJ, os resultados dos PQA são discutidos um a um, fazendo uso da representação gráfica por símbolos proporcionais, gráficos de tendência e gráficos boxplot.

5.2.3.1 Inverno

As campanhas de amostragem para este período foram realizadas em 05 e 13 de agosto de 2015 e em 01 de setembro de 2015. Durante as duas primeiras campanhas de amostragem no período seco e nos cinco dias antecedentes às suas respectivas datas, não houve evento de precipitação nas sub-bacias, de acordo com os dados GPM (Figura 5.29). Para a campanha de amostragem do dia 01 de setembro de 2015 foram registrados volumes de precipitação acumulada para os 5 dias precedentes à campanha (Figura 5.29), não ocorrendo chuvas no dia de realização da mesma. Os valores médios de precipitação acumulada nas sub-bacias referentes aos pontos 4, 6 e 7 foram, respectivamente, 22,37 mm, 26,85 mm e 23,95 mm.

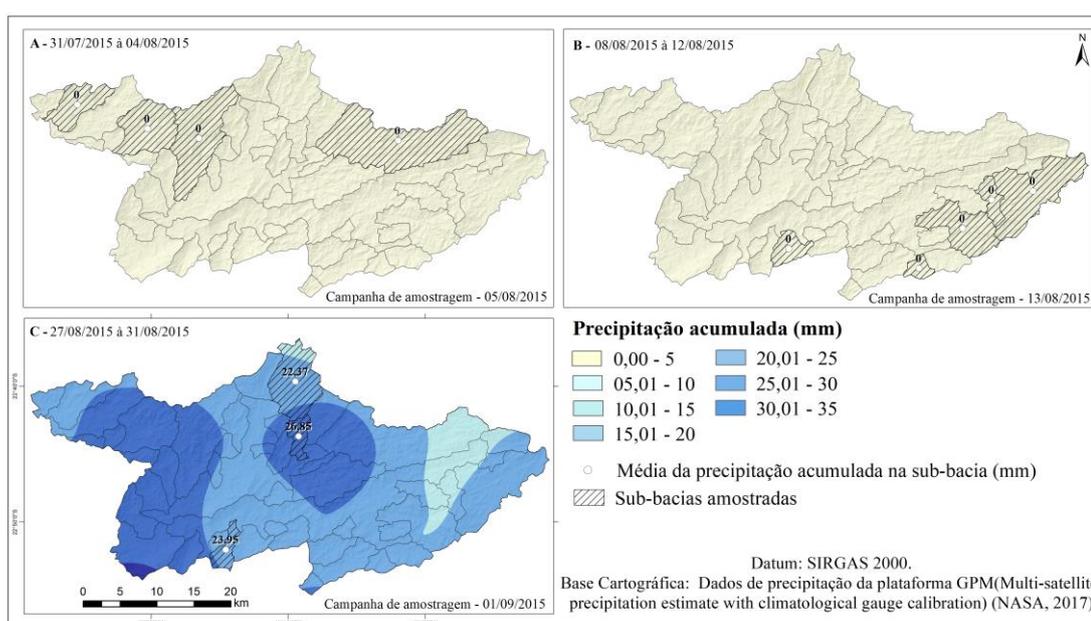


Figura 5.29 - Mapas de precipitação acumulada durante os cinco dias precedentes às campanhas de amostragem realizadas no período seco (Inverno).

Os resultados obtidos para este período indicam que todos os cursos d'água amostrados apresentam boas condições físico-químicas durante o Inverno, conforme os padrões de qualidade de água fixados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), para as classes I e II de águas doces (Tabela 5.12). Os parâmetros físico-químicos tiveram um índice de conformidade de 100%, ou seja, em todos os pontos de amostragem as concentrações ocorreram com valores compatíveis aos limites estabelecidos por essa Resolução.

Com relação às propriedades microbiológicas, a Resolução CONAMA nº 357, de 2005, prevê que a concentração de *E. coli* nas águas doces enquadradas nas classes I e II não deve exceder um limite de 200 NMP por 100 mL. Das doze sub-bacias amostradas, apenas os cursos d'água principais correspondentes aos pontos 1, 9, 10, 11 e 12 estão em conformidade com a Resolução. Na Tabela 5.12 são apresentados os valores médios de cada parâmetro para as sub-bacias amostradas.

Tabela 5.12 - Média dos valores dos parâmetros de qualidade de água no Inverno.

Ponto	Propriedades físicas					Propriedades químicas					Propriedades microbiológicas	
	Temp. (°C)	CE (µS/cm)	Resist. (Ω.cm)	Turbidez (UNT)	TSD (mg/L)	pH	OD (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Salinid. PSU	CT (NMP)	<i>E. coli</i> (NMP)
1	14,37	33	0,0303	8,97	16,67	7,15	6,81	0,27	1,5	0,02	1600	170
2	17,28	30	0,0333	12,93	14,67	7,08	7,34	0,28	1,13	0,02	1600	1600*
3	15,87	29,33	0,0341	8,33	14,67	7,4	7,07	0,26	0,74	0,02	1600	920*
4	18,25	52	0,0192	4,07	26	7,47	6,86	0,64	2,97	0,02	1600	920*
5	15	26,33	0,0380	23,13	13	7,27	6,77	0,3	0,79	0,02	1600	920*
6	17,01	44	0,0227	2,8	22	7,29	6,93	0,54	3,5	0,02	1600	350*
7	18,52	76	0,0132	3,37	38	7,67	7,32	0,7	10,87	0,03	1600	540*
8	14,24	37	0,0270	5,33	27,33	6,98	6,74	0,21	2,77	0,02	1600	1600*
9	11,63	9	0,1111	0,33	4	6,55	7,8	0,08	1,67	0	220	130
10	11,97	14	0,0714	1,83	7	6,96	7,86	0,12	1,47	0,01	350	79
11	11,44	13	0,0769	3,1	7	6,99	7,75	0,13	1,23	0,01	1600	46
12	11,69	12	0,0833	4,37	6	6,94	8,53	0,12	1,33	0,01	920	170

* valores em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357, de 2005

5.2.3.2 Verão

As campanhas de amostragem para este período foram realizadas nos dias 14, 16 e 18 de dezembro de 2015. Os cinco dias antecedentes à campanha de amostragem do dia 14 acumularam (valor médio da precipitação acumulada por sub-bacia) 10,42 mm na sub-bacia do Ponto 1; 14,61mm na sub-bacia do Ponto 2; 17,45mm na sub-bacia do Ponto 3 e, 18,56mm na sub-bacia do Ponto 4 (Figura 5.30). Para a campanha de amostragem do dia 16, os valores médios de precipitação acumulada nas sub-bacias referentes aos pontos 5, 6, 7 e 8 foram de 32,28mm, 21,37mm, 12,78mm e 14,16mm, respectivamente (Figura 5.30). Já o período de

cinco dias precedentes à campanha de amostragem do dia 18 registrou valores médios de precipitação acumulada de 51,42mm na sub-bacia do Ponto 09; 51,66mm na sub-bacia do Ponto 10, 48,32mm na sub-bacia do Ponto 11 e 42,86mm na sub-bacia do Ponto 12 (Figura 5.30).

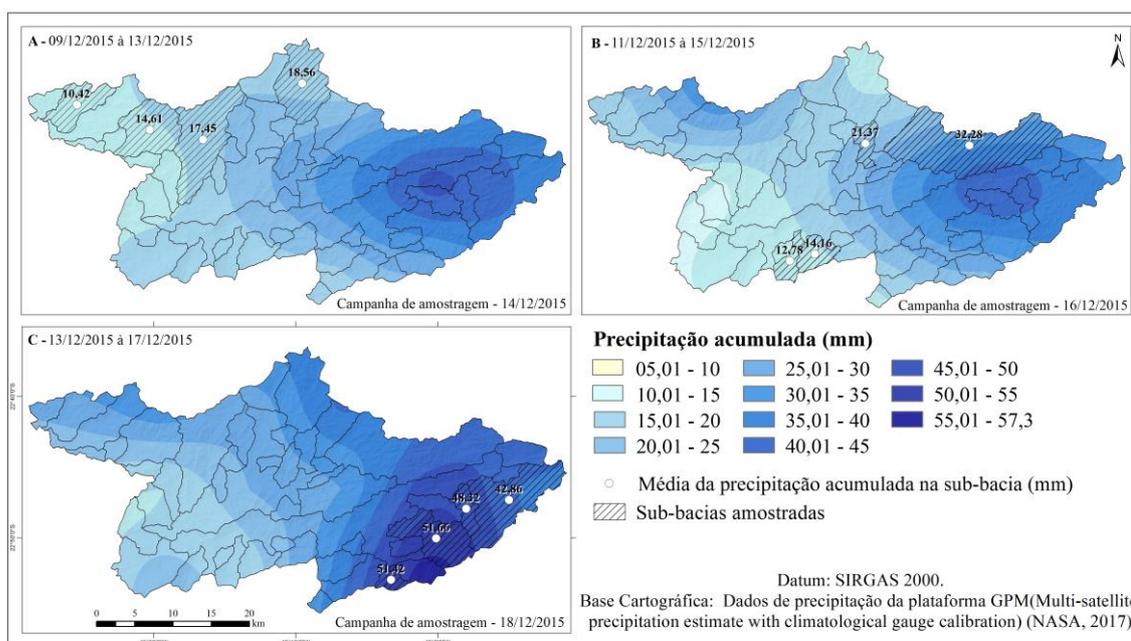


Figura 5.30 - Mapas de precipitação acumulada durante os cinco dias precedentes às campanhas de amostragem realizadas no período chuvoso (Verão).

Durante o Verão, quatro dos dozes cursos d'água amostrados apresentaram incorformidades para o parâmetro turbidez (Tabela 5.13), e os demais parâmetros físico-químicas apresentam boas condições, conforme os padrões de qualidade de água fixados pelo CONAMA, por meio da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, para as classes I e II de águas doces. Os parâmetros físico-químicos tiveram um índice de conformidade de 66,7%, ou seja, em quatro pontos de amostragem as concentrações ocorreram com valores incompatíveis aos limites estabelecidos por essa Resolução.

Com relação às propriedades microbiológicas, apenas dois cursos d'água (Pontos 9 e 11) apresentaram concentração de *E. coli* abaixo do limite estabelecido para as águas doces enquadradas nas classes I e II Resolução CONAMA nº 357, de 2005 (Tabela 5.13).

Tabela 5.13 - Média dos valores dos parâmetros de qualidade de água no Verão.

Ponto	Propriedades físicas					Propriedades químicas					Propriedades microbiológicas	
	Temp. (°C)	CE (μS/cm)	Resist. (Ω.cm)	Turbidez (UNT)	TSD (mg/L)	pH	OD (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Salinid. PSU	CT (NMP)	<i>E. coli</i> (NMP)
1	22,27	50	0,02	187,33*	25	6,88	7,31	0,78	3,9	0,02	> 1600	> 1600*
2	23,28	53	0,0189	109,33*	27	6,68	6,49	0,74	3,83	0,02	> 1600	> 1600*
3	21,01	46,67	0,0213	180*	23	6,98	7,74	0,6	2,9	0,02	> 1600	> 1600*
4	21,03	76	0,0132	34,83	38	6,99	7,53	0,7	3,03	0,03	> 1600	> 1600*
5	20,4	38	0,0263	159,67*	19	6,9	7,44	0,43	1,77	0,02	> 1600	> 1600*
6	21,84	66	0,0152	15	33	7,17	7,17	0,47	2,53	0,03	> 1600	540*
7	23	103,33	0,0097	19,3	52	7,46	5,6	0,49	9,93	0,05	> 1600	920*
8	23,52	83	0,0121	35,9	42	7,04	5,73	0,45	2,73	0,04	> 1600	> 1600*
9	16,39	10	0,1	2,8	5	6,27	7,8	0,21	< 0,6	0	1600	79
10	17,72	15	0,0667	10,1	8	6,7	7,32	0,26	< 0,6	0,01	> 1600	350*
11	18,27	16	0,0625	13,43	8	6,91	7,85	0,27	< 0,6	0,01	1600	79
12	18,92	14	0,071	74,47	7	6,75	7,95	0,2	< 0,6	0,01	> 1600	1600*

* valores em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357, de 2005

5.2.3.3 Outono

As campanhas de amostragem para este período foram realizadas nos dias 30 de março, e 01 e 04 de abril de 2016. Os cinco dias antecedentes à campanha de amostragem do dia 30 de março acumularam (valor médio da precipitação acumulada por sub-bacia) 49,9mm no Ponto 1, 33,06mm no Ponto 2, 31,87mm no Ponto 3 e 31,23mm no Ponto 4 (Figura 5.31). Para o período de cinco dias precedente à campanha de amostragem do dia 01, houve um acumulado de 14,81mm no Ponto 5, 13,42mm no Ponto 6, 10,10mm no Ponto 7 e 12,86mm no Ponto 8 (Figura 5.31).

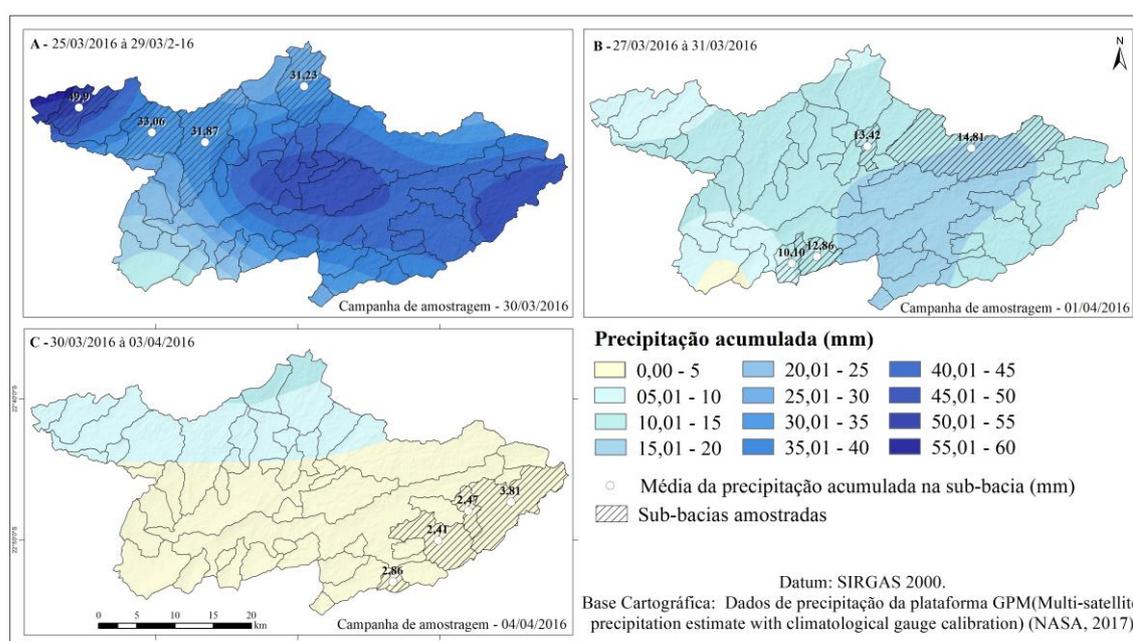


Figura 5.31 - Mapas de precipitação acumulada durante os cinco dias precedentes às campanhas de amostragem realizadas no período intermediário 1 (Outono).

Já o período de cinco dias anterior à campanha de amostragem do dia 04 de abriu apresentou baixos valores médios de precipitação acumulada, sendo registrado 2,86mm na sub-bacia do Ponto 9, 2,41mm na sub-bacia do Ponto 10, 2,47mm na sub-bacia do Ponto 11 e 3,81mm na sub-bacia do Ponto 12 (Figura 5.31). Não houve precipitações durante as campanhas de amostragem.

Durante o Outono (chuvoso para seco), três dos dozes cursos d'água amostrados apresentaram inconformidades para o parâmetro turbidez (Pontos 1, 3 e 5) e o curso d'água referente ao ponto 2 apresentou concentração de oxigênio dissolvido abaixo do estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357, de 2005. Os demais parâmetros físico-químicas apresentam boas condições, conforme os padrões de qualidade de água fixados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, para as classes I e II de águas doces. Os parâmetros físico-químicos tiveram um índice de conformidade de 66,7%, ou seja, em quatro pontos de amostragem as concentrações ocorreram com valores incompatíveis aos limites estabelecidos por essa Resolução.

Com relação às propriedades microbiológicas, apenas o curso d'água do Ponto 9 apresentou concentração de *E. coli* em conformidade com o limite de concentração estabelecido para águas doces enquadrados nas classes I e II Resolução CONAMA nº 357, de 2005 (Tabela 5.14).

Tabela 5.14 - Média dos valores dos parâmetros de qualidade de água no Outono.

Ponto	Propriedades físicas					Propriedades químicas					Propriedades microbiológicas	
	Temp. (°C)	CE (µS/cm)	Resist. (Ω.cm)	Turbidez (UNT)	TSD (mg/L)	pH	OD (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Salinid. PSU	CT (NMP)	<i>E. coli</i> (NMP)
1	21,50	35,00	0,0286	119,33*	18	7,11	5,39	-	-	0,02	1600	280*
2	22,04	35,00	0,0286	93,40	17	7,10	4,77*	-	-	0,01	1601	> 1600*
3	19,95	29,00	0,0349	123,33*	14	7,68	5,91	-	-	0,01	540	540*
4	20,29	44,00	0,0227	52,03	22	6,99	6,26	-	-	0,02	1601	> 1600*
5	18,50	28,33	0,0357	151,00*	14	6,42	6,78	-	-	0,01	1601	540*
6	19,95	46,33	0,0216	27,47	23	6,68	6,59	-	-	0,02	1601	> 1600*
7	21,74	68,67	0,0147	16,80	34	7,23	6,68	-	-	0,03	1601	> 1600*
8	22,37	56,00	0,0180	30,57	28	6,97	6,30	-	-	0,02	1601	> 1600*
9	16,20	9,00	0,1110	3,73	4	6,01	6,82	-	-	0,00	920	70
10	16,91	16,00	0,0625	10,03	8	6,51	7,45	-	-	0,01	1601	240*
11	17,25	14,67	0,0667	11,40	7	6,92	7,06	-	-	0,01	1601	240*
12	17,06	13,00	0,0770	13,37	6	6,84	6,98	-	-	0,00	920	350*

* valores em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357, de 2005.

5.2.3.4 Primavera

As campanhas de amostragem para este período foram realizadas nos dias 05 e 07 de outubro de 2016. Durante os cinco dias precedentes à campanha de amostragem do dia 05 de março os valores médios de precipitação acumulada nas sub-bacias referentes aos pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 foram de 12,01mm, 13,92mm, 14,58mm, 11,94, 16,42 e 14,58, respectivamente, enquanto que, para a campanha de amostragem do dia 07, os valores médios de precipitação acumulada nas sub-bacias referentes aos pontos 7, 8, 9, 10, 11 e 12 foram de 27,07mm, 26,47mm, 25,71mm, 20,01mm, 20,46mm e 21,33mm, respectivamente (Figura 5.32).

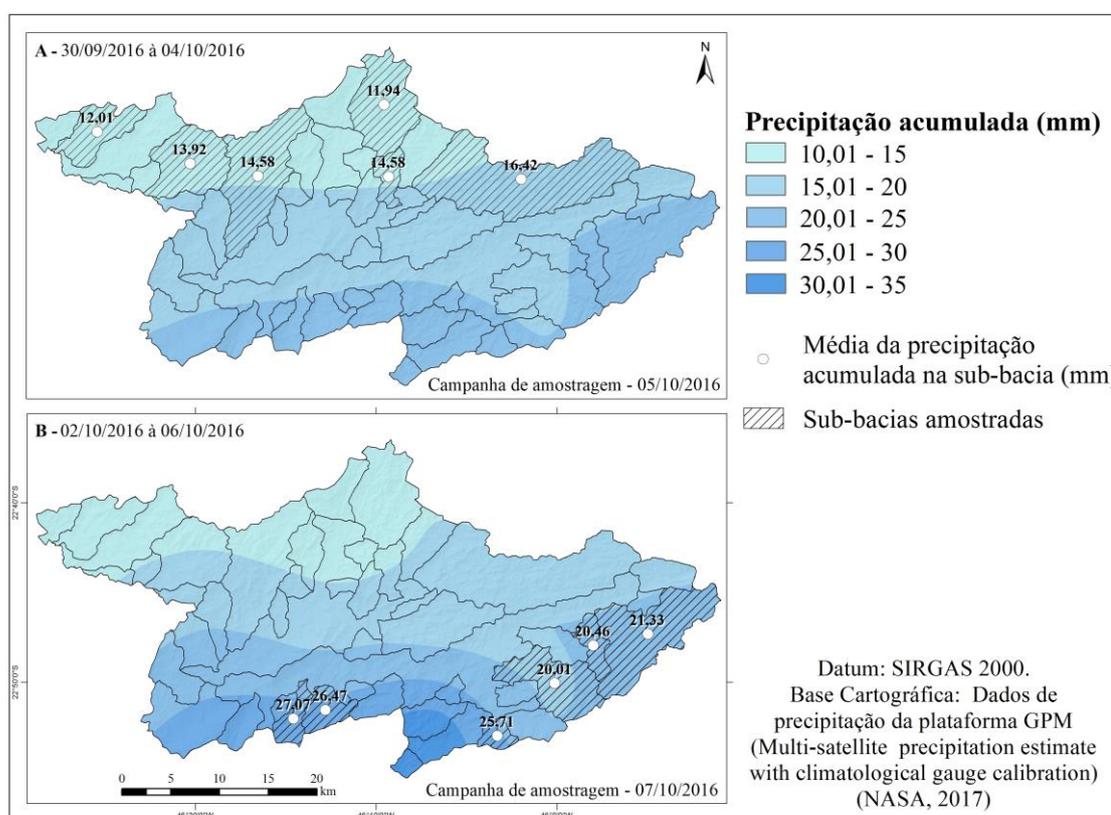


Figura 5.32 - Mapas de precipitação acumulada durante os cinco dias precedentes às campanhas de amostragem realizadas no período intermediário 2 (Primavera).

Os resultados obtidos para este período indicam que todos os cursos d'água amostrados apresentam boas condições físico-químicas durante a Primavera, conforme os padrões de qualidade de água fixados Resolução CONAMA n° 357, de 2005, para as classes I e II de águas doces. Os parâmetros físico-químicos tiveram um índice de conformidade de 100% (Tabela 5.15). Com relação às propriedades microbiológicas, apenas quatro sub-bacias apresentaram valores de *E. coli* em conformidade com a resolução supracitada, conforme dados apresentados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Média dos valores dos parâmetros de qualidade de água na Primavera.

Ponto	Propriedades físicas					Propriedades químicas					Propriedades microbiológicas	
	Temp. (°C)	CE (µS/cm)	Resist. (Ω.cm)	Turbidez (UNT)	TSD (mg/L)	pH	OD (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Salinid. PSU	CT (NMP)	<i>E. coli</i> (NMP)
1	18,68	42,33	0,0235	24,07	21,33	7,06	5,68	0,50	-	0,02	1600	920*
2	20,21	38,00	0,0263	35,00	19,00	7,06	5,68	0,48	-	0,02	1600	1600*
3	18,98	35,00	0,0286	28,60	17,33	7,35	5,87	0,45	-	0,02	1600	1600*
4	18,58	59,00	0,0170	13,03	29,33	6,85	6,29	0,53	-	0,03	540	540*
5	16,67	33,00	0,0303	66,87	16,33	6,53	5,69	0,45	-	0,01	1600	1600*
6	17,92	51,00	0,0196	5,90	25,00	6,68	6,54	0,51	-	0,02	1600	110
7	16,55	62,00	0,0161	11,97	31,00	6,53	5,89	0,64	-	0,03	1600	920*
8	17,17	50,00	0,0200	19,13	25,00	6,80	6,51	0,51	-	0,02	1600	1600*
9	13,02	8,00	0,1297	1,97	4,33	6,91	7,13	0,24	-	0,00	220	33
10	14,27	15,00	0,0667	2,57	8,00	6,12	7,58	0,27	-	0,01	79	79,00
11	14,47	13,00	0,0770	8,07	6,33	6,38	7,52	0,27	-	0,00	1600	79,00
12	14,44	11,33	0,0857	13,37	5,67	6,46	7,29	0,25	-	0,00	1600	170,00*

* valores em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357, de 2005.

5.2.3.5 Média anual

A partir dos valores das triplicatas, aferidos para cada um dos parâmetros de qualidade de água durante os quatro períodos sazonais, foram calculadas as médias de concentração anual, com o objetivo de analisar se a concentração dos parâmetros segue um padrão na Bacia PJ. Para o cálculo da concentração média anual de cloreto foram utilizados apenas os dados referentes aos períodos seco e chuvoso, uma vez que o Sensor ISE de Cloreto já não mais calibrava nos períodos intermediários I e II. Já para o cálculo da concentração média de Nitrato, foram utilizados os dados obtidos durante o Inverno, Verão e Primavera, uma vez que o sensor de ISE Nitrato estava em assistência técnica durante a campanha de amostragem realizada no Outono. Na Tabela 5.16 são apresentados os valores médios anuais.

Tabela 5.16 - Média anual dos valores dos parâmetros de qualidade das águas das sub-bacias da Bacia PJ.

Ponto	Propriedades físicas					Propriedades químicas					Propriedades microbiológicas	
	Temp. (°C)	CE (µS/cm)	Resist. (Ω.cm)	Turbidez (UNT)	TSD (mg/L)	pH	OD (mg/L)	Nitrato* (mg/L)	Cloreto** (mg/L)	Salinid. PSU	CT (NMP)	<i>E. coli</i> (NMP)
1	19,21	40,08	0,0256	84,93	20,25	7,05	6,30	0,52	3,87	0,02	1600,00	742,50
2	20,71	39,00	0,0268	62,67	19,50	6,98	6,07	0,50	3,72	0,02	1600,00	1600,00
3	18,95	35,00	0,0296	85,07	17,25	7,35	6,65	0,44	2,67	0,02	1335,00	1165,00
4	19,54	57,75	0,0180	25,99	28,83	7,08	6,74	0,62	3,00	0,03	1335,00	1165,00
5	17,65	31,42	0,0325	100,17	15,58	6,78	6,67	0,40	2,22	0,02	1600,00	1165,00
6	19,18	51,83	0,0198	12,89	25,75	6,95	6,81	0,51	3,02	0,02	1600,00	650,00
7	19,95	77,50	0,0134	12,86	38,83	7,22	6,37	0,61	10,40	0,04	1600,00	995,00
8	19,33	61,50	0,0169	22,73	30,50	6,95	6,32	0,39	2,75	0,03	1600,00	1600,00
9	14,31	9,00	0,1130	2,21	4,42	6,46	7,39	0,18	1,13	0,00	740,00	78,00
10	15,22	15,00	0,0665	6,13	7,75	6,57	7,55	0,22	1,03	0,01	907,25	187,00
11	15,36	14,17	0,0712	9,00	7,08	6,80	7,55	0,22	0,92	0,01	1600,00	111,00
12	15,49	12,58	0,0800	26,39	6,17	6,75	7,69	0,19	0,97	0,01	1260,00	572,50

* média gerada a partir dos dados referentes aos períodos seco, chuvoso e intermediário II

** média gerada a partir dos dados referentes aos períodos seco e chuvoso

No Quadro 5.13 é apresentada a matriz de correlação ($p < 0,05$) entre os parâmetros de qualidade das águas para a média anual.

Quadro 5.13 - Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água referente à média anual.

pH											
0,82	Temp.										
0,42	0,41	Turb.									
-0,68	-0,93	-0,52	OD								
0,79	0,92	0,32	-0,82	NO³							
0,62	0,64	0,02	-0,61	0,72	Cl⁻						
0,72	0,85	0,04	-0,76	0,88	0,80	TSD					
0,72	0,85	0,05	-0,76	0,88	0,80	1,00	CE				
-0,80	-0,93	-0,40	0,83	-0,89	-0,60	-0,87	-0,87	Resist.			
0,77	0,87	0,13	-0,76	0,90	0,81	0,98	0,98	-0,92	Salin.		
0,62	0,70	0,40	-0,63	0,59	0,44	0,59	0,59	-0,76	0,63	CT	
0,63	0,84	0,51	-0,84	0,66	0,38	0,66	0,67	-0,78	0,65	0,58	E. coli

5.2.4 Análise por parâmetro de qualidade da água

5.2.4.1 - Propriedades físicas

5.2.4.1.1 - Temperatura

Tanto no período seco quanto no chuvoso, as sub-bacias localizadas na porção leste/sudeste apresentaram os menores valores para temperatura. De modo geral, durante o período seco a temperatura das águas superficiais apresentou tendência de aumento da porção leste para a porção central, com leve queda da porção central para a porção oeste (Figura 5.33). Tal padrão apresenta uma correlação negativa com a variação altimétrica da Bacia PJ ($r = -0,86$), sendo mais elevada nas áreas de menor altitude. Durante o período chuvoso, a temperatura das águas das sub-bacias analisadas tende a aumentar de leste para oeste, com padrão semelhante ao da média anual (Figuras 5.33 e 5.36). Este padrão de variação da temperatura também apresenta correlação negativa com ocorrência de mata ciliar ($r = -0,96$), de modo que sub-bacias com maior supressão da vegetação ripária apresentam temperatura da água superficial mais elevada (Figura 5.35).

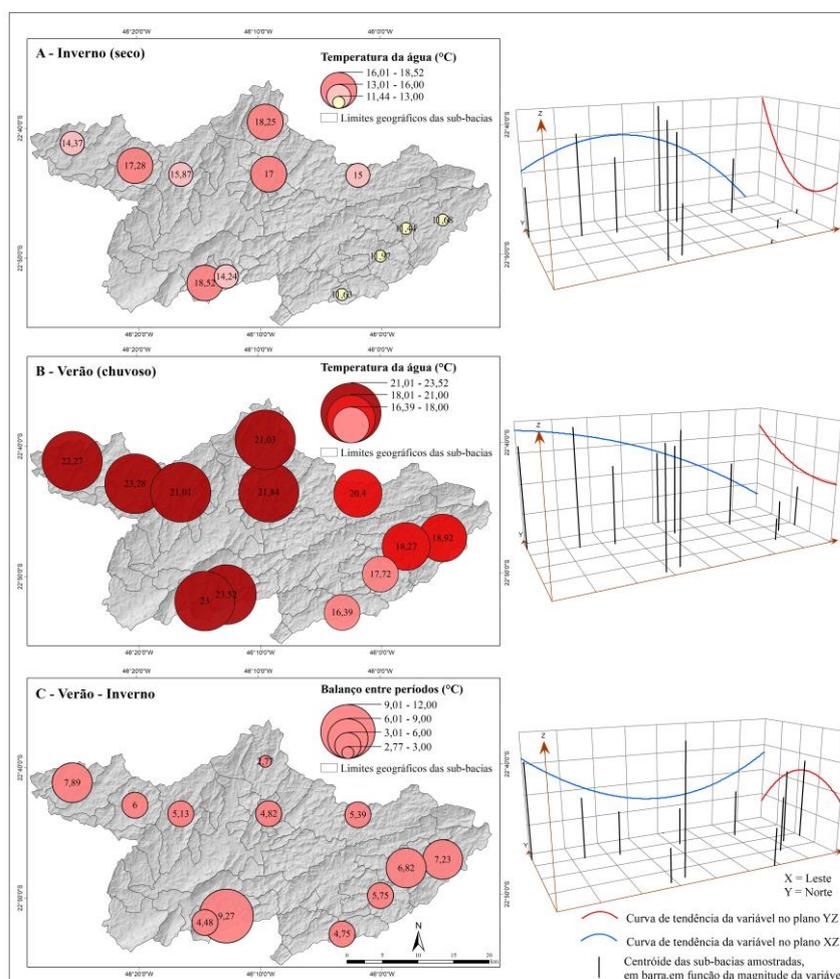


Figura 5.33 - Mapa da temperatura da água superficial do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.

A variação da temperatura do período seco para o chuvoso foi menor nas sub-bacias da porção central (Pontos 4, 5 e 6), conforme Gráfico de tendência da Figura 5.33 e o Gráfico boxplot (Figura 5.34). O fato destas sub-bacias não apresentarem mata ciliar em mais de 50% das suas áreas de preservação permanente (APP) contribui para uma maior insolação de seus cursos d'água, em todos os períodos sazonais, caracterizando menor amplitude da temperatura durante do ano.

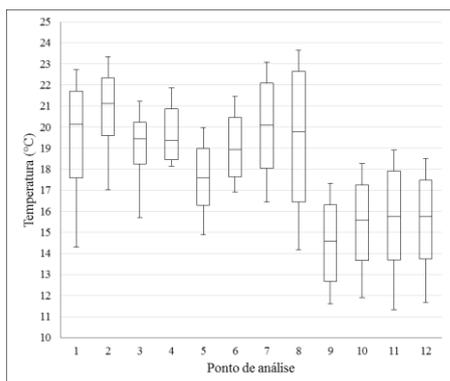


Figura 5.34 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade dos valores* da temperatura das águas em cada sub-bacia. * 4 períodos sazonais.



Figura 5.35 - Curso d'água referente ao ponto 2, desprovido de APP e altitude de 1078 m (20,21°C) (A); Curso d'água referente ao ponto 9, com APP e altitude de 1527 m (13,02°C) (B). Período intermediário II, outubro de 2016.

Já a amplitude da temperatura entre as sub-bacias amostradas apresentam variação semelhante em todos períodos de análise. Durante o período seco, o ponto 7 foi o que apresentou temperatura mais elevada (18,52°C) e o ponto 11 a menor (11,44°C), com uma amplitude de 7,08°C. Da mesma forma, no período chuvoso, foi registrada a maior temperatura no ponto 8 (23,52) e a menor no ponto 9 (16,39°C), com valor de amplitude da temperatura entre estes dois pontos de 7,02°C. Este mesmo padrão é observado nos demais períodos de análise e também para a média anual.

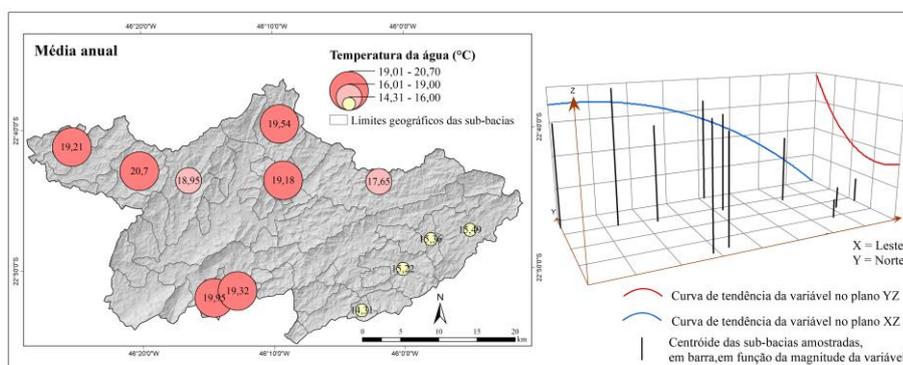


Figura 5.36 - Mapa da temperatura média anual da água superficial do canal principal das sub-bacias amostradas; e gráfico de tendência.

5.2.4.1.2 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água está relacionada com a presença de sólidos totais dissolvidos, sendo assim um indicador de lançamento de efluentes ou poluição difusa (LIBÂNIO, 2010). Na Bacia PJ, as sub-bacias localizadas na porção central foram as que apresentaram maiores valores de condutividade elétrica nos quatro períodos de análise (Figuras 5.37, 5.38 e 5.39). Estas sub-bacias estão localizadas próximas ao eixo da BR-381, que concentra núcleos urbanos e bairros rurais, além de extensas áreas de pastagem e cultivos agrícolas. Enquanto estas sub-bacias apresentaram diferenças significativas nos valores de condutividade entre os períodos seco e chuvoso, as sub-bacias da porção sudeste tiveram seus valores quase que constantes (Figuras 5.37 e 5.38). Tal constatação deve-se ao fato destas apresentarem mais de 70% de seus territórios cobertos por vegetação nativa, dificultando o transporte de sedimentos para os rios.

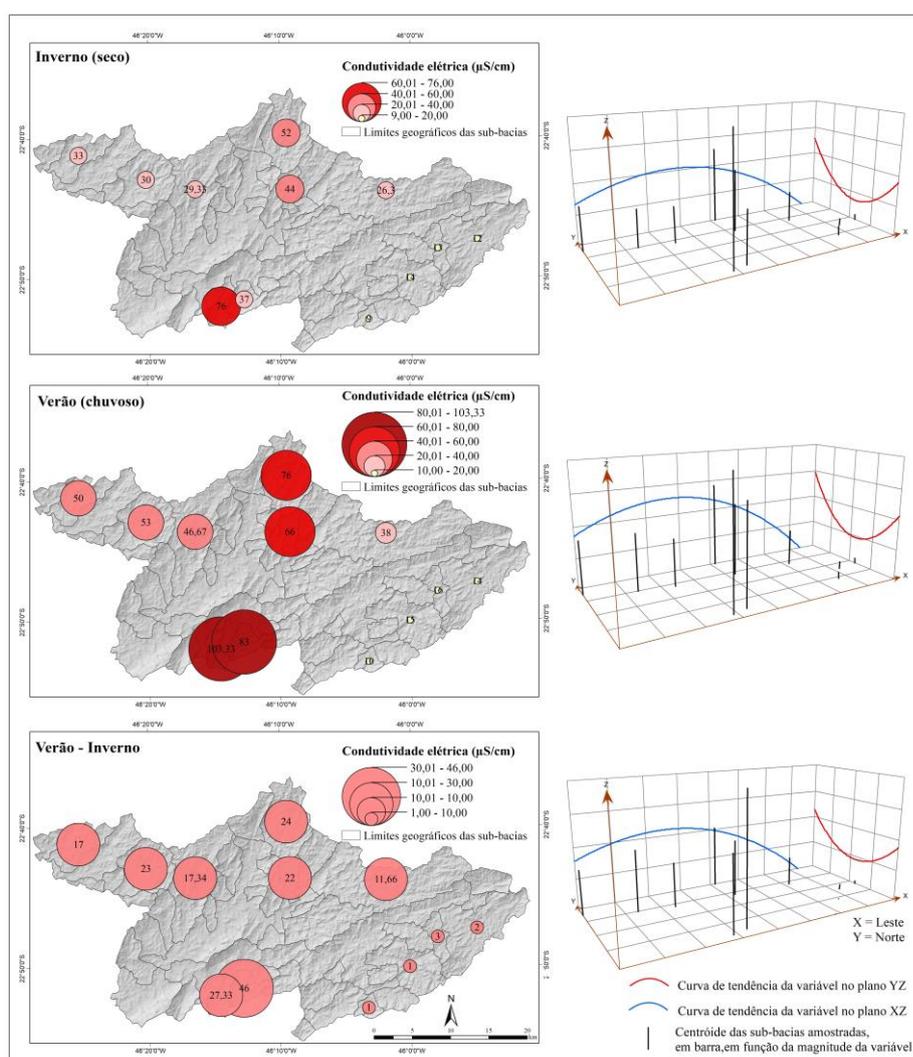


Figura 5.37 - Mapa da CE da água superficial do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.

A análise conjunta do gráfico boxplot (Figura 5.38) com os mapas da Figura 5.37, evidencia a elevada variação dos valores da CE nas sub-bacias da porção central durante os períodos sazonais. O aumento da precipitação no Verão aumenta significativamente o escoamento superficial para os rios. Quando estes estão desprovidos de mata ciliar ou quando extensas áreas da sub-bacia apresentam solos desnudos, a quantidade de substâncias dissolvidas carregadas para o corpo hídrico tende a ser elevada, aumentando proporcionalmente a CE destes cursos d'água.

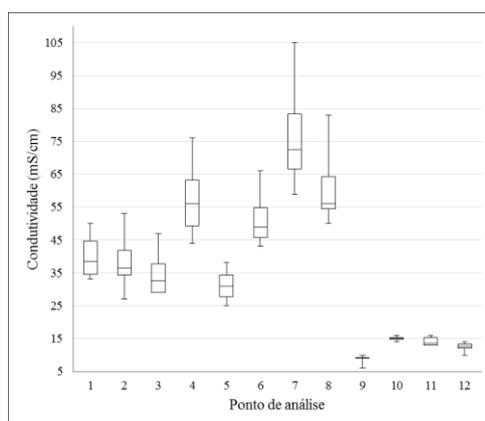


Figura 5.38 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade da CE das águas das sub-bacia amostradas.

Todavia, sub-bacias com grande porcentagem de área coberta por remanescentes florestais tendem a sofrer menor efeito da precipitação na qualidade de suas águas, uma vez que a vegetação intercepta parte da água precipitada, além de facilitar o processo de infiltração, tal como pode ser observado nas Figuras 5.37, 5.38 e 5.39, que expõe a baixa variação da CE nos pontos 9, 10, 11 e 12, durante os períodos analisados. Estes fatos são corroborados pela correlação negativa entre CE e mata ($r = -0,88$) e as correlações positivas entre CE e áreas urbanas ($r = 0,7$) e CE e pastagem ($r = 0,93$).

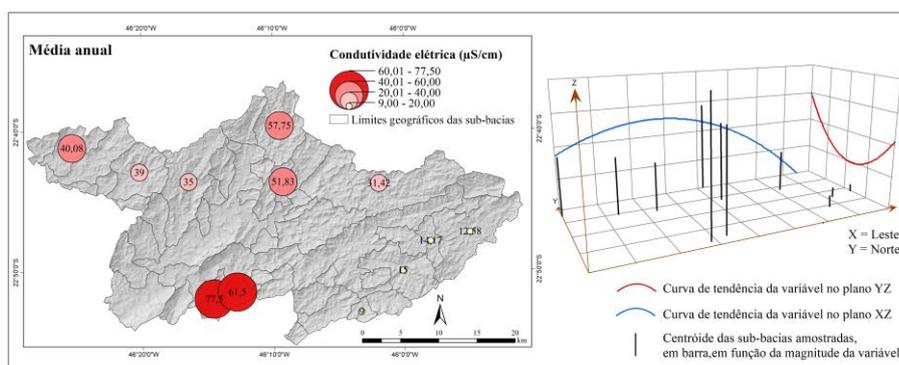


Figura 5.39 - Mapa da condutividade elétrica média anual da água superficial do canal principal das sub-bacias amostradas; e gráfico de tendência.

5.2.4.1.3 Turbidez

A turbidez foi a propriedade da água que apresentou maior amplitude de valores entre os períodos analisados, tendo aumentado em até dez vezes o seu valor no período chuvoso em relação ao período seco (Figuras 5.40 e 5.41). Na Bacia PJ a turbidez está relacionada principalmente com o tipo de uso da terra desenvolvido nas sub-bacias e com a área das mesmas. Durante o período seco apresentou valores abaixo de 25 UNT em todas sub-bacias, ficando abaixo de 5 UNT nas sub-bacias da porção sudeste, mesmo na sub-bacia referente ao ponto 12, que ocupa uma área de 66,3km². De modo geral, durante o período seco a área das sub-bacias foi a variável que apresentou maior correlação com a turbidez ($r = 0,75$). Com o aumento das precipitações no período chuvoso e consequente aumento do escoamento superficial com carreamento de partículas, a turbidez passou a ter maior influência dos cultivos agrícolas, os quais apresentou uma correlação de $r = 0,67$ com a turbidez no período chuvoso. Já a variável *área* teve sua influência diminuída, apresentando uma correlação de $r = 0,63$.

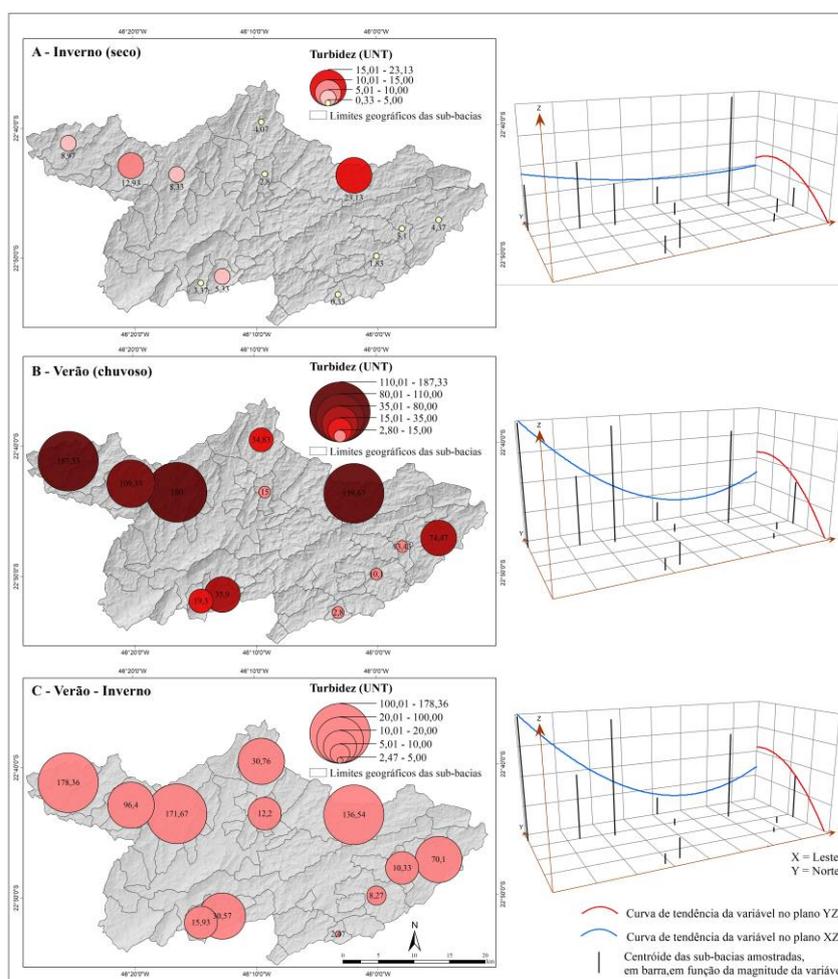


Figura 5.40 - Mapa da turbidez das águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos; e gráficos de tendência da variável por período.

A Figura 5.42 apresenta o canal principal das sub-bacias referentes aos Pontos 2 e 10, as quais apresentam área em extensão territorial semelhante, porém, uso da terra e cobertura vegetal distintos. A sub-bacia do Ponto 2 ocupa uma área de 42,4 km², da qual 14,73 % é ocupado por culturas temporárias e 23,92% por remanescentes florestais, e apresentou turbidez de 187 UNT no período chuvoso. Já a sub-bacia do Ponto 10 ocupa área de 41,95 km², sendo 1,04 % correspondente à cultura temporária e 79,15 % coberto por remanescentes florestais, com turbidez de 10,1 UNT no período chuvoso.

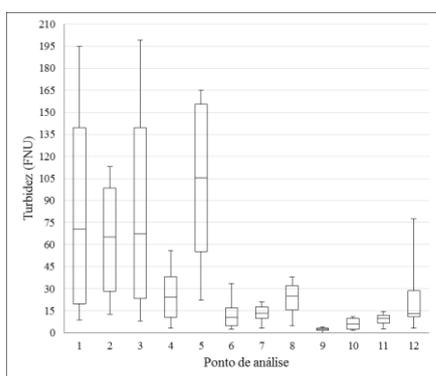


Figura 5.41 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade dos valores* da temperatura das águas em cada sub-bacia. * 4 períodos sazonais.



Figura 5.42 - Curso d'água referente aos Pontos 2 (A) e 10 (B).

O mapa de valor médio anual de turbidez e o gráfico de tendência indicam que o valor turbidez tende a ser maior nas sub-bacias das porções nordeste e noroeste (Figura 5.43), ultrapassando 100 UNT na sub-bacia do Ponto 5, decorrente da sua extensa área. As sub-bacias da porção noroeste apresentam turbidez entre 60 e 80 UNT, em razão das áreas de culturas temporárias.

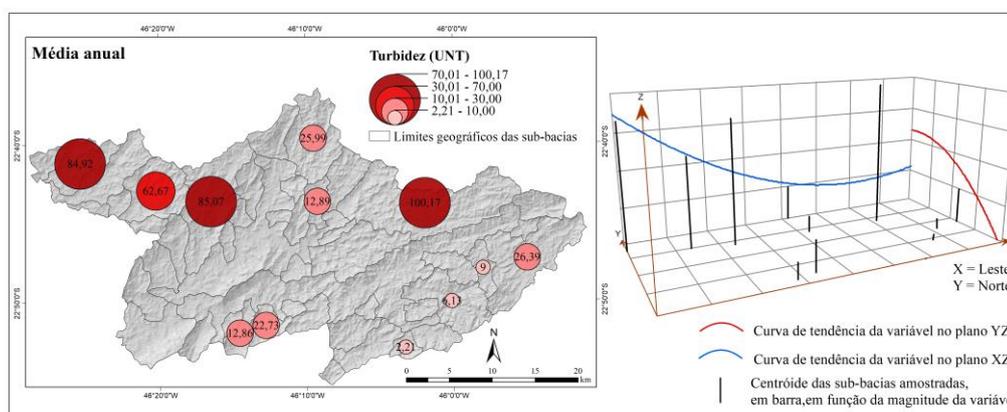


Figura 5.43 - Mapa da turbidez média anual das águas do canal principal das sub-bacias amostradas; e gráfico de tendência.

5.2.4.1.4 Total de Sólidos Dissolvidos (TSD)

Conforme Libânio (2010), TSD representa as substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, geralmente K^+ , Cl^- , Na^+ , Ca^{+2} , entre outros. O TSD por ser estimado a partir do valor de CE multiplicado por um fator de conversão, é por consequência diretamente proporcional a este. Diante disso, o padrão de concentração de TSD nas sub-bacias da Bacia PJ é semelhante ao padrão da CE. Em ambas estações, Inverno e Verão, as sub-bacias da porção sudeste apresentaram baixos valores de TSD, com aumento de apenas 1mg/L no período chuvoso (Figura 5.44). Tendo um uso da terra mais voltado à agropecuária e por concentrar núcleos urbanos e sedes rurais, as sub-bacias da porção central e leste da Bacia PJ apresentaram um aumento de aproximadamente 10 mg/L de TSD do período seco para o chuvoso (Figura 5.44), sendo um indicador do acréscimo de substâncias orgânicas e inorgânicas durante este período.

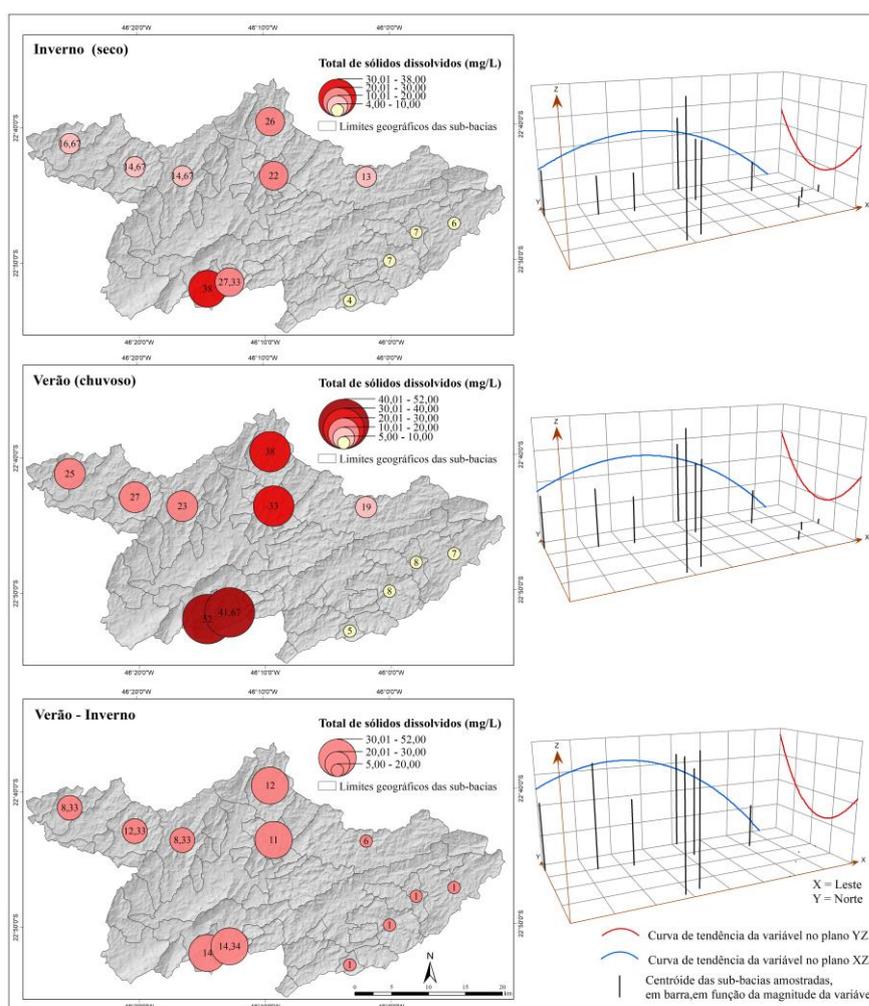


Figura 5.44 - Mapa de TSD nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.

O Gráfico apresentado na Figura 5.45 evidencia ainda mais a variabilidade da concentração de TSD nas sub-bacias da Bacia PJ durante os quatro períodos amostrais. Nota-se que as sub-bacias da porção central (pontos 4, 6, 7 e 8) apresentam alta variabilidade, enquanto que as sub-bacias referentes aos pontos 9, 10, 11 e 12 mantêm seus valores quase que constantes.

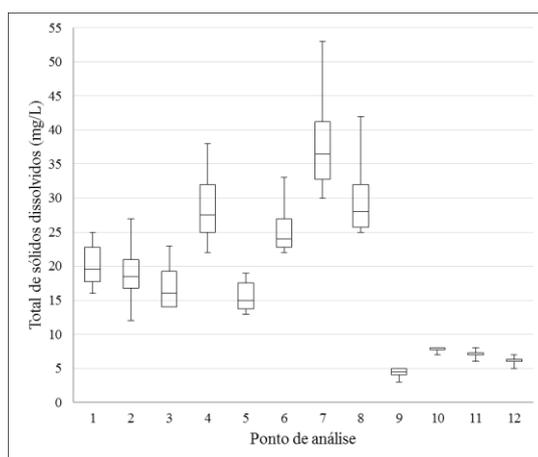


Figura 5.45 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade* de TSD nas águas das sub-bacia amostradas nos quatro períodos. * 4 períodos sazonais.

Durante os períodos intermediários I e II as concentrações de TSD ficaram entre os valores medidos nos períodos seco e chuvoso, de modo que a concentração média anual de TSD apresenta valores próximos aos dos períodos intermediários. Salienta-se que, durante os quatro períodos de análise os valores aferidos de TSD nas sub-bacias amostrais foram inferiores ao limite estabelecido pela Resolução nº 357/05 do CONAMA para águas doces, que é de 500 mg/L (Figura 5.46).

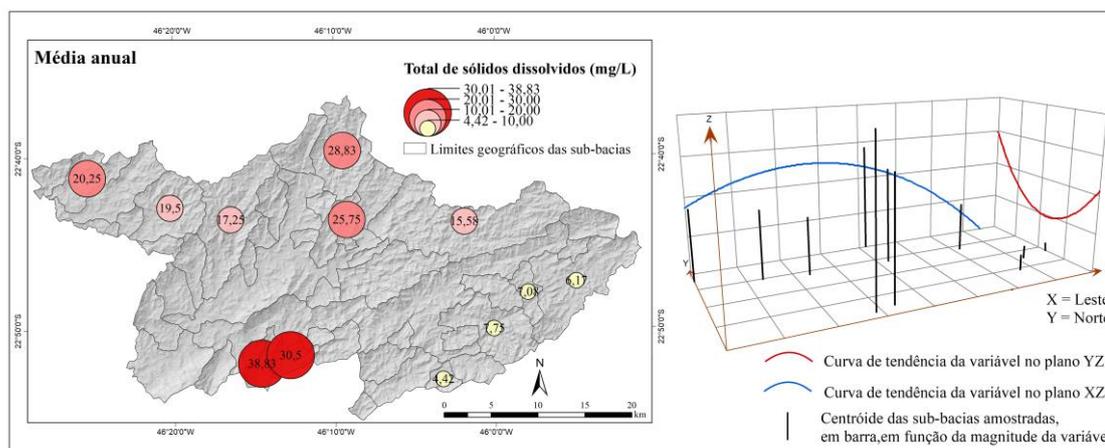


Figura 5.46 - Mapa da concentração média anual de TSD das águas do canal principal das sub-bacias amostradas; e gráfico de tendência.

5.2.4.2 Propriedades químicas

5.2.4.2.1 pH

O pH das águas das sub-bacias apresentou valores ligeiramente mais ácidos no período chuvoso. Tal comportamento é um indicativo da inter-relação do valor de pH com a quantidade de precipitação, tornando as águas das sub-bacias mais ácidas e oxidantes no período chuvoso, e mais básicas e redutoras no período de estiagem (YOSHINAGA, 1990). Também pode estar relacionado com o embasamento litológico da Bacia PJ, principalmente no período de estiagem, Inverno e, durante o Outono e Primavera. Nestes períodos, os menores valores de pH foram observados nas sub-bacias da porção sudeste, que têm como base litológica o Granito Gonçalves, que tende a ser ácido devido à grande presença de quartzo. No período seco os valores de pH variaram de 6,54 a 7,67 e no período chuvoso variaram de 6,27 a 7,46 (Figuras 5.47), dentro do intervalo de 6,0 a 8,5, adequado à manutenção da vida aquática (LIBÂNIO, 2010).

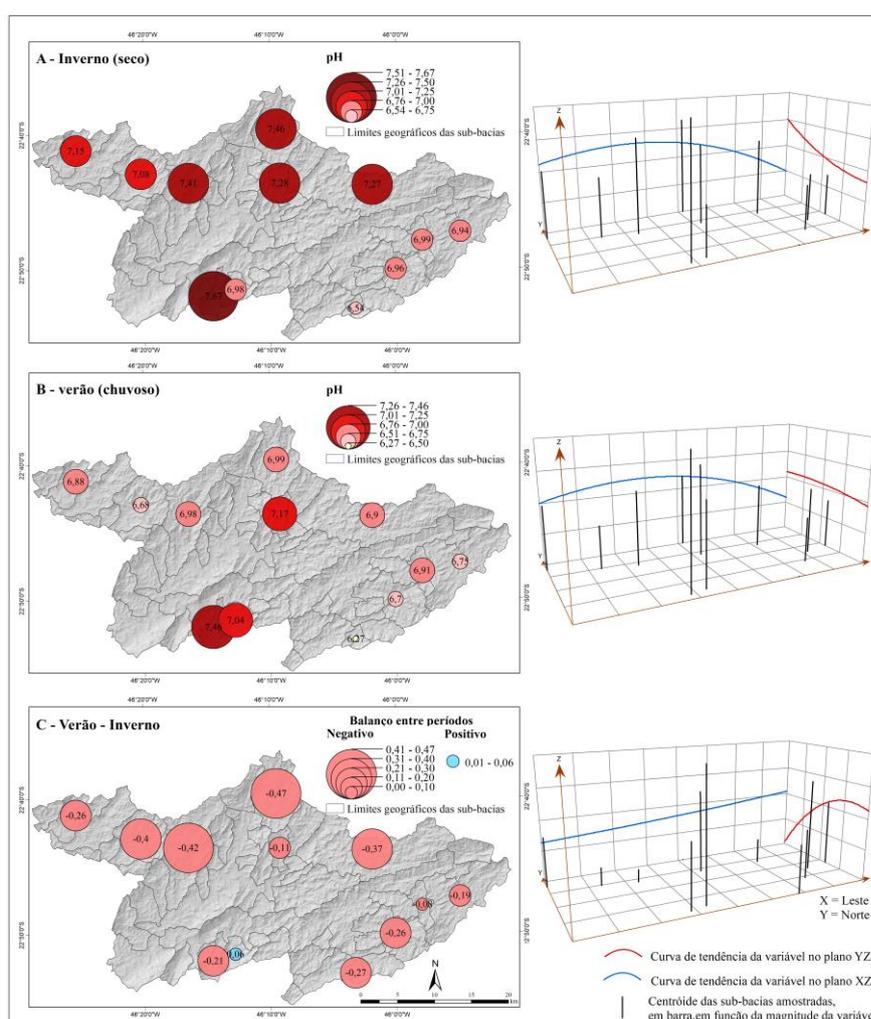


Figura 5.47 - Mapa do pH das águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.

O pH das águas superficiais das sub-bacias amostradas apresentou valores menores, tanto no período chuvoso quanto no seco, nas sub-bacias da porção sudeste da Bacia PJ, com tendência de aumento para as sub-bacias da porção central, com pequena queda da porção central para as sub-bacias da porção oeste, tal como pode ser observado nos gráficos de tendência da Figura 5.47 e no gráfico da Figura 5.48.

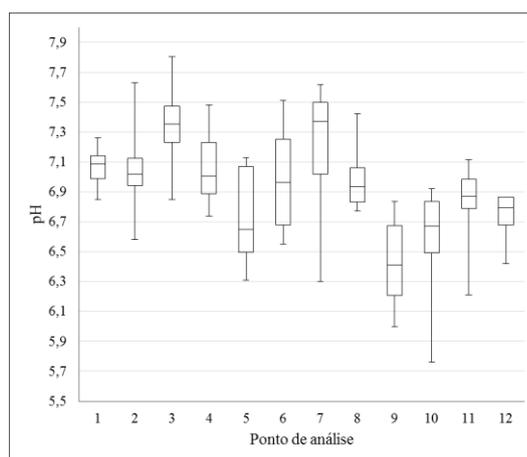


Figura 5.48 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade de pH* das águas das sub-bacia amostradas nos quatro períodos. * 4 períodos sazonais.

Durante a Primavera, seco para chuvoso, a sub-bacia 10 apresentou pH abaixo de 6 em duas das três análises, com valores 5,8 e 5,7 (Apêndice I). Na média anual o pH das águas apresentou valores próximos da neutralidade, tendendo a ser mais ácidos nas sub-bacias da porção sudeste, mais básicos nas sub-bacias das porções centro-oeste e mais neutros nas sub-bacias da porção oeste e centro-leste (Figuras 5.48 e 5.49).

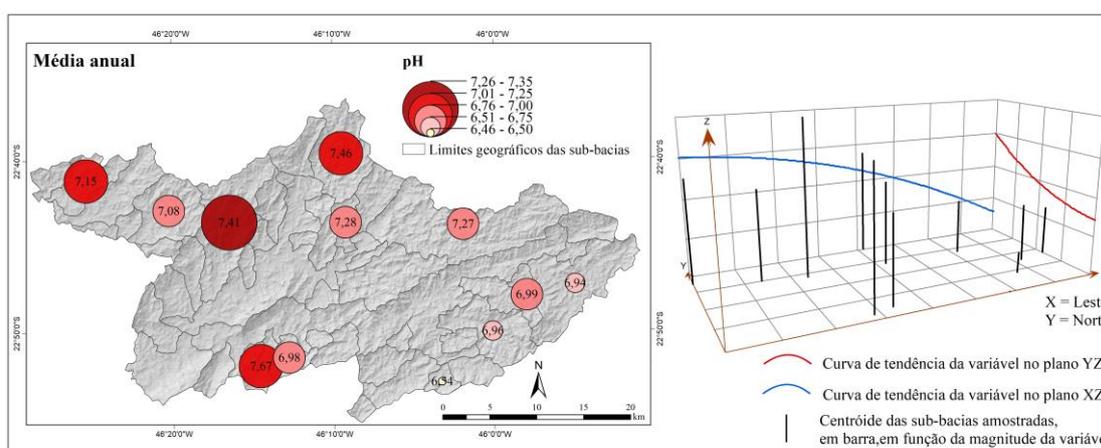


Figura 5.49 - Mapa do pH médio anual das águas do canal principal das sub-bacias amostradas e gráfico de tendência.

5.2.4.2.2 Oxigênio dissolvido

As maiores concentrações de Oxigênio Dissolvido durante o Inverno foram observadas nas sub-bacias de maior altitude, que correspondem às localizadas na porção sudeste. Já nas amostragens realizadas no Verão, a concentração de Oxigênio Dissolvido foi mais homogênea entre as sub-bacias, sendo que as sub-bacias referentes aos pontos 7 e 8 apresentaram valores abaixo de 6 mg/L (Figura 5.50). Quanto a variação de concentração média entre estes dois períodos, as sub-bacias localizadas na porção sul apresentaram diferença negativa do Verão para o Inverno, enquanto que a variação nas sub-bacias da porção norte foi positiva. O ponto 9 não apresentou variação de concentração entre o Inverno e o Verão e o ponto 11 apresentou variação de apenas 0,1 mg/L (Figura 5.50).

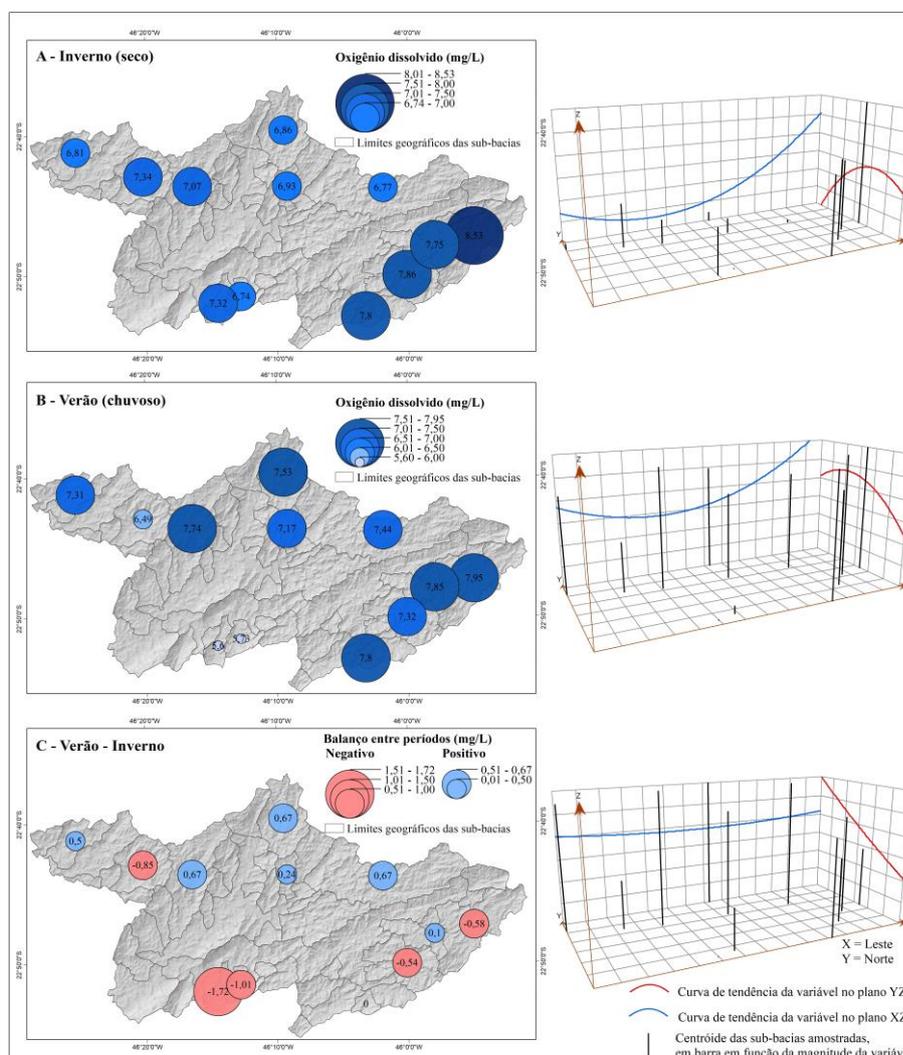


Figura 5.50 - Mapa da concentração de OD nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.

Durante o Outono os pontos 1 e 2 apresentaram valores de OD abaixo do limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357, de 2005, que é de 5 mg/L, enquanto que os pontos 10 e 11 chegaram a apresentar concentrações superiores a 7,5 mg/L no mesmo período (Figura 5.51). A sub-bacia que mais tendeu à normalidade foi a referente ao ponto 10.

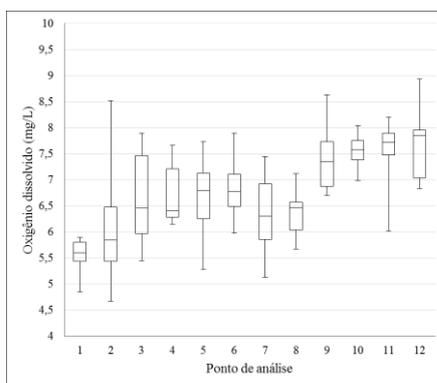


Figura 5.51 - Gráfico de boxplot mostrando a variabilidade de OD das águas das sub-bacia amostradas nos quatro períodos.

As sub-bacias da porção sudeste apresentam média anual de OD superiores à 7 mg/L, com média de 7,69 na sub-bacia 12 (Figuras 5.51 e 5.52). A média anual de OD indica que este tende a diminuir de leste para oeste, conforme pode ser observado no mapa e no gráfico de tendência da Figura 5.52. Esta variável apresenta correlação negativa com área urbana ($r = -0,92$), pastagem ($r = -0,9$), cultivos agrícolas ($r = -0,86$) e coeficiente de manutenção ($r = -0,87$). Apresenta correlação positiva com vegetação florestal ($r = 0,92$), densidade de drenagem ($r = 0,88$) e Textura Topográfica ($r = 0,9$).

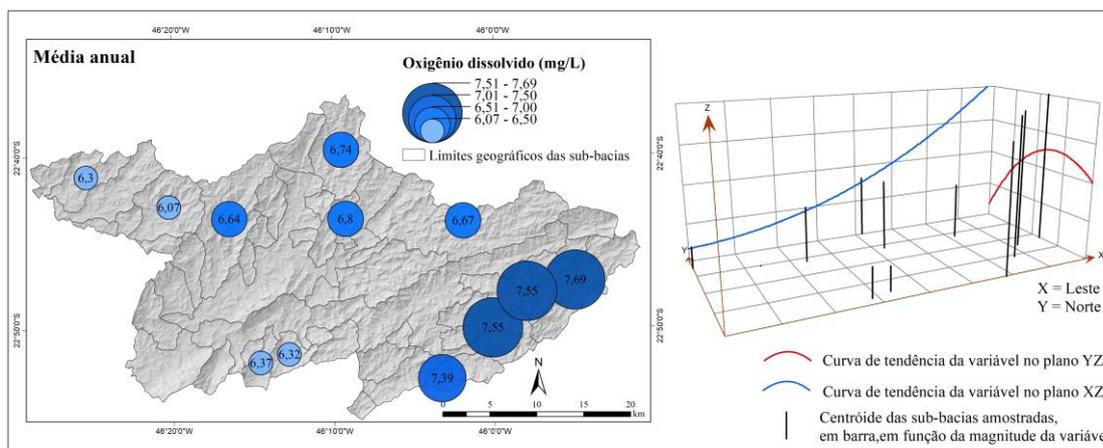


Figura 5.52 - Mapa da concentração média anual de OD das águas superficiais do canal principal das sub-bacias amostradas; e gráfico de tendência.

5.2.4.2.3 Nitrato

Durante o Inverno, as sub-bacias com as maiores concentrações de nitrato foram aquelas localizadas na porção central da Bacia PJ. A variabilidade do nitrato durante o Inverno indica que para este período a maior concentração de nitrato nas sub-bacias da porção central pode ser decorrente de despejos domésticos e efluentes industriais, por estas sub-bacias serem correspondentes ao eixo de influência da BR-381 (Rodovia Fernão Dias), que concentra áreas urbanas e bairros rurais (Figura 5.53).

Tal fato, associado à baixa vazão dos canais neste período, tende a aumentar a concentração de nitrato. As maiores concentrações de nitrato durante o Verão foram observadas nas sub-bacias da porção oeste (Figura 5.53), que apresentam expressivas áreas ocupadas por cultivos temporários e pastagens. Com o aumento das chuvas neste período, fertilizantes utilizados na agricultura e excrementos de animais são lixiviados pelas chuvas para os rios, aumentando a concentração de nitrato nos corpos d'água, mesmo com a maior vazão.

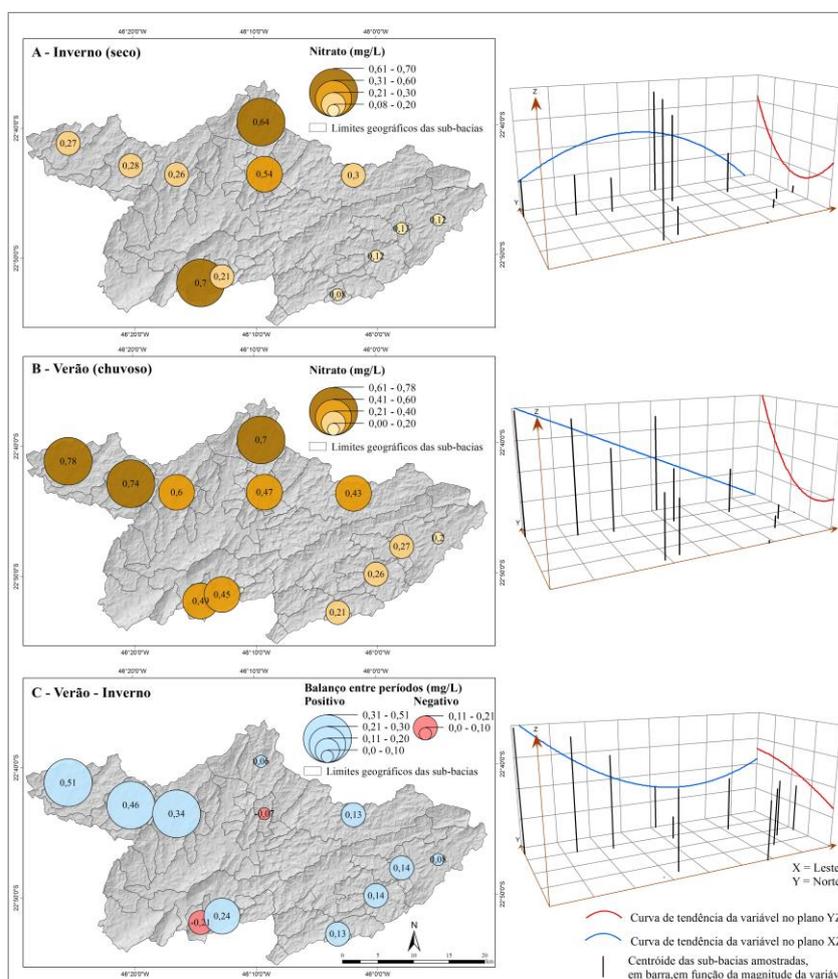


Figura 5.53 - Mapa da concentração de nitrato nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável.

O Gráfico boxplot (Figura 5.54) e o mapa de concentração média anual de nitrato (Figura 5.55) evidenciam os valores mais elevados de nitrato nas sub-bacia centro-oeste e oeste na média anual e a baixa concentração nas sub-bacias na porção sudeste.

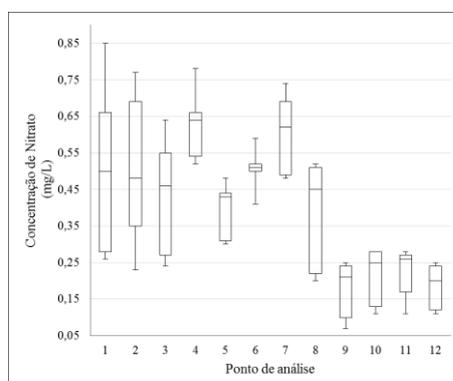


Figura 5.54 - Gráfico boxplot mostrando a variabilidade do nitrato* das águas das sub-bacia amostradas nos quatro períodos. * 4 períodos sazonais.

As variáveis biofisiográficas que apresentaram maior correlação negativa com nitrato foram vegetação florestal ($r = -0,95$), silvicultura ($r = -0,84$), densidade de drenagem ($r = -0,74$) e a unidade litoestatigráfica Granito Gonçalves ($r = -0,92$), que abrange quase que integralmente todas as sub-bacias da porção sudeste. Já as variáveis que apresentaram correlação positiva com nitrato foram área urbana ($r = 0,8$), cultivos temporários ($r = 0,76$), pastagem ($r = 1$) e densidade de vias de circulação ($r = 0,72$). Embora os valores médios anuais de nitrato sejam relativamente baixos em todas sub-bacias amostradas, as maiores concentrações ocorrem nas sub-bacias mais antropizadas, enquanto que as menores se dão nas que apresentam maior ocorrência de matas.

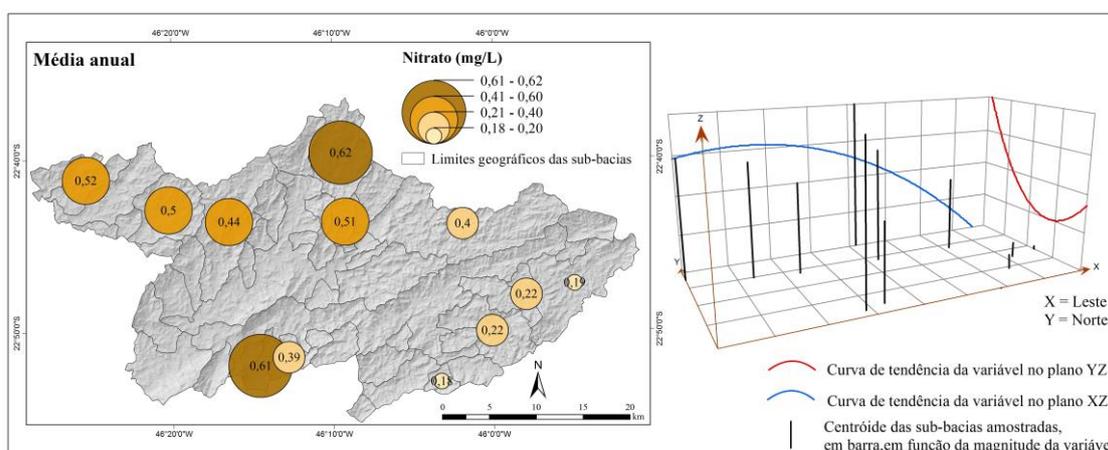


Figura 5.55 - Mapa da concentração média anual de nitrato nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas e gráfico e tendência.

5.2.4.2.4 Cloreto

A concentração de cloreto (Cl^-) não apresentou variações expressivas entre os períodos seco e chuvoso, sendo que as sub-bacias localizadas nas porções sudeste e sudoeste apresentaram maiores concentrações no período seco, enquanto que as sub-bacias da porção noroeste apresentaram maior concentração no período chuvoso (Figura 5.56). A maior concentração de Cl^- durante o Inverno (Figura 5.56), em relação ao Verão, nas sub-bacias da porção sudeste pode estar relacionada às fontes de água subterrânea, podendo o cloreto, neste caso, ser proveniente da percolação da água através de solos e/ou rochas. Associada à menor vazão dos canais, a concentração de Cl^- tende a aumentar nestas condições. Já o aumento dos valores de Cl^- durante o Verão nas sub-bacias da porção noroeste pode ser decorrente de excrementos animais lixiviados pelas chuvas para os rios, uma vez que o uso da terra predominante nestas sub-bacias é a pastagem, corroborado pela alta correlação positiva entre cloreto e pastagem ($r = 0,79$).

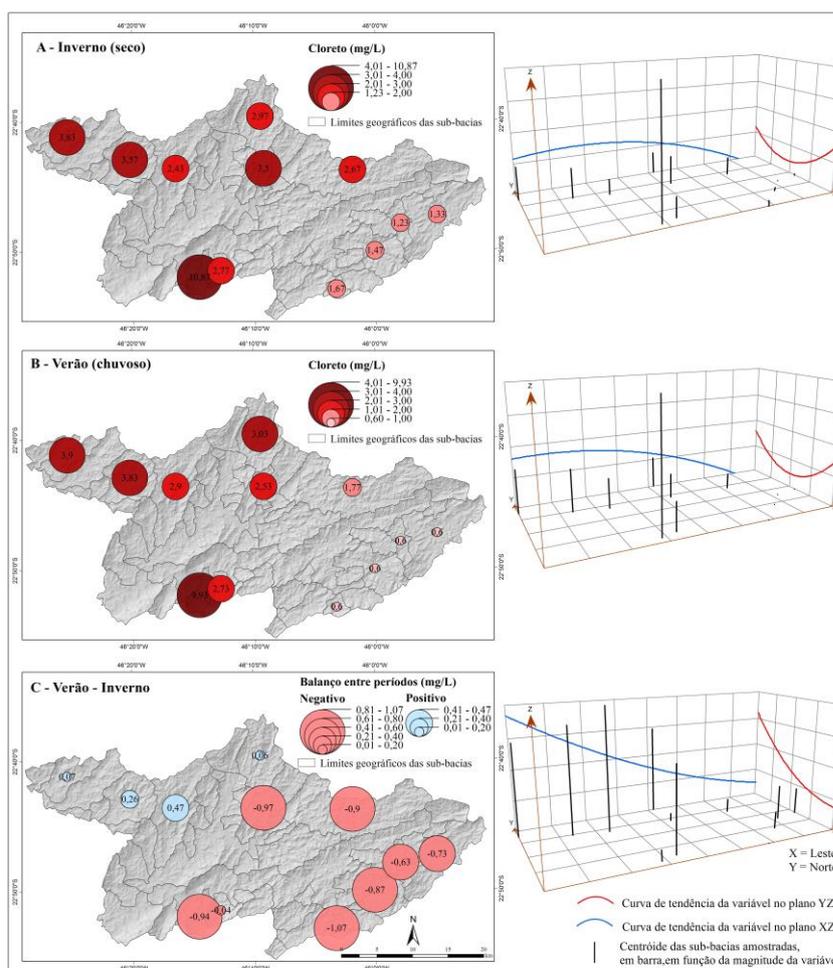


Figura 5.56 - Mapa da concentração de cloreto nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável.

Nas sub-bacias das porções central e oeste a concentração média anual de Cl^- ficou entre 1,5 a 4 mg/L, e entre 0,6 a 2 mg/L nas sub-bacias da porção sudeste (Figuras 5.57 e 5.58). Exceção foi a sub-bacia referente ao ponto 7, que apresentou em todas amostragens valores de cloreto superiores à 9 mg/L (Figura 5.57 e 5.58). Nesta sub-bacia está instalada uma agroindústria de médio porte (fábrica de picles), a qual pode estar relacionada com esta maior concentração de Cl^- na sub-bacia correspondente. Todavia, embora a concentração média de cloreto nesta sub-bacia seja quase 3 vezes superior às concentrações das demais sub-bacias com maiores concentrações, os seus valores estão muito abaixo do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357, de 2005, que é de 250 mg/L.

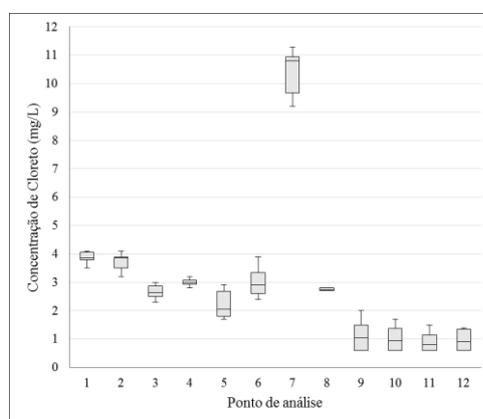


Figura 5.57 - Gráfico boxplot da variabilidade do cloreto das águas das sub-bacia nos quatro períodos.

A variabilidade de Cl^- nas sub-bacias amostradas aponta que as concentrações médias anuais naquelas localizadas na porção sudeste tendem a ser de aproximadamente 1 mg/L, nas da porção central entre 2 e 3 mg/L e nas da porção oeste entre 3,5 e 4 mg/L. O ponto 7 apresenta concentração média anual perto de 10 mg/L (Figura 5.57 e 5.58).

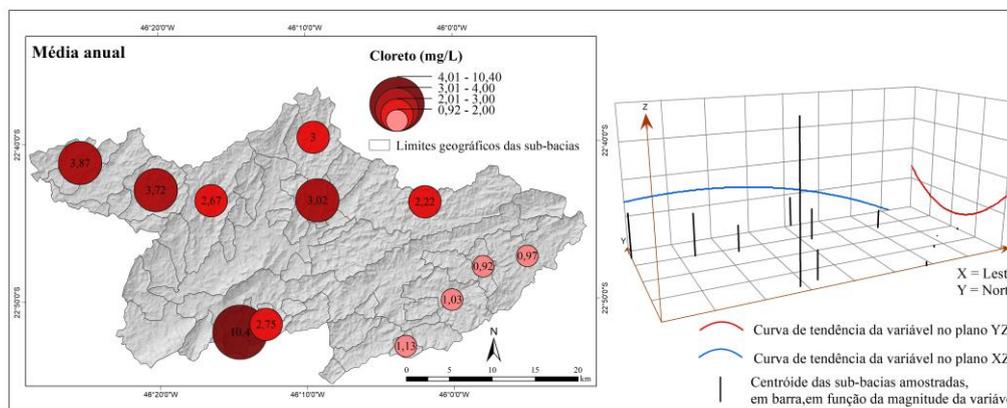


Figura 5.58 - Mapa da concentração de cloreto nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas e gráfico de tendência.

5.2.4.3 Propriedades biológicas

5.2.4.3.1 *E. coli*

Durante o Inverno, as sub-bacias amostradas das porções sudeste e oeste apresentaram valores de *E. coli* (NMP) abaixo do valor máximo definido pela Resolução CONAMA nº 357, de 2005, que é de 200 NMP, enquanto que as sub-bacias da porção central apresentaram valores acima do estabelecido (Figura 5.59). A baixa vazão dos canais neste período contribui para o aumento da concentração de *E. coli*, principalmente nas sub-bacias com núcleos urbanos e bairros rurais, fato este corroborado pela correlação positiva entre *E. coli* e *Área Urbana e sedes rurais* ($R^2 = 0,74$). No Verão, apenas as sub-bacias referentes aos pontos 09 e 11 apresentaram valores em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357, de 2005, tendendo os valores de *E. coli* aumentarem de leste para oeste e de sul para norte (Figura 5.59).

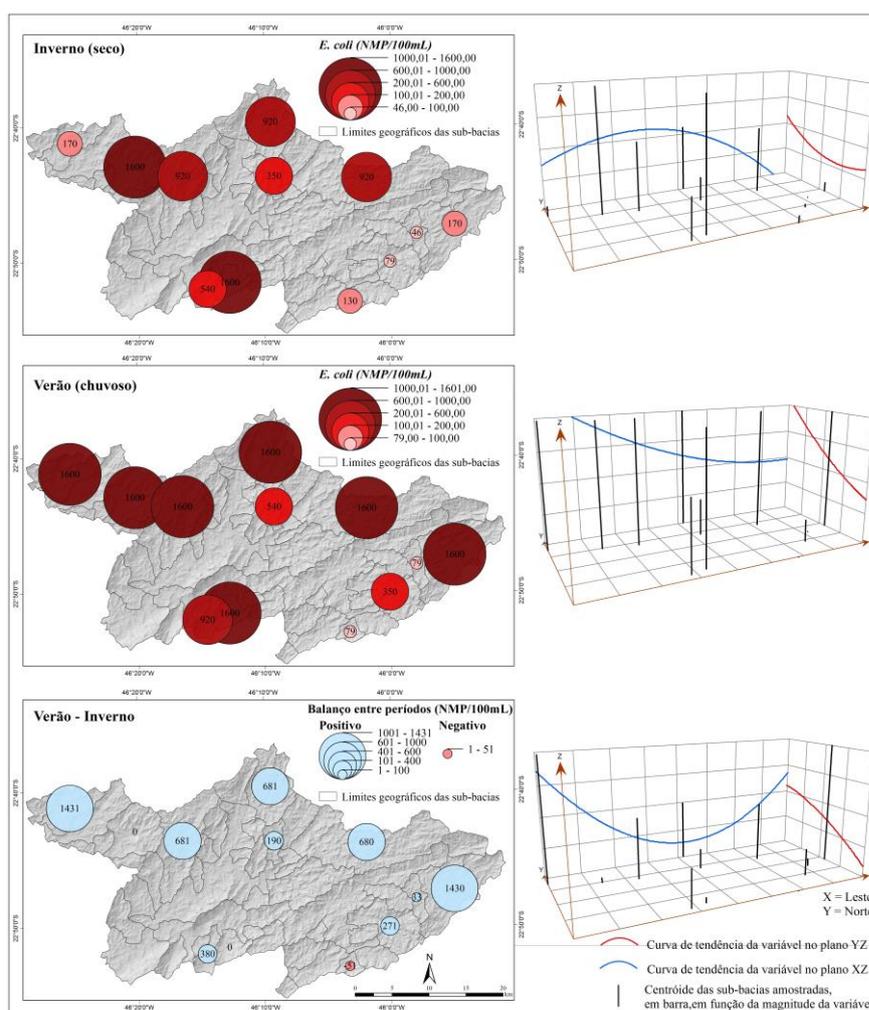


Figura 5.59 - Mapa do NMP de *E. coli* nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas nos períodos seco (A) e chuvoso (B); balanço entre períodos (C); e gráficos de tendência da variável por período.

O expressivo aumento do valor de *E. coli* nas sub-bacias da porção norte durante o Verão pode estar relacionado com o lixiviamento do solo e de excrementos animais (pecuária) para os cursos d'água, devido à maior precipitação neste período, de modo que pastagem e *E. coli* apresentem $r = 0,71$, além da contribuição das áreas urbanas, que apresentaram $r = 0,82$ com *E. coli*. Os pontos 9, 10 e 11 são as sub-bacias que apresentaram os menores valores para *E. coli*, enquanto que os pontos 2 e 8 obtiveram valores NMP acima de 1.600 em todas amostragens (Figura 5.60).

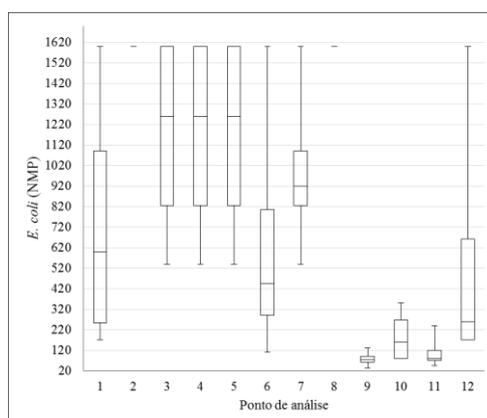


Figura 5.60 - Gráfico boxplot da variabilidade de *E. coli* das águas das sub-bacia nos quatro períodos.

No contexto anual, as sub-bacias representadas pelos pontos 09, 10 e 11 exibiram valores em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357, de 2005, estando todas as demais em desconformidade (Figuras 5.61). O mapa da média anual de *E. coli* e o gráfico de tendência das sub-bacias amostradas indicam uma tendência dos valores aumentarem de leste para oeste e de sul para norte, principalmente nas sub-bacias com significativas áreas urbanas e pastagens, havendo uma correlação positiva com *E. coli* de $r = 0,82$ e $r = 0,72$, respectivamente.

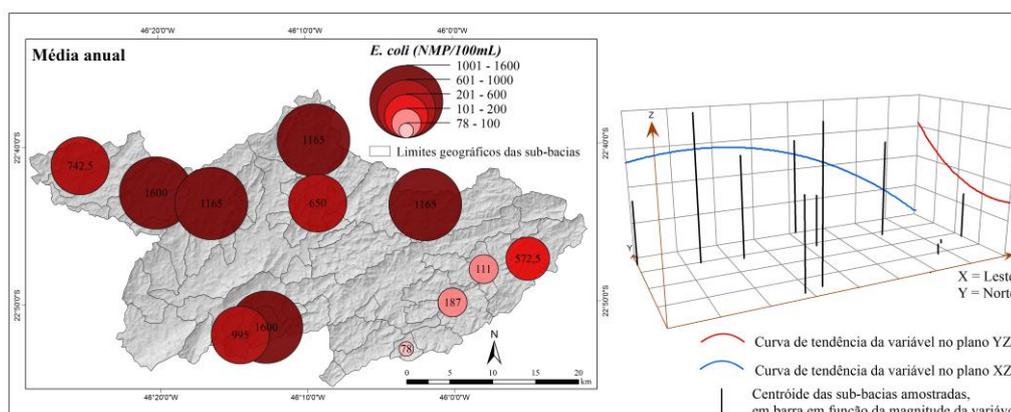


Figura 5.61 - Mapa do NMP de *E. coli* nas águas do canal principal das sub-bacias amostradas e gráfico de tendência.

5.3 Extrapolação de parâmetros de qualidade da água

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelos modelos utilizados na extrapolação de qualidade da água para quatro períodos sazonais: Inverno (seco), Verão (chuvoso), Outono (chuvoso p/ seco) e Primavera (seco p/ chuvoso). Os modelos utilizados correspondem aos algoritmos K-NNR e SVR.

5.3.1 Modelo 1 - K-Nearest Neighbor regressor (K-NNR)

A Figura 5.62 apresenta as extrapolações dos parâmetros de qualidade da água obtidas para 34 sub-bacias, para cada período sazonal, pelo Modelo 1 (K-NNR), além dos valores medidos em campo para 10 sub-bacias, usadas no treinamento deste modelo. Os valores tabulados são apresentados no Apêndice 3.

As Tabelas 5.17 e 5.18 expõem, respectivamente, os erros MAE e MAPE apresentados pelo método K-NNR na extrapolação dos parâmetros de qualidade da água das sub-bacias 02 (Ponto 1) e 29 (Ponto 11), calculados com base em cada valor da triplicata e o valor extrapolado pelo método para os quatro períodos sazonais.

Tabela 5.17 - Erro médio absoluto apresentado pelo método K-NNR na extrapolação dos PQA das sub-bacias 02 e 29.

Sub-bacia	Período sazonal	Erro médio absoluto (MAE)*											
		pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	<i>E. coli</i>
2	Inverno	0,10	2,34	0,51	0,43	0,08	0,68	0,42	0,73	0,0004	0,0000	0,00	838,23
	Verão	0,05	0,18	79,87	0,20	0,16	0,75	2,30	4,46	0,0013	0,0028	0,00	300,07
	Outono	0,08	0,79	34,13	0,43	0,00	0,02	0,23	1,11	0,0001	0,0072	370,85	949,15
	Primavera	0,03	0,45	1,57	0,31	0,02	0,22	1,22	1,70	0,0016	0,0000	0,00	258,20
29	Inverno	0,07	1,26	5,59	0,09	0,04	0,52	1,28	3,66	0,0103	0,0028	689,10	300,19
	Verão	0,13	0,60	62,33	0,26	0,02	0,32	2,67	4,99	0,0059	0,0028	0,00	1088,05
	Outono	0,31	0,42	38,93	0,77	0,05	0,20	1,91	3,62	0,0079	0,0038	256,16	124,52
	Primavera	0,18	0,52	16,38	0,57	0,04	0,62	3,10	5,60	0,0119	0,0062	526,81	455,51

Unidades de Medida: Temp. (°C); Turbidez (UNT); OD (mg/L); NO₃⁻ (mg/L); Cl⁻ (mg/L); TSD (mg/L); CE (µS/cm); Resist. (Ω.cm); Salinid. (PSU); CT (NMP); e *E. coli* (NMP).

Tabela 5.18 - Erro médio percentual absoluto apresentado pelo método K-NNR na extrapolação dos PQA das sub-bacias 02 e 29.

Sub-bacia	Período sazonal	Erro médio percentual absoluto – MAPE (%)											
		pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	<i>E. coli</i>
2	Inverno	1,47	16,28	5,63	6,48	28,86	17,43	2,56	2,21	1,24	0,00	0,00	493,08
	Verão	0,68	0,83	42,50	2,72	19,85	19,10	9,20	8,93	6,54	14,15	0,00	18,75
	Outono	1,13	3,65	28,41	8,51	0,93	0,92	1,27	3,17	0,26	35,85	23,18	338,98
	Primavera	0,46	2,39	6,55	5,59	4,79	4,85	5,66	4,01	6,67	0,00	0,00	28,07
29	Inverno	1,01	11,02	180,99	1,16	36,90	45,73	18,36	28,17	13,35	27,69	43,07	652,58
	Verão	1,93	3,28	465,77	3,26	7,70	53,85	33,37	31,21	9,37	27,69	0,00	1377,28
	Outono	4,47	2,41	341,92	10,99	25,97	25,97	27,26	24,81	11,44	37,67	16,01	51,88
	Primavera	2,84	3,62	203,51	7,55	16,68	46,17	49,66	43,11	15,51	0,62	32,93	576,59

Os dados contidos na Tabela 5.17 apontam que os maiores erros médios absolutos da extrapolação para os parâmetros temperatura, turbidez, nitrato, cloreto e salinidade (5 parâmetros) ocorreram na sub-bacia 2, enquanto que para os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, total de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, resistividade, coliformes totais e *E. coli* (7 parâmetros) ocorreram na sub-bacia 29. Não há uma diferença expressiva entre os erros MAE apresentados entre as sub-bacias 02 e 29, com excessão do parâmetro coliformes totais.

Todavia, em função dos parâmetros turbidez, nitrato, cloreto, total de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, resistividade, salinidade e *E. coli*. apresentarem valores superiores na sub-bacia 02 em relação à sub-bacia 29, o MAPE das extrapolações destes parâmetros são maiores na sub-bacia 29 (Tabela 5.18). Uma vez que os valores de concentração destes parâmetros são baixos na sub-bacia 29, mesmo com um baixo MAE a bacia acaba por apresentar um alto MAPE. Adotando o parâmetro cloreto como exemplo, no período sazonal referente ao verão a concentração observada de cloreto na sub-bacia 02 foi de 3,9 mg/L e a concentração extrapolada foi de 3,15 mg/L , com MAE de 0,75mg/L, enquanto que na sub-bacia 29 a concentração observada foi de 0,6 mg/L e a extrapolada foi de 0,92 mg/L, com MAE de 0,32mg/L. Desta forma, as sub-bacias 02 e 29 apresentaram MAPE de 19,10% e 53,85%, respectivamente. Observa-se que o MAPE apresentado pela sub-bacia 29 foi quase que três vezes maior ao apresentado pela sub-bacia 02, mesmo essa (sub-bacia 02) tendo apresentado um MAE duas vezes maior ao apresentado pela sub-bacia 29.

Estas constatações indicam que, nesta etapa da pesquisa, a métrica de erro MAE foi mais adequada do que o MAPE para comparar os erros apresentados pelos valores extrapolados pelo modelo K-NNR para as sub-bacias utilizadas para teste e validação, principalmente por estas apresentarem diferenças expressivas nos valores de seus compostos físico-químicos e microbiológicos.

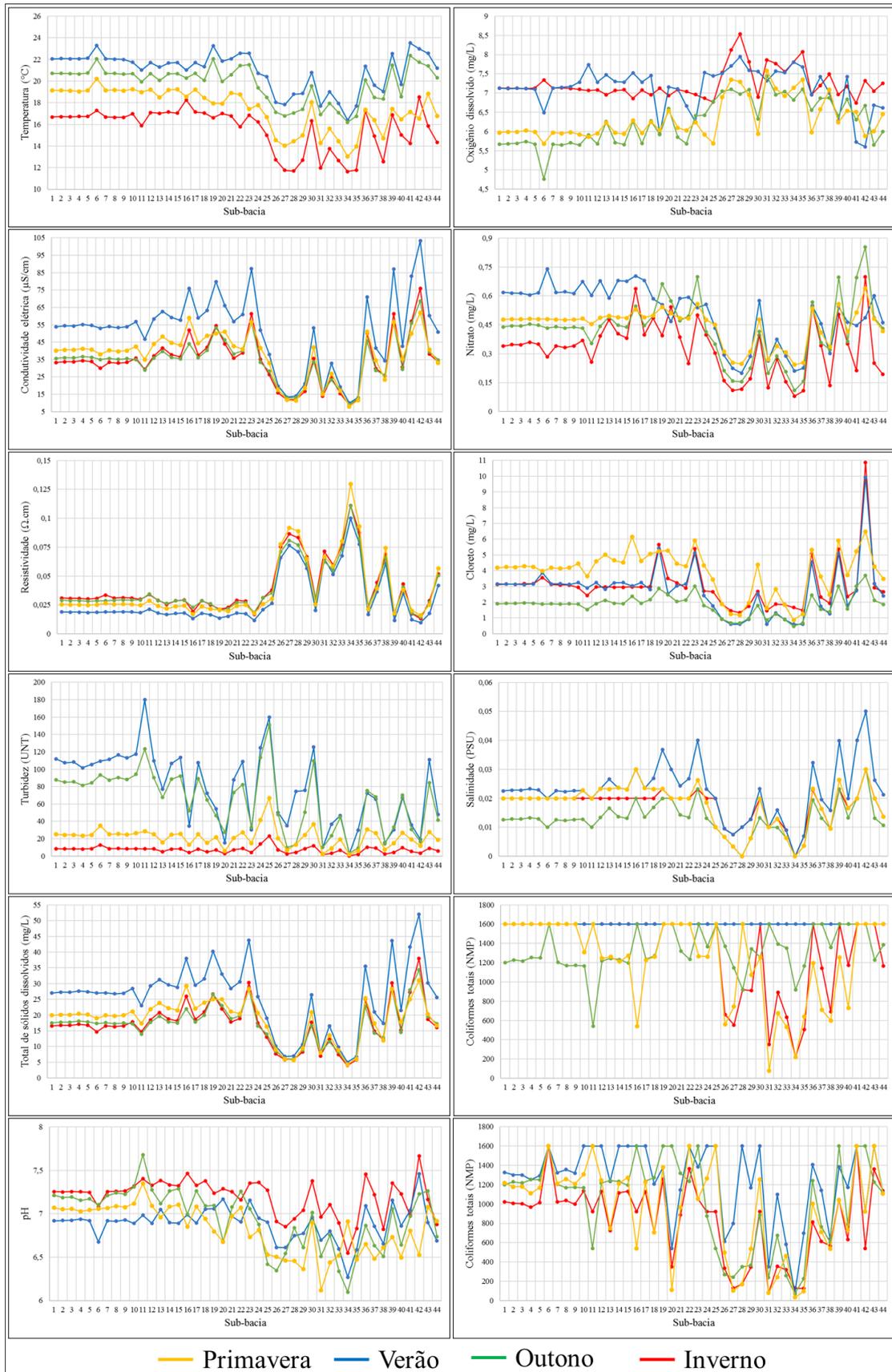


Figura 5.62 - Extrapolações dos PQA obtidas para 34 sub-bacias, para 4 períodos sazonais, pelo Modelo 1 (K-NNR), além dos valores medidos em campo para 10 sub-bacias, usadas no treinamento deste modelo.

5.3.2 Modelo 2 - Support Vector Regression (SVR)

A Figura 5.63 apresenta as extrapolações dos parâmetros de qualidade da água obtidas para 34 sub-bacias, para cada período sazonal, pelo Modelo 2 (SVR), além dos valores medidos em campo para 10 sub-bacias, utilizadas no treinamento deste modelo. Os valores tabulados são apresentados no Apêndice 2. As Tabelas 5.19 e 5.20 expõem, respectivamente, os erros MAE e MAPE apresentados pelo método SVR na extrapolação dos parâmetros de qualidade da água das sub-bacias 02 e 29.

Tabela 5.19 - Erro médio absoluto apresentado pelo método SVR na extrapolação dos PQA das sub-bacias 02 e 29.

Sub-bacia	Período sazonal	MAE											
		pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	<i>E. coli</i>
2	Inverno	0,05	0,45	4,52	0,61	0,10	1,18	3,04	4,56	0,0318	0,0050	1,17	559,14
	Verão	0,07	1,64	151,88	0,29	0,29	1,63	1,23	1,40	0,0348	0,0050	0,00	0,69
	Outono	0,15	2,36	90,99	0,97	0,03	0,29	2,67	3,67	0,0342	0,0050	0,59	789,55
	Primavera	0,18	1,93	10,63	0,61	0,06	1,16	4,01	7,06	0,0493	0,0050	0,36	190,81
29	Inverno	0,06	1,90	0,86	0,08	0,21	0,62	5,09	13,76	0,0148	0,0050	2,31	681,85
	Verão	0,14	1,03	21,61	0,22	0,16	0,58	14,09	30,92	0,0077	0,0150	0,00	1520,20
	Outono	0,28	0,51	15,66	0,74	0,22	0,38	6,64	14,97	0,0054	0,0050	0,83	827,86
	Primavera	0,25	0,80	4,88	0,65	0,18	0,99	9,31	20,59	0,0040	0,0150	0,58	648,69

Unidades de Medida: Temp. (°C); Turbidez (UNT); OD (mg/L); NO₃⁻ (mg/L); Cl⁻ (mg/L); TSD (mg/L); CE (µS/cm); Resist. (Ω.cm); Salinid. (PSU); CT (NMP); e *E. coli* (NMP).

Tabela 5.20 - Erro médio percentual absoluto apresentado pelo método SVR na extrapolação dos PQA das sub-bacias 02 e 29.

Sub-bacia	Período sazonal	Erro médio percentual absoluto – MAPE (%)											
		pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	<i>E. coli</i>
2	Inverno	0,66	3,16	50,33	9,29	38,49	30,60	18,18	13,83	105,06	25,00	0,07	328,90
	Verão	0,97	7,37	81,03	3,99	36,29	41,67	4,91	2,79	174,17	25,00	0,00	0,04
	Outono	2,06	10,97	76,19	18,78	6,16	15,04	14,85	10,50	119,70	25,00	0,04	281,98
	Primavera	2,48	10,33	43,98	10,90	12,24	25,99	18,74	16,67	208,42	25,00	0,02	20,74
29	Inverno	0,90	16,61	28,07	1,08	172,87	54,77	72,77	105,82	19,20	50,00	0,14	1482,29
	Verão	2,03	5,63	161,69	2,74	61,23	95,94	176,07	193,24	12,27	150,00	0,00	1924,30
	Outono	4,08	2,98	137,61	10,39	123,70	49,55	94,86	102,31	7,86	50,00	0,05	344,94
	Primavera	3,96	5,54	60,78	8,60	65,68	74,17	148,26	158,35	5,22	1,50	0,04	821,12

Os dados contidos na Tabela 5.19 apontam que os maiores erros médios absolutos da extrapolação para os parâmetros temperatura, turbidez, OD, nitrato e resistividade (5 parâmetros) ocorreram na sub-bacia 2, enquanto que para os parâmetros pH, cloreto, TSD, CE, salinidade, coliformes totais e *E. coli* (7 parâmetros) ocorreram na sub-bacia 29. Destaca-se que o MAE da extrapolação do parâmetro turbidez para o período correspondente ao verão para a sub-bacia 02 foi de 151,8 UNT, enquanto que na sub-bacia 29, a extrapolação do valor de TSD apresentou MAE de 14,09 mg/L e CE apresentou MAE de 30,92 µS/cm. Assim como

no modelo K-NNR, os maiores valores da métrica de erro MAPE ocorreram na sub-bacia 29, devido aos mesmos motivos.

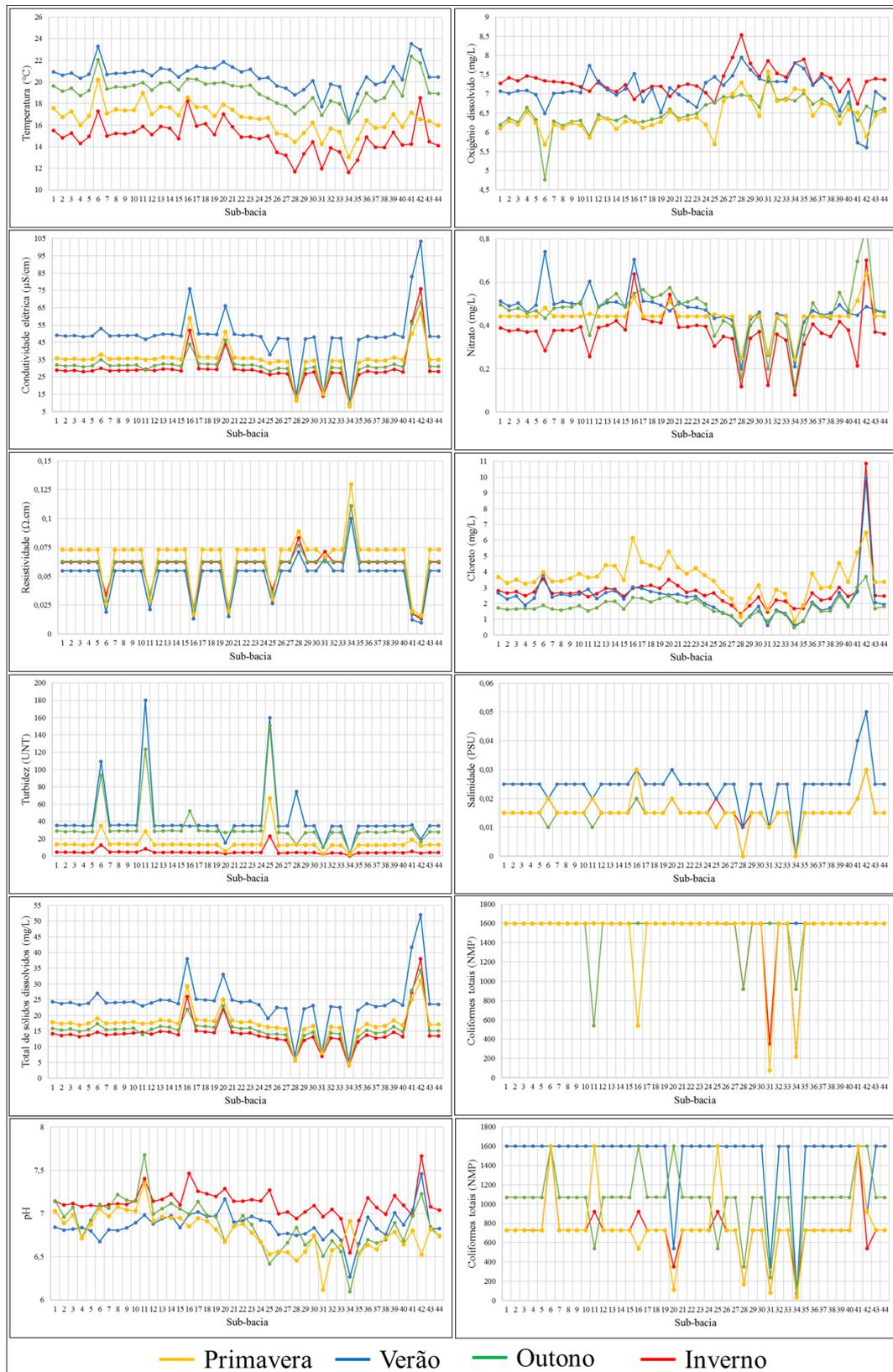


Figura 5.63 - Extrapolações dos PQA obtidas para 34 sub-bacias, para cada período sazonal, pelo Modelo 2 (SVR), além dos valores medidos em campo para 10 sub-bacias, usadas no treinamento deste modelo.

5.3.3 Comparação do desempenho obtido pelos modelos K-NNR e SVR

Neste item, o desempenho dos modelos K-NNR e SVR é comparado com base na média dos erros das extrapolações realizadas para as sub-bacias 02 e 29. Confrontou-se ainda o erro médio absoluto de cada parâmetro de qualidade da água, por período sazonal, com a diferença entre o maior e menor valores das triplicatas destes parâmetros de qualidade da água.

Em termos percentuais, o modelo K-NNR apresentou um desempenho superior ao modelo SVR na extrapolação de 10 dos 12 parâmetros de qualidade da água (Tabela 5.21). Observa-se que para os parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido, total de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, resistividade e coliformes totais, o modelo K-NNR apresentou acurácia acima de 70%. Todavia, o modelo K-NNR apresentou baixa acurácia para os parâmetros Turbidez e *E. coli*, tendo o modelo SVR apresentado melhor desempenho que o modelo K-NNR para os parâmetros turbidez e coliformes fecais (Tabela 5.21).

Tabela 5.21. Erro médio percentual absoluto apresentado pelos métodos SVR e K-NNR na extrapolação dos PQA.

Modelo	Período sazonal	Erro médio percentual absoluto - MAPE											
		pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	<i>E. coli</i>
SVR	Inverno	0,78	9,89	39,20	5,18	105,68	42,68	45,48	59,83	62,13	37,50	0,11	905,60
	Verão	1,50	6,50	121,36	3,36	48,76	68,81	90,49	98,02	93,22	87,50	0,00	962,17
	Outono	3,07	6,98	106,90	14,59	64,93	32,30	54,86	56,40	63,78	37,50	0,04	313,46
	Primavera	3,22	7,94	52,38	9,75	38,96	50,08	83,50	87,51	106,82	13,25	0,03	420,93
K-NNR	Inverno	1,24	13,65	93,31	3,82	32,88	31,58	10,46	15,19	7,29	13,85	21,53	572,83
	Verão	1,30	2,05	254,14	2,99	13,77	36,48	21,28	20,07	7,95	20,92	0,00	698,02
	Outono	2,80	3,03	185,17	9,75	13,45	13,45	14,27	13,99	5,85	36,76	19,59	195,43
	Primavera	1,65	3,01	105,03	6,57	10,74	25,51	27,66	23,56	11,09	0,31	16,46	302,33

A Tabela 5.22 apresenta o erro médio absoluto das extrapolações dos modelos SVR e KNNR para os quatro períodos sazonais e para a média dos períodos.

Tabela 5.22 - Erro médio absoluto apresentado pelos métodos SVR e K-NNR na extrapolação dos PQA.

Modelo	Período sazonal	MAE											
		pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	<i>E. coli</i>
SVR	Inverno	0,06	1,18	2,69	0,35	0,16	0,90	4,07	9,16	0,02	0,01	1,74	620,50
	Verão	0,10	1,34	86,75	0,26	0,23	1,10	7,66	16,16	0,02	0,01	0,00	760,44
	Outono	0,22	1,43	53,33	0,86	0,12	0,33	4,66	9,32	0,02	0,01	0,71	808,71
	Primavera	0,21	1,37	7,76	0,63	0,12	1,07	6,66	13,82	0,03	0,01	0,47	419,75
	Média	0,15	1,33	37,63	0,52	0,16	0,85	5,76	12,12	0,02	0,01	0,73	652,35
K-NNR	Inverno	0,09	1,80	3,05	0,26	0,06	0,60	0,85	2,20	0,01	0,00	344,55	569,21
	Verão	0,09	0,39	71,10	0,23	0,09	0,54	2,48	4,73	0,00	0,00	0,00	694,06
	Outono	0,20	0,60	36,53	0,60	0,03	0,11	1,07	2,36	0,00	0,01	313,51	536,83
	Primavera	0,11	0,49	8,98	0,44	0,03	0,42	2,16	3,65	0,01	0,00	263,40	356,85
	Média	0,12	0,82	29,91	0,38	0,05	0,42	1,64	3,24	0,00	0,00	230,37	539,24

A Tabela 5.23 apresenta a diferença entre o maior e menor valor observado das análises em triplicata por sub-bacia e período sazonal, a média das diferenças das doze sub-bacias por período sazonal, a média das diferenças e a maior diferença observada para cada um dos parâmetros de qualidade da água das doze sub-bacias.

Tabela 5.23 - Diferença entre o maior e menor por sub-bacia e período sazonal e média das diferenças.

Ponto-Sub-bacia	Estação Ano	Diferença média entre maior e menor valores da triplicata									
		pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.
1	Inverno	0,01	0,18	0,6	0,94	0,02	0,6	1	0	0,0000	0
	Verão	0,05	0,03	20	0,04	0,19	0,3	0	0	0,0000	0
	Outono	0,14	0,06	13	1,05	-	-	0	0	0,0000	0
	Primavera	0,08	0,14	3,2	0,37	0,01	-	1	1	0,0005	0
2	Inverno	0,14	0,68	1	2,57	0,12	0,9	4	5	0,0000	0
	Verão	0,22	0,26	8	0,19	0,08	0,1	0	0	0,0000	0
	Outono	0,22	0,07	5,2	0,15	-	-	1	0	0,0000	0
	Primavera	0,15	0,01	6	0,1	0,02	-	0	0	0,0000	0
3	Inverno	0,24	0,4	1	0,92	0,03	0,2	1	1	0,0000	0
	Verão	0,3	0,3	54	0,29	0,09	0,2	0	1	0,0000	0
	Outono	0,59	0,12	33	0,96	-	-	0	0	0,0000	0
	Primavera	0,19	0,04	1,7	0,5	0,04	-	1	0	0,0000	0
4	Inverno	0,15	0,24	2,2	0,71	0,03	0,3	0	2	0,0000	0
	Verão	0,23	0,34	0,06	0,34	0,12	0,3	0	0	0,0000	0
	Outono	0,43	0,94	8,6	0,2	-	-	0	0	0,0000	0
	Primavera	0,18	0,29	1,6	0,1	0,02	-	1	0	0,0000	0
5	Inverno	0,08	0,31	1,6	0,92	0,01	0,6	0	2	0,0000	0
	Verão	0,28	0,16	10	0,63	0,1	0,1	0	0	0,0000	0
	Outono	0,19	0,06	14	0,26	-	-	0	1	0,0012	0
	Primavera	0,08	0,06	2,9	0,83	0,05	-	1	0	0,0000	0
6	Inverno	0,06	0,15	0,8	1,72	0,08	0,7	0	2	0,0000	0
	Verão	1,17	0,11	1,5	0,13	0,1	0,2	0	0	0,0000	0
	Outono	0,3	0,11	13,4	0,99	-	-	0	1	0,0004	0
	Primavera	0,22	0,17	1,1	0,18	0,02	-	0	0	0,0000	0
7	Inverno	0,17	0,08	1,1	0,36	0,09	0,2	0	2	0,0000	0
	Verão	0,02	0,05	4,4	0,99	0,01	3,8	2	3	0,0003	0
	Outono	0,18	0,13	4,9	0,37	-	-	2	3	0,0009	0
	Primavera	0,44	0,29	0,6	0,32	0,08	-	2	6	0,0013	0
8	Inverno	0,28	0,16	1,3	0,63	0,02	0,1	3	2	0,0000	0
	Verão	0,27	0,34	4,4	0,16	0,03	0,1	1	0	0,0000	0
	Outono	0,17	0,09	1,9	0,49	-	-	0	0	0,0003	0
	Primavera	0,07	0,07	1,2	0,12	0,01	-	0	0	0,0000	0
9	Inverno	0,19	0,1	1	1,34	0,03	0,5	0	0	0,0000	0
	Verão	0,14	0,05	0,4	0,2	0,2	0	0	0	0,0000	0
	Outono	0,2	0,2	0,2	0,15	-	-	1	0	0,0000	0
	Primavera	0,32	0,03	0,3	0,7	0,01	-	2	3	0,0560	0
10	Inverno	0,06	0,11		0,42	0,02	0,4	0	0	0,0000	0
	Verão	0,19	0,04	1,6	0,54	-	0	0	0	0,0042	0
	Outono	0,34	0,32	0,9	0,73	0,03	-	0	0	0,0000	0
	Primavera	1,04	0,13	0,2	0,29	0,03	-	0	0	0,0000	0
11	Inverno	0,14	0,17	0,4	0,3	0,06	0,5	0	0	0,0000	0
	Verão	0,19	0,08	1,7	0,13	0,03	0	0	0	0,0000	0
	Outono	0,23	0,82	0,8	2,18	-	-	0	1	0,0000	0
	Primavera	0,45	0,11	0,8	0,26	0,01	-	1	0	0,0000	0
12	Inverno	0,09	0,03	2,1	1,06	0,01	0,2	0	0	0,0000	0
	Verão	0,04	0,19	4,9	0,1	0,02	0	0	0	0,0000	0
	Outono	0,03	0,03	1,1	0,18	-	-	0	0	0,0000	0
	Primavera	0,11	0,01	0,08	1	0,01	-	1	2	0,0080	0
Média por estação	Inverno	0,13	0,22	1,19	0,99	0,04	0,43	0,75	1,33	0,00	0,00
	Verão	0,26	0,16	9,25	0,31	0,08	0,43	0,25	0,33	0,00	0,00
	Outono	0,25	0,25	8,08	0,64	-	-	0,33	0,50	0,00	0,00
	Primavera	0,28	0,11	1,64	0,40	0,03	-	0,83	1,00	0,01	0,00
Diferença média	Ano	0,23	0,18	5,12	0,59	0,05	0,43	0,54	0,79	0,00	0,00
Diferença máxima	Ano	1,17	0,94	54,00	2,57	0,20	3,80	4,00	6,00	0,0560	0

As extrapolações do modelo K-NNR apresentaram MAE menor que a diferença média apresentada para os maiores e menores valores das triplicatas das doze sub-bacias analisadas para os parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido, nitrato, cloreto, total de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica e resistividade (Tabelas 5.22 e 5.23). Já a extrapolação para turbidez pelo modelo K-NNR apresentou erro médio absoluto de 29,91 UNT, enquanto que a diferença média apresentada pelos maiores e menores valores das triplicatas das doze sub-bacias analisadas para turbidez foi de 5,12 UNT (Tabelas 5.22 e 5.23). Uma vez que os parâmetros microbiológicos não foram aferidos em triplicata, não foi possível realizar esta comparação para os parâmetros CT e *E. coli*.

O modelo SVR apresentou resultados inferiores aos apresentados pelo modelo K-NNR. Destaca-se ainda que ao se analisar o comportamento das curvas de concentração extrapoladas pelo modelo SVM para as 34 sub-bacias hidrográficas (Figura 5.63), fica evidente que o modelo predisse valores de concentração quase que iguais para todas as sub-bacias, sendo que a maioria dos picos observados nos gráficos são correspondentes aos valores de concentração das 10 sub-bacias de treinamento.

O coeficiente de determinação (R^2) possibilitou analisar ainda a qualidade dos ajustes dos modelos K-NNR e SVR, ao apresentar a proporção da variação entre os valores observados e os valores extrapolados dos PQA para os quatro períodos sazonais conjuntamente (Tabela 5.24).

Tabela 5.24 – Coeficiente de determinação (R^2) entre os valores observados e os valores extrapolados pelos modelos K-NNR e SVR

Modelo	Coeficiente de determinação– R^2											
	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	<i>E. coli</i>
K-NN	0,8	0,96	0,66	0,90	0,96	0,94	0,96	0,97	0,99	0,67	-	0,31
SVR	0,66	0,89	0,36	0,70	0,66	0,73	0,20	0,14	0	0,01	-	0,17

O modelo K-NNR apresentou R^2 superior ao modelo SVR para todos PQA, tendo o modelo K-NNR apresentado forte ajuste ($R^2 > 0,8$) entre os valores observados e os valores extrapolados para 9 dos 10 parâmetros físico-químicos, com R^2 de 0,66 para o parâmetro turbidez (Tabela 5.24). O modelo SVR apresentou forte ajuste apenas para o parâmetro temperatura, a qual obteve R^2 de 0,89 (Tabela 5.24). Ambos modelos apresentaram baixo ajuste entre os valores observados e os valores extrapolados para os parâmetros microbiológicos (Tabela 5.24).

Uma vez que as maiores entradas de coliformes totais e *E. coli* nos canais superficiais das sub-bacias em análise ocorrem principalmente por lançamentos pontuais de efluentes, as

variáveis biofisiográficas utilizadas como variáveis explicativas na extrapolação dos parâmetros de qualidade de água neste estudo não foram suficientes para prever valores dos parâmetros microbiológicos com acurácia semelhante às acurácias apresentadas nas extrapolações dos valores dos parâmetros físico-químicos. Tendo os valores de *E. coli* apresentado forte correlação com os valores de Temperatura ($r = 0,84$), Oxigênio dissolvido ($r = -0,84$) e Resistividade ($r = -0,78$) (Tabela 5.13), em trabalhos futuros os valores de *E. coli* podem ser refinados a partir dos valores destes parâmetros.

5.3.4 Modelo 3

Diante da superioridade apresentada pelo modelo K-NNR em relação ao modelo SVR na extrapolação dos PQA, com base nos dados de treinamento de 10 sub-bacias, para as extrapolações dos PQA realizadas a partir dos dados de treinamento das 12 sub-bacias analisadas nos quatro períodos sazonais, foi empregado apenas o método K-NNR.

A Figura 5.64 apresenta as extrapolações dos PQA obtidas para 32 sub-bacias, para os períodos sazonais Inverno, Verão, Outono e Primavera, pelo Modelo 1 (K-NNR), além dos valores medidos em campo para 12 sub-bacias, utilizadas no treinamento deste modelo. Os valores tabulados são apresentados no Apêndice 4. As figuras 5.65, 5.66, 5.67 e 5.68 expõem estes mesmos dados representados cartograficamente a partir de mapas temáticos.

Observa-se que a amplitude térmica das águas das sub-bacias durante os quatro períodos sazonais é quase que coincidente entre as 44 sub-bacias. A temperatura das águas superficiais das sub-bacias da Bacia PJ apresentou tendência de aumento da porção leste para a porção oeste durante os quatro períodos sazonais, sendo que no período seco foi mais elevada nas sub-bacias da porção central (Figuras 5.65 a 5.68). A temperatura apresentou alta correlação positiva com as variáveis áreas urbanas, cultivos agrícolas, pastagem, Cm e EPS (Apêndice 5.A). Já para as variáveis silvicultura, florestas, Dd, Dh e Tt, a temperatura apresentou alta correlação negativa (Apêndice 5.A). Estas correlações podem ser explicadas pela ocorrência ou ausência de matas ciliares, elevando a temperatura das águas superficiais nos trechos em que estas foram suprimidas, além da variável altitude, que apresentou correlação negativa com a temperatura, de modo que as sub-bacias mais elevadas apresentaram águas mais frias.

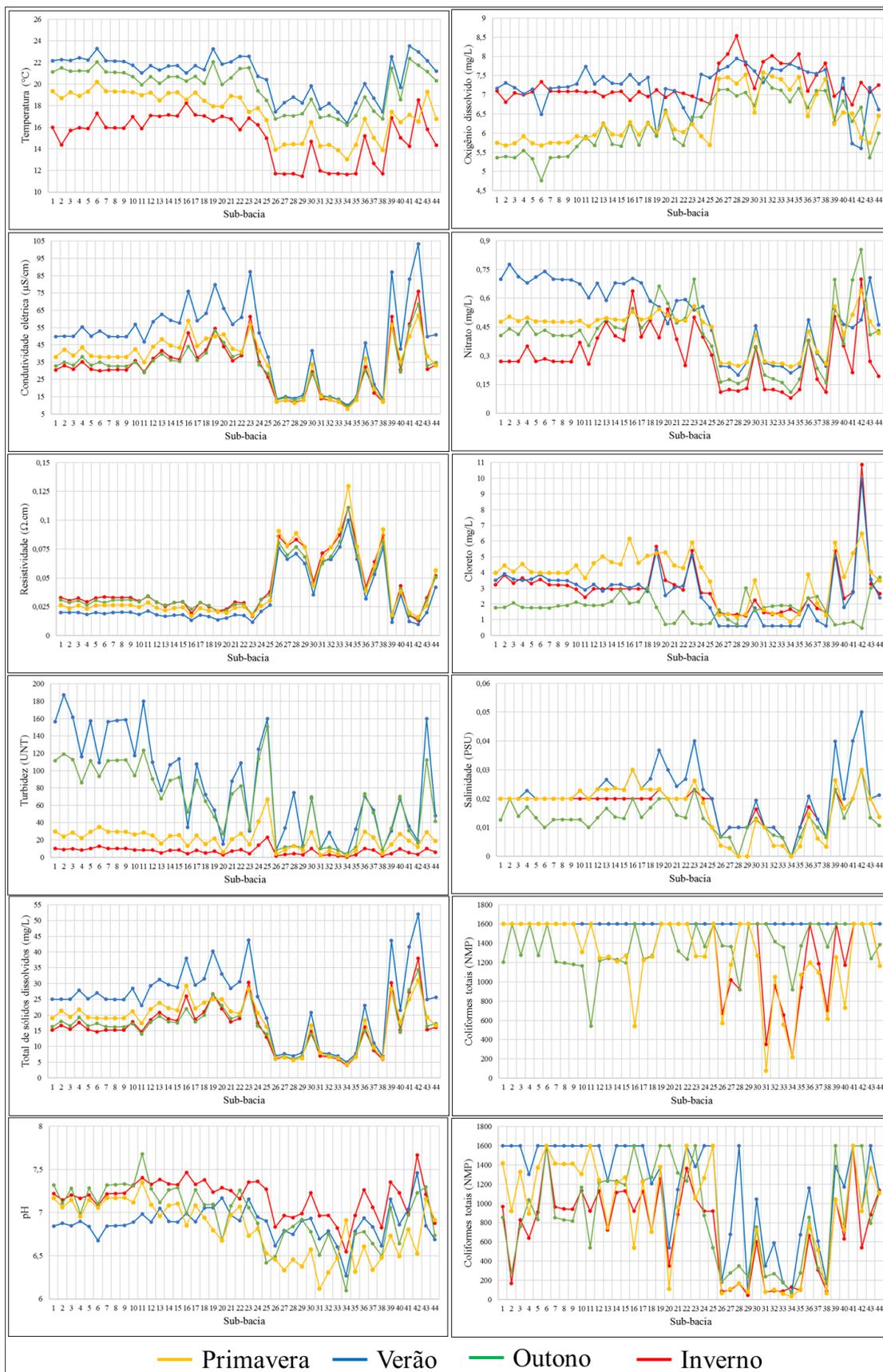


Figura 5.64 - Extrapolações dos PQA obtidas para 32 sub-bacias, para 4 períodos sazonais, pelo método K-KNN, além dos valores medidos em campo para 12 sub-bacias, utilizadas no treinamento deste modelo.

Os maiores valores de concentração de OD foram observados nas águas das sub-bacias de maior altitude, que correspondem às localizadas na porção sudeste da Bacia PJ (sub-bacias 26 a 38 - Figura 5.64), as quais concentram extensas áreas florestais. As concentrações de OD tendem a diminuir de leste para oeste (Figuras 5.65G a 5.68G). A concentração média anual de OD apresenta alta correlação negativa com pastagem, área urbana, cultivos agrícolas, Cm e Eps; e correlação positiva com florestas, silvicultura, Dd e Tt (Apêndice 5.A). De modo geral, houve uma elevação dos valores de OD no período chuvoso. Esta constatação apresenta correspondência com os resultados obtidos por Haddad et al. (2010).

Os PQA CE, turbidez, TSD, nitrato, cloreto e salinidade apresentaram alta amplitude nos valores de concentração entre os períodos seco e chuvoso nas sub-bacias de 1 a 25 e de 39 a 44 (Figura 5.64), nas porções central e oeste da Bacia PJ, as quais são ocupadas predominante por cultivos agrícolas e pastagens, além de núcleos urbanos. Estas variáveis apresentaram alta correlação com os valores médios anuais dos referidos PQA, principalmente no período chuvoso (Apêndice 5.A). Os trabalhos de Filoso et al. (2003), onde foi obtida alta correlação positiva entre concentração de nitrogênio e usos agrícolas e urbanos, e de Esteves et al. (2015), em que áreas ocupadas por pastagem apresentaram alta correlação positiva com os maiores valores de nitrato e CE, principalmente no período chuvoso, apontam para resultados semelhantes aos obtidos neste estudo.

Já nas sub-bacias de 26 a 38, com mais de 70% de suas áreas cobertas por florestas, os PQA condutividade elétrica, turbidez, total de sólidos dissolvidos, nitrato, cloreto e salinidade apresentaram valores baixos e quase constantes nos quatros períodos sazonais (Figuras 5.64 a 5.68), de modo que estes PQA apresentaram alta correlação negativa com as variáveis florestas, silvicultura, Dd, Tt e alta declividade (Apêndice 5.A). Filoso et al. (2003) também apontaram correlação negativa entre florestas e nitrogênio.

Os valores de pH mais básicos exibiram correlação positiva com as pastagem e áreas urbanas. Os valores de pH mais ácidos apresentaram correlação negativa com florestas e silviculturas, decorrentes da decomposição da matéria orgânica da vegetação ripária.

Os maiores valores de *E. coli* e CT ocorrem nas sub-bacias de 1 a 25 e de 39 a 44, sobretudo no período chuvoso, enquanto que as sub-bacias de 26 a 38 são as que apresentaram os menores valores. Estes PQA possuem alta correlação positiva com as variáveis núcleos urbanos e pastagem, e alta correlação negativa com florestas. Constatações semelhantes são reportadas por Souza et al. (2014) e Haddad et al. (2010).

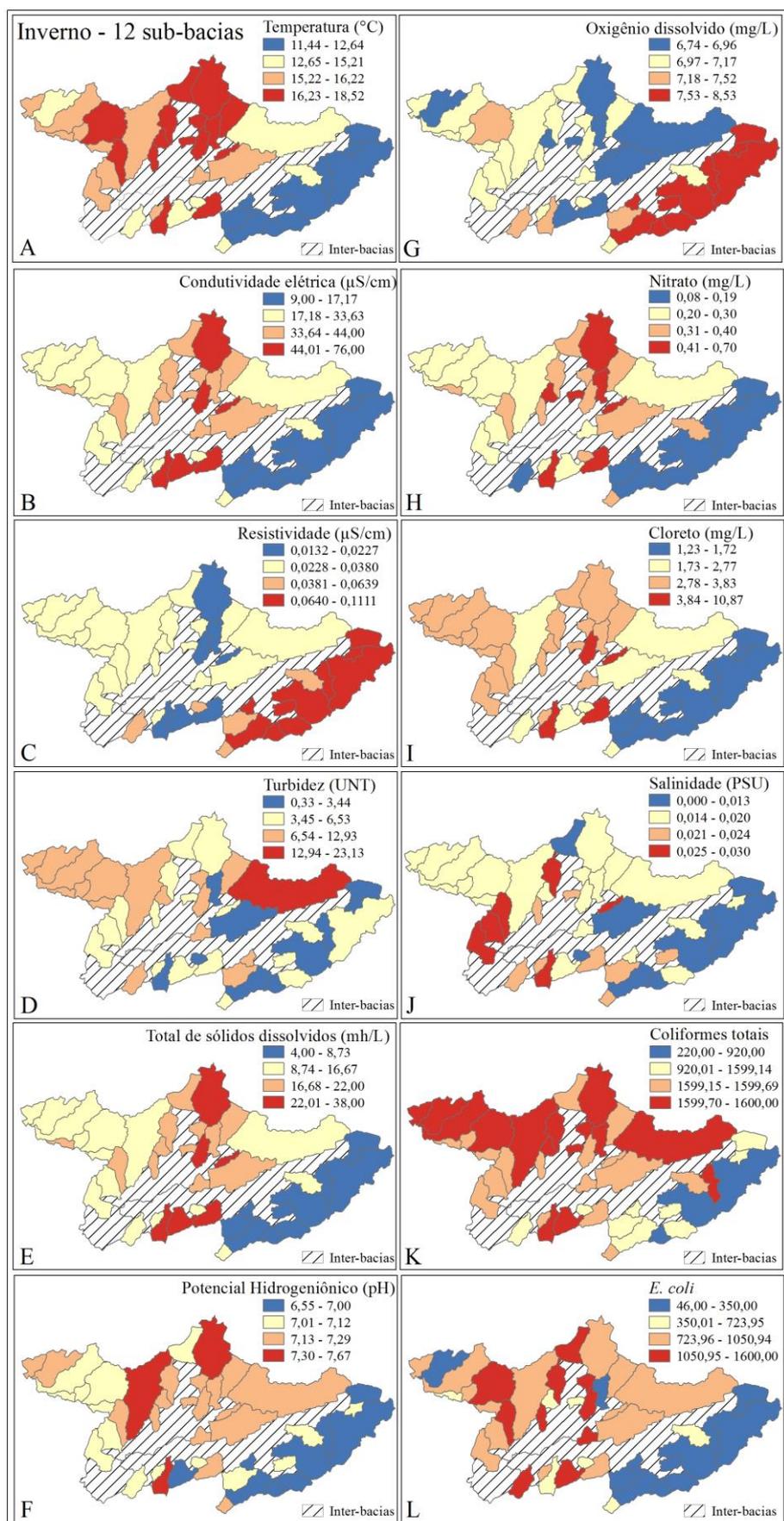


Figura 5.65 - Mapas de concentração dos parâmetros de qualidade da água nas sub-bacias da Bacia PJ para período Seco (Inverno).

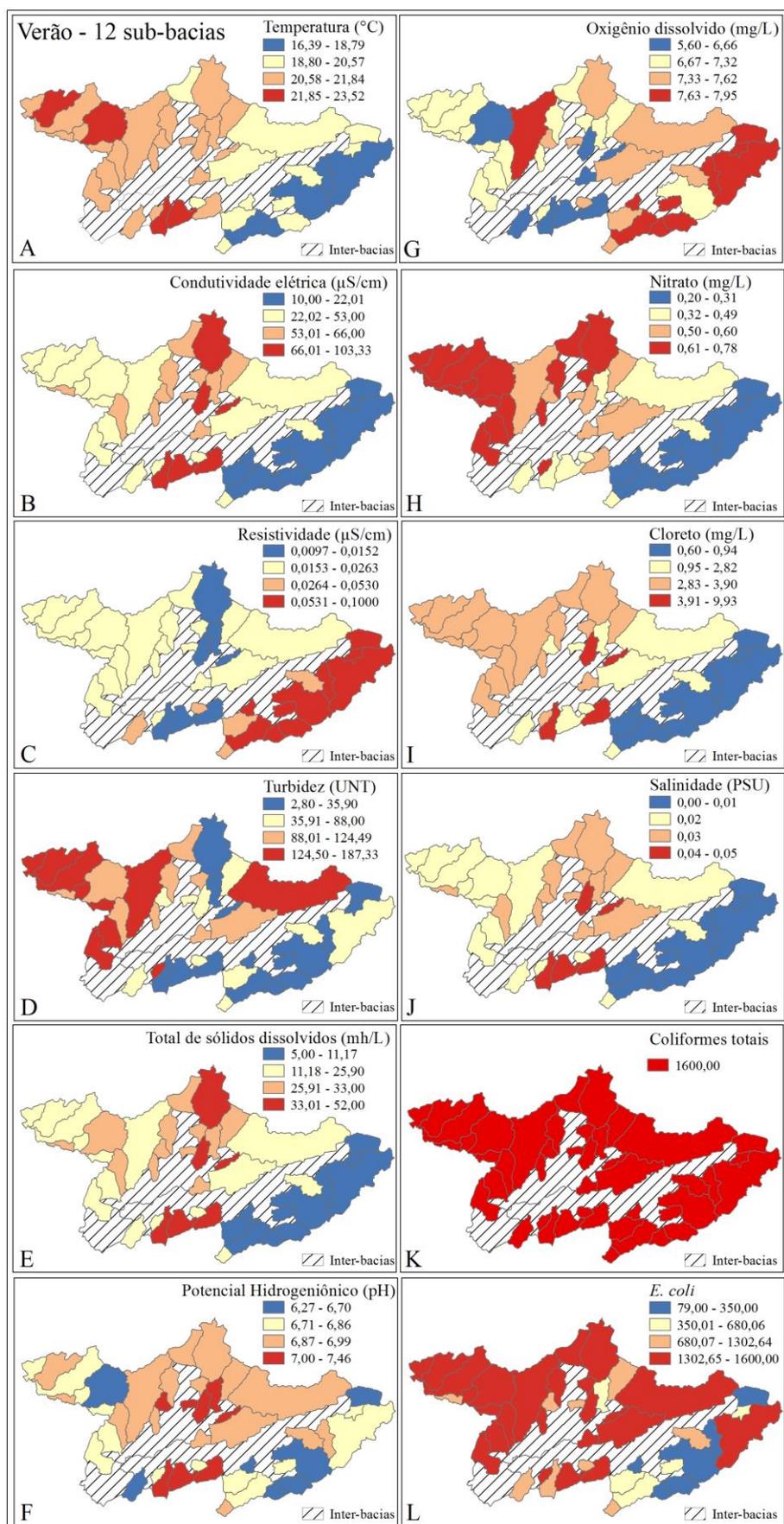


Figura 5.66 - Mapas de concentração dos parâmetros de qualidade da água nas sub-bacias da Bacia PJ para período Chuvoso (Verão).

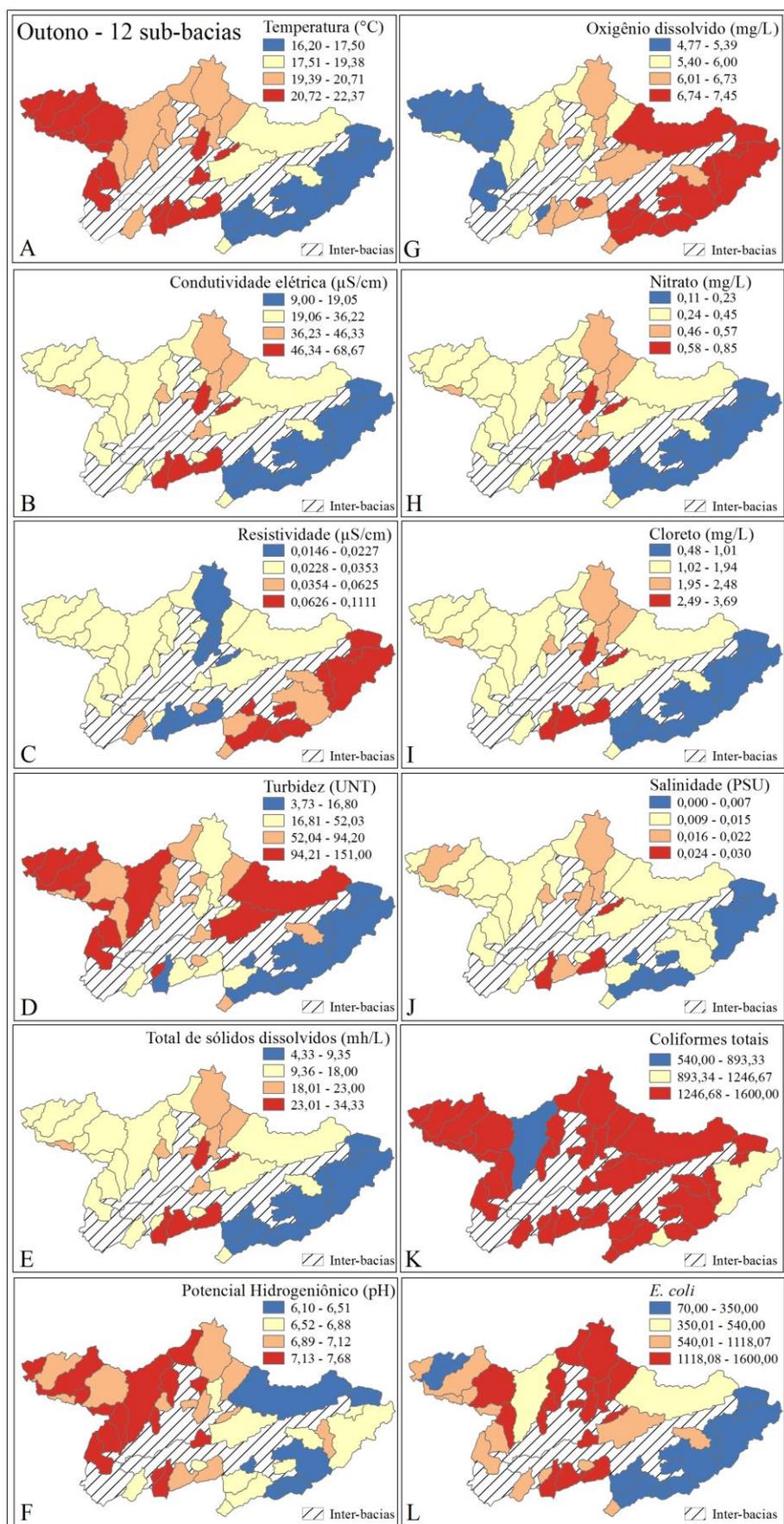


Figura 5.67 - Mapas de concentração dos parâmetros de qualidade da água nas sub-bacias da Bacia PJ para período Intermediário I (Outono).

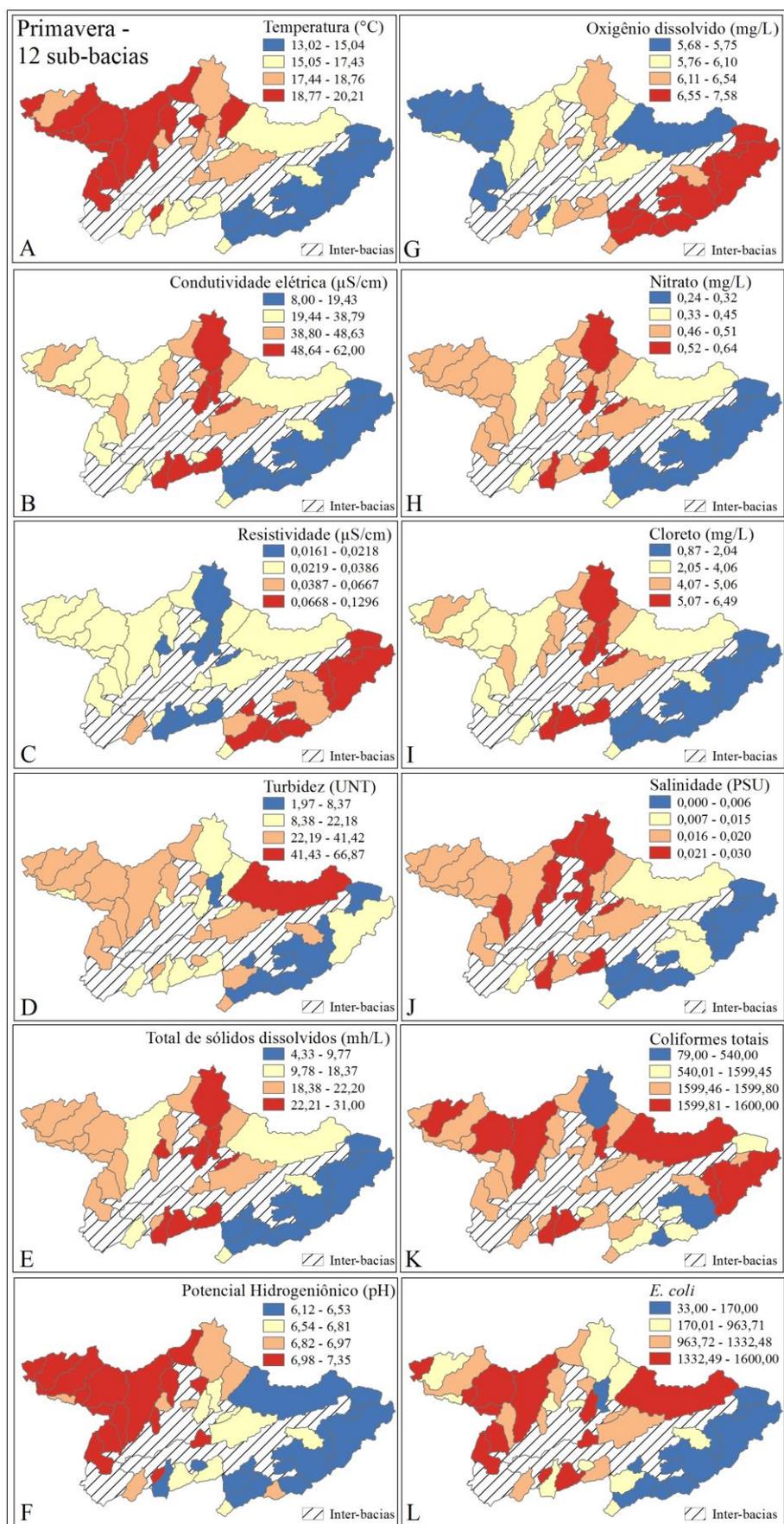


Figura 5.68 - Mapas de concentração dos parâmetros de qualidade da água nas sub-bacias da Bacia PJ para período Intermediário II (Primavera).

Para a avaliação deste modelo foram calculadas as diferenças entre os valores medidos para as sub-bacias 03, 09, 24, 26, 33 e 44, na campanha de amostragem realizada nos dias 5 e 7 de junho de 2017, com os valores extrapolados para estas sub-bacias nos quatro períodos sazonais. Estas diferenças foram comparadas aos valores medidos para as sub-bacias 02 e 34 com os valores médios das campanhas de amostragens realizadas nos quatro períodos sazonais (Figura 5.69).

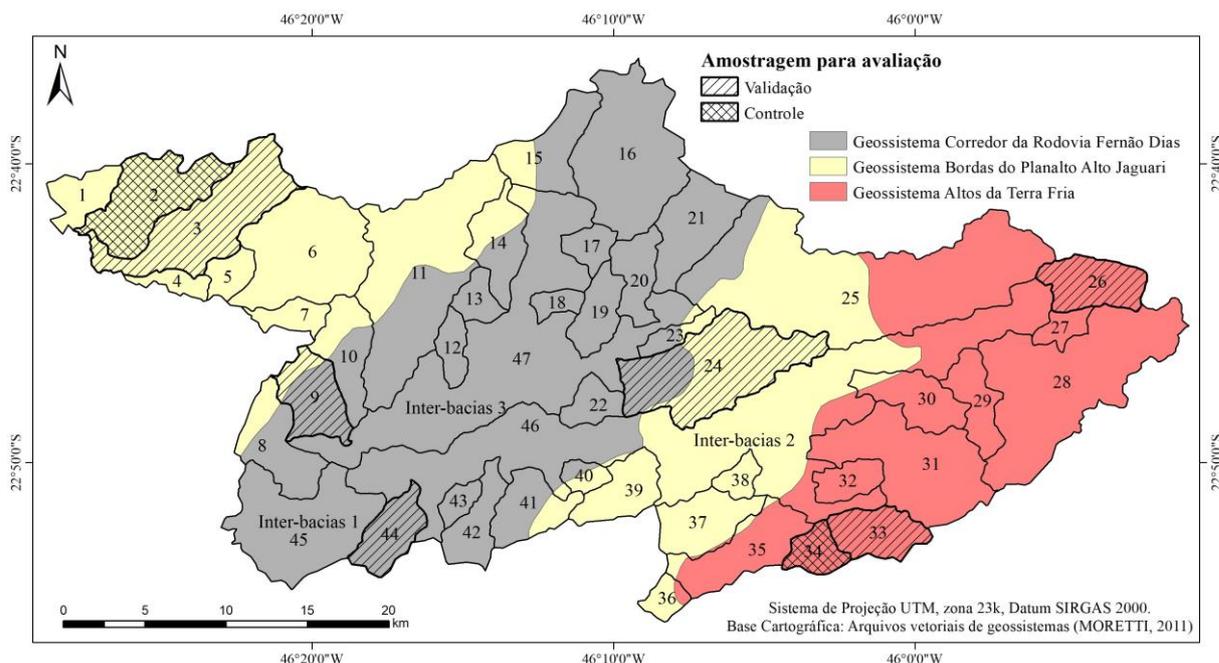


Figura 5.69 - Mapa dos geossistemas e sub-bacias hidrográficas do alto rio Piracicaba-Jaguari – MG, com destaque as sub-bacias hachuradas, as quais foram utilizadas na validação do modelo composto.

Ao se comparar os valores de concentração aferidos na campanha de amostragem realizada nos dias 05 e 07 de junho de 2017 para as seis novas sub-bacias (sub-bacias 3, 9, 24, 26, 33 e 44) e para as duas sub-bacias de controle (sub-bacias 02 e 34) com os valores extrapolados pelo Modelo 3 (K-NNR) para estas seis sub-bacias e os valores aferidos para as duas sub-bacias de controle, é possível analisar com quais períodos sazonais as concentrações aferidas nesta última campanha de amostragem apresentam maior similaridade, além de possibilitar averiguar se o comportamento dos MAE das sub-bacias de controle apresentam os mesmos padrões aos dos MAE das sub-bacias de validação.

Os dados apresentados na Tabela 5.25 apontam que de modo geral, as diferenças apresentadas pelas sub-bacias de validação exibiram comportamento semelhante aos apresentados pelas sub-bacias de controle. Nota-se que para ambos as menores diferenças para temperatura, oxigênio dissolvido, nitrato, condutividade elétrica e salinidade ocorrem

quando comparadas com a estação climática Primavera, qual se enquadra no período sazonal intermediário.

Tabela 5.25 - Diferença entre os valores aferidos no campo realizados nos dias 5 e 6 de junho de 2017 com os valores extrapolados para cada período sazonal.

Sub-bacia	Período sazonal	MAE										
		pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	<i>E. coli</i>
Controle	Inverno	0,40	3,56	9,82	0,61	0,16	1,33	1,00	0,0101	0,0050	87,00	774,50
	Verão	0,13	2,76	80,90	0,86	0,16	5,00	9,00	0,0097	0,0050	777,00	34,00
	Outono	0,16	2,29	47,07	0,59	0,05	1,83	2,00	0,0109	0,0050	437,00	689,50
	Primavera	0,54	1,23	1,66	0,29	0,05	3,50	6,17	0,0227	0,0050	87,00	351,00
	Média	0,31	2,46	34,86	0,59	0,11	2,92	4,54	0,01	0,01	347,00	462,25
Validação	Inverno	0,72	2,44	11,15	0,84	0,18	3,46	6,84	0,0202	0,0039	0,77	706,57
	Verão	0,43	3,47	68,67	0,86	0,08	5,41	10,98	0,0157	0,0036	0,00	326,82
	Outono	0,58	2,54	49,89	0,59	0,09	2,98	6,02	0,0175	0,0053	0,36	717,65
	Primavera	0,55	1,79	12,91	0,58	0,05	2,59	5,66	0,0213	0,0051	0,52	499,50
	Média	0,57	2,56	35,65	0,72	0,10	3,61	7,37	0,02	0,00	0,41	562,64

Diante de tais constatações, consideramos que o Modelo 3 (K-NNR) apresentou ótimo desempenho na extrapolação dos parâmetros de qualidade da água.

5.4 Regiões de qualidade da água da Bacia PJ

A análise de silhuetas auxiliou a escolha do número mais adequado de regiões de qualidade de água no contexto da Bacia PJ. Os gráficos de silhuetas para os cinco níveis de agrupamento apresentaram os seguintes valores médios de silhueta: duas regiões – 0,45; três regiões – 0,26; quatro regiões – 0,26; cinco regiões – 0,22; e seis regiões – 0,23 (Figura 5.70).

O agrupamento com seis regiões apresentou valor de silhueta abaixo da média, não sendo indicado o seu uso. Embora os agrupamentos com quatro e cinco regiões tenham apresentado valores de silhueta acima da média para os seus respectivos agrupamentos, alguns elementos (sub-bacias) de suas regiões apresentaram silhueta com valor negativo, o que sugere que podem ter sido atribuídos à região errada, como pode ser observado na região 1 do agrupamento com quatro regiões e na região 1 do agrupamento com cinco regiões (Figura 5.70).

Diante de tais constatações, a análise de silhuetas sugere que os agrupamentos com duas e três regiões são os mais indicados para regionalizar as 44 sub-bacias hidrográficas da Bacia PJ.

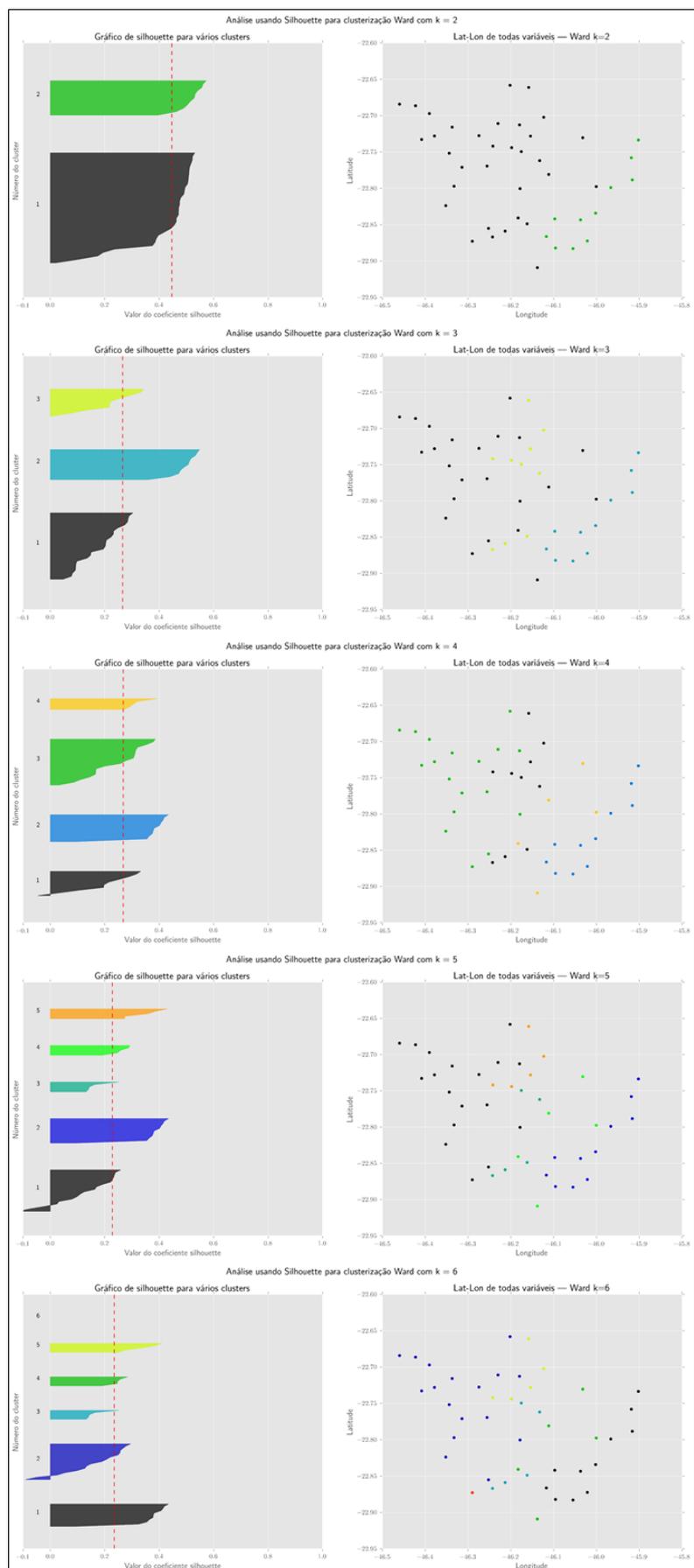


Figura 5.70 - Análise de silhueta para o agrupamento realizado pelo método de Ward.

Na Figura 5.71 as sub-bacias são apresentadas agrupadas em duas regiões. A Região I é composta por 11 sub-bacias e a Região II é composta por 33 sub-bacias.

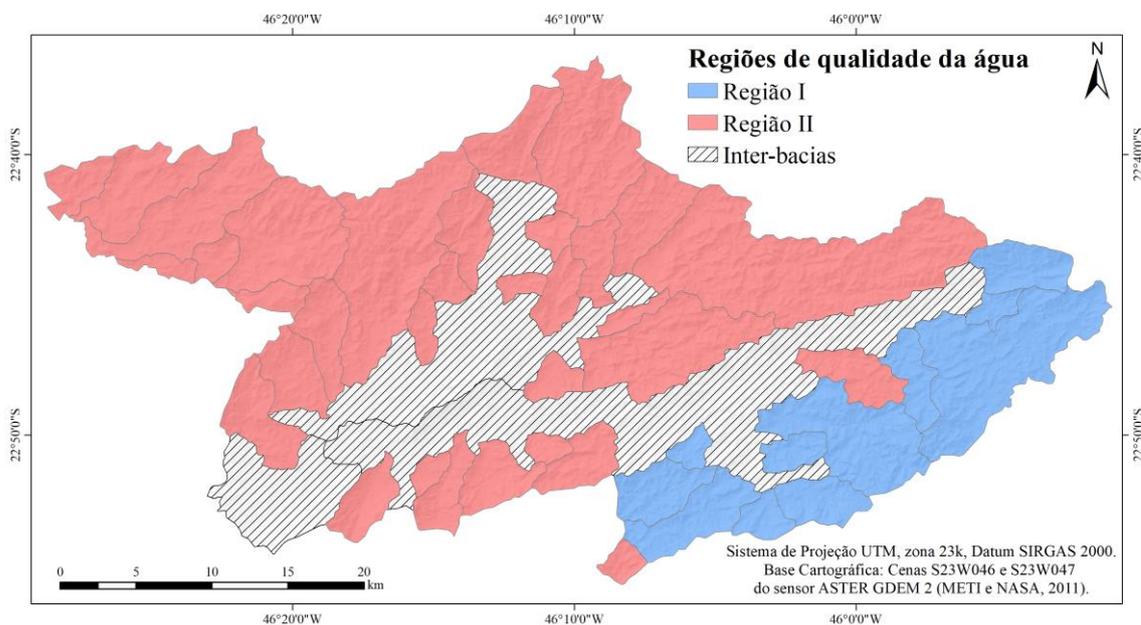


Figura 5.71 - Regiões de qualidade da água da Bacia PJ, representadas em dois clusters.

A Região I é composta pelas sub-bacias localizadas nas porções sudeste e leste da Bacia PJ. Esta região corresponde às áreas de maior altitude da Bacia PJ, correspondentes à relevos de morro, morrotes e serras, tais como: Serra Selado, Serra dos Poncianos, Serra da Santa Bárbara, Serra da Bocaina, Serra das Três Orelhas e Serra do Juncal. Estas áreas concentram os maiores remanescentes de Florestais Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista (Figuras 5.72, 5.73, 5.74 e 5.79). A Região I é também a região com maior densidade de drenagem, prevalecendo os padrões retangular e treliça, condicionados pelas falhas e fraturas do Granito Gonçalves.

A Companhia Melhoramentos possui uma unidade instalada nesta região, que corresponde à Fazenda Levantina, onde realiza o manejo de Pinus e de Eucalipto em áreas de morro e morrotes, entremeados à pequenos fragmentos de floresta ombrófila densa e à pequenas lavouras e pastagens (Figuras 5.76 e 5.78), criando assim um complexo mosaico de usos do solo.

Os núcleos urbanos pertencentes à esta região correspondem ao Distrito de Monte Verde (sub-bacia 33) e aos bairros rurais Bom Jardim (sub-bacia 31) e Juncal (sub-bacia 26).

As sub-bacias formadoras desta região são as que mais apresentaram valores dos parâmetros de qualidade da água em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357, com baixa variabilidade dos valores entre o período seco e chuvoso. Esta região apresenta uma

distribuição espacial semelhante ao Geossistema Altos da Terra Fria, delimitado por Moretti e Ferreira (2011). As figuras de 5.72 a 5.81 retratam a paisagem da Região I.



Figura 5.72 – Remanescente de Floresta Ombrófila Densa – sub-bacia 33. (Fonte: Moretti, 2011)



Figura 5.73 – Remanescente de Floresta Ombrófila Mista – sub-bacia 26.



Figura 5.74 – Estrada sob remanescente de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana – sub-bacia 31.



Figura 5.75 – Epífitas (barba-de-velho, samambaia e bromélia) pendente em galhos e ramos – sub-bacia 31.



Figura 5.76 – Trecho de curso d'água com mata ciliar parcialmente preservada – sub-bacia 31.



Figura 5.77 – Trecho de curso d'água com mata ciliar preservada – sub-bacia 26.



Figura 5.78 – Remanescente de floresta ombrófila densa (primeiro plano) e cultivo de eucalipto, ao fundo.

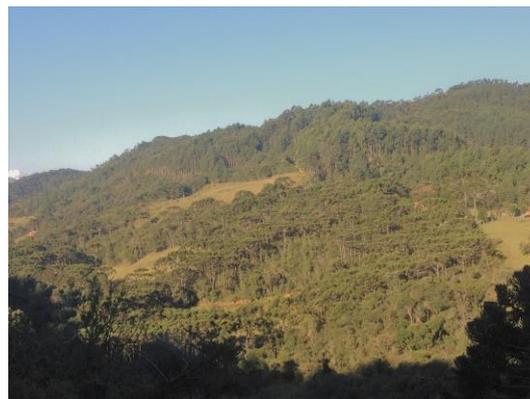


Figura 5.79 – Remanescente de floresta ombrófila mista (primeiro plano) e eucalipto (segundo plano).



Figura 5.80 – Bairro Bom Jardim – sub-bacia 31.



Figura 5.81 – Ribeirão Monte Verde, com Serra dos Poncianos ao fundo – sub-bacia 33.

A Região II é composta pelas sub-bacias das porções nordeste, norte, central, oeste e sudoeste da Bacia PJ. As altitudes nesta região variam de 900 a 1300 metros, com predomínio de colinas amplas e planícies abertas, associadas a morrotes e morros, onde se desenvolvem atividades agrícolas e pecuárias, entremeadas por fragmentos florestais de Floresta Estacional Decídua, que ocorrem principalmente nos fundos de vale e em vertentes íngremes. Grande parte dos fundos de vale das sub-bacias dessa região encontra-se degradada.

As principais atividades agrícolas desenvolvidas nesta região são os cultivos de milho, batata, feijão, tomate, mandioca e repolho (Figuras 5.82, 5.83, 5.84, 5.86, 5.87, 5.92 e 5.93), nas quais fazem uso de pesticidas e fertilizantes nitrogenados. As áreas de pastagens destinam-se sobretudo à atividade pecuária, com a criação de bovinos, tanto para fim comercial quanto para fim familiar. Em ambos, esta atividade ocorre de forma extensiva, sem grandes cuidados com as pastagens, que por sua vez encontram-se degradadas em diversas áreas desta região (Figuras 5.94, 5.96 e 5.97).

Esta região concentra áreas dos núcleos urbanos dos municípios de Toledo (sub-bacias 05 e 06), Camanducaia (sub-bacias 20, 23 e 25) e Extrema (sub-bacia 08), assim como um grande número de vilas e bairros rurais, a saber: bairro Paiol da Vargem (sub-bacia 02), Vila

dos Pereiras (sub-bacia 03), bairro dos Lemos (sub-bacia 03), bairros São José de Toledo, Moinhos e Pinhal Grande (sub-bacia 06), bairro dos Tenentes (sub-bacia 09), bairros dos Protestantes e Juncal (sub-bacia 11), bairro Sertãozinho (sub-bacia 16), bairro Salto de Cima (sub-bacia 41) e bairro dos Forjos (sub-bacia 44).

Diante de tais características, as sub-bacias integrantes da Região II foram as que mais apresentaram parâmetros de qualidade da água em desconformidade com as normas estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357, de 2005. Mesmo quando os parâmetros estavam em conformidade, apresentavam, geralmente, qualidade inferior aos apresentados pelas sub-bacias formadoras da Região I.



Figura 5.82 – Extensas áreas ocupadas por pastagem e grande parcela de eucalipto (canto superior direito) – sub-bacia 02.



Figura 5.83 – Pastagem, fragmento de floresta estacional semidecídua e cultivos de milho e repolho – sub-bacia 02.



Figura 5.84 – Solo preparado para cultivo (primeiro plano), cultivos de milho e repolho (segundo plano) e pastagens, ao fundo – sub-bacia 03, mês de outubro.



Figura 5.85 – Fragmento de floresta estacional semidecídua e cultivos agrícolas ao fundo – sub-bacia 03.



Figura 5.86 – Pastagem em colina ampla e fundo de vale com mata ciliar conservada – sub-bacia 03.



Figura 5.87 – Vegetação secundária e bairro rural ao fundo – sub-bacia 10.



Figura 5.88 – Cultivo de repolho – sub-bacia 25.



Figura 5.89 – Fragmentos de Floresta Omb. Densa entremeados por cultivos de eucalipto – sub-bacia 25.



Figura 5.90 – Bairro rural dos Tenentes – sub-bacia 09.



Figura 5.91 – Mata ciliar degradada, com erosão de margem devido ao pisoteio do gado – sub-bacia 02



Figura 5.92 – Pastagem degradada e área urbana do município de Camanducaia, ao fundo – sub-bacia 20.



Figura 5.93 – Pastagem degradada em relevo de morro, com ocorrência de ravinas – sub-bacia 42.



Figura 5.94 – Fundo de vale com supressão da mata ciliar, com por pastagem degradada destinada à criação de bovinos – sub-bacia 20.



Figura 5.95 – Colina ocupada por pastagem e fragmentos de floresta estacional semidecídua, às margens da Rodovia Fernão Dias – sub-bacia 21.



Figura 5.96 – Trecho de canal principal da sub-bacia 20, com supressão de mata ciliar.



Figura 5.97 – Bairro rural Sertãozinho, com residências dentro dos limites das áreas de preservação permanente – sub-bacia 16.

Com o agrupamento realizado um passo atrás ao do anterior, tem-se a formação de três regiões, conforme apresentado na Figura 5.98.

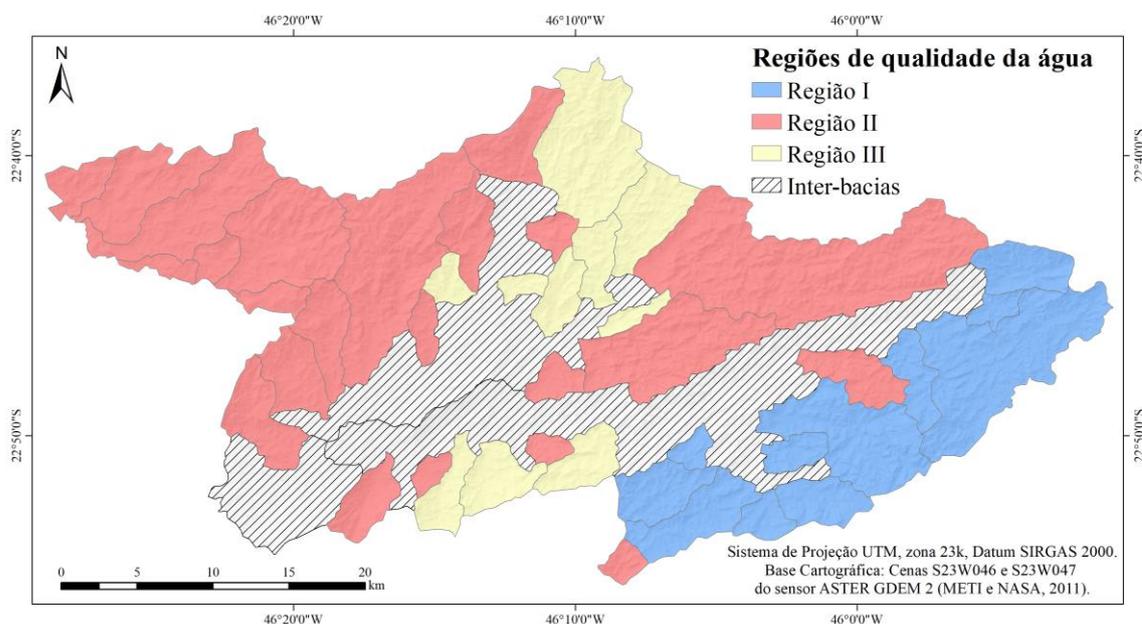


Figura 5.98 - Regiões de qualidade da água da Bacia PJ, representadas em três regiões.

Observa-se que a Região I do agrupamento anterior não se alterou, enquanto que a Região II foi subdivida em duas regiões. Desta forma, o agrupamento em três regiões apresenta a Região I, composta por 11 sub-bacias, a Região II, formada por 23 sub-bacias e a Região III, que abrange 10 sub-bacias (Figura 5.98).

A Região I deste agrupamento corresponde ao mesmo do agrupamento anterior. Já as regiões II e III são sub-regiões da Região II do agrupamento anterior. A Região II apresenta padrão espacial semelhante ao Geossistema Bordas do Planalto Alto Jaguari, enquanto que a Região III apresenta semelhança com o Geossistema Corredor da Rodovia Fernão Dias (MORETTI e FERREIRA, 2011).

As sub-bacias conformadoras da Região II são aquelas localizadas principalmente nas porções nordeste e oeste da Bacia PJ, com grande presença dos cultivos agrícolas (Figuras 5.82 a 5.91), enquanto que nas sub-bacias da Região III predominam bairros rurais e núcleos urbanos associados a áreas de pastagem (Figuras 5.92 a 5.97).

A Região II, por ser composta por sub-bacias com uso predominantemente agrícola e de pecuária, apresentou, no período chuvoso, os valores mais baixos de qualidade da água. Com as precipitações, defensivos agrícolas, dejetos de animais das atividades pecuárias e fertilizantes são lixiviados pelo escoamento superficial, sendo lançados diretamente nos rios, que em sua maioria, são desprovidos de mata ciliar, nesta região.

Durante o período seco, os parâmetros de qualidade da água das sub-bacias da Região III tendem a apresentar qualidade variando de regular a baixa. Em virtude da baixa vazão dos rios neste período, os efluentes antrópicos neles lançados ficam menos diluídos, havendo assim, uma maior influência de fontes pontuais.

6. CONCLUSÕES

A abordagem geossistêmica utilizada nesta pesquisa, integrando elementos da estrutura espacial da paisagem a medidas de parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas do rio principal de sub-bacias hidrográficas, foi uma estratégia eficiente para a regionalização da qualidade da água na alta bacia do Piracicaba-Jaguari.

A metodologia de regionalização utilizada permitiu, de forma satisfatória, a extrapolação de valores de parâmetros de qualidade da água coletados em sub-bacias amostradas, para sub-bacias não monitoradas, considerando-se as similaridades definidas pelo uso da terra e cobertura vegetal e morfologia e morfometria do relevo.

Os resultados obtidos a partir do uso desta metodologia de extrapolação de dados, na alta bacia do Piracicaba-Jaguari, foram coerentes a outros estudos apresentados na literatura e desenvolvidos em bacias hidrográficas situadas em diferentes países. O modelo empregando o método K-NNR obteve menor MAE e, portanto, foi superior ao SVR. Tais resultados evidenciam o potencial de se identificar PQA indiretamente a partir de variáveis biofisiográficas.

A partir do método de agrupamento hierárquico de Ward e do índice de silhueta, foram delimitadas três regiões relativamente homogêneas de qualidade da água. Estas foram compostas por sub-bacias hidrográficas que foram agrupadas de acordo com suas particularidades geográficas, definidas por variáveis de qualidade da água e variáveis biofisiográficas. Estas três regiões de sub-bacias apresentaram clara correspondência espacial com os limites geográficos dos geossistemas terrestres da Área de Proteção Ambiental Fernão Dias, mapeados por Moretti e Ferreira (2011). A Região I foi associada ao geossistema *Altos da Terra Fria*; a Região II, ao geossistema *Bordas do Planalto Alto Jaguari*; e, a Região III, associada ao geossistema *Corredor da Rodovia Fernão Dias*.

Nas Regiões II e III, as sub-bacias com baixos valores de percentual de remanescentes florestais apresentaram um número maior de parâmetros de qualidade da água com valores em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357, quando comparadas às sub-bacias com maior proporção de florestas e localizadas na Região I. Estas constatações, embora esperadas, confirmam a importância da preservação da cobertura vegetal nativa para a manutenção da qualidade da água dos rios da APA Fernão Dias.

De modo geral, as sub-bacias da Bacia PJ apresentam águas de boa qualidade. Entretanto, a qualidade das águas da Bacia PJ pode estar comprometida em futuro próximo.

As atividades agrícolas, desenvolvidas em pequenas e médias propriedades, principalmente na Região II, fazem uso de agrotóxicos, não sendo empregadas práticas conservacionistas na maioria dos casos. Assim, há a necessidade de trabalhos extensionistas de órgãos públicos para com os produtores, com enfoque em boas práticas de manejo e a importância de se manter a vegetação nativa nas áreas de mananciais.

A Região III caracteriza-se por possuir sub-bacias ocupadas também por espaços urbanizados, e por isto, são receptoras de efluentes domésticos não tratados. Cabe às gestões municipais a concretização de suas respectivas estações de tratamento de esgoto, e o incentivo ao uso de fossas sépticas nas áreas onde não há coleta de esgoto, para que, futuramente, as águas desta Região não apresentem padrões de qualidade inferiores aos observados durante o período em que foi realizada esta pesquisa.

Embora a Região I seja composta por sub-bacias cujas águas de seus canais principais apresentaram elevado padrão de qualidade, essa está ocupada também por espaços destinados à silvicultura. A expansão desta atividade para novas áreas da Região I pode comprometer a qualidade de suas águas, sobretudo se ocorrer por meio de supressão de florestas. Destaca-se ainda, o alto potencial turístico da Região I, que atrai grande número de turistas durante todo o ano, sobretudo no distrito de Monte Verde, o que pode comprometer a qualidade das águas das nascentes localizadas no entorno deste distrito, se usadas de forma inadequada.

É de fundamental importância a incorporação de métodos e técnicas espaciais alternativos à análise *in situ*, que auxiliem no monitoramento periódico da qualidade das águas, tais como os apresentados nesta pesquisa. A abordagem metodológica utilizada possibilita a redução do custo do monitoramento da qualidade das águas superficiais e permite que um maior número de sub-bacias seja monitorado em menos tempo, uma vez que as análises *in situ* são onerosas, e acabam por serem realizadas em apenas uma pequena parcela dos rios brasileiros.

Ao propor um método capaz de descrever padrões de qualidade da água em sub-bacias hidrográficas que não dispõem de monitoramento periódico, como é o caso de regiões brasileiras, este trabalho se configura em uma contribuição à gestão de recursos hídricos em áreas de mananciais.

Embora a amostragem estratificada tenha incluído sub-bacias amostrais de todos os geossistemas da Bacia PJ, recomendamos que o número de amostras seja ampliado em pesquisas futuras, para se avaliar, desta maneira, a significância da homogeneidade das regiões mapeadas nesta pesquisa. Incentivamos também a replicação da metodologia em outras regiões do Brasil.

Entendemos que, com base nos resultados desta pesquisa, as regiões de qualidade da água propostas aqui, podem ser utilizadas como unidades de planejamento e de gestão da qualidade da água na alta bacia do Piracicaba-Jaguari e na APA Fernão Dias.

Por fim, comprovada a importância das áreas de florestas para a manutenção da boa qualidade das águas superficiais, recomendamos a criação e implantação de novos projetos tais como o *Conservador das Águas*, do município de Extrema, em áreas de mananciais, para que as águas superficiais estejam disponíveis em qualidade e quantidade para as atuais e futuras gerações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABERS, R. N.; DINO, K. Descentralização da Gestão da Água: Por que os comitês de bacia estão sendo criados? **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 8, n.2, p. 99-124, 2005.
- ABERS, R. N.; FORMIGA-YOHNSON, R. M.; FRANK, B.; KECK, M. E.; LEMOS, M. C. Inclusão, deliberação e controle: três dimensões de democracia nos comitês e consórcios de bacias hidrográficas no Brasil. **Ambiente e Sociedade**, v. 12, p. 55, 2009.
- AEMTEK. **iMPNplate™-1600 User Manual and MPN Table**. v.1, 2012.
- AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Relatório anual com o estado da arte dos cadastros de usuários**. 2016.
- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 81–97, 2003.
- ALVES, F. R.; RUBERTI, E.; VLACH, S. R. F. Magmatismo meso-cenozóico da região da Serra da Mantiqueira, SP/MG. **Boletim IG-USP**, v. 12, p. 7-9, 1992.
- AMORIM, R. C.; HENNING, C. Recovering the number of clusters in data sets with noise features using feature rescaling factors. **Journal Information Sciences**, v.324, n.C, p. 126-145, 2015.
- ANA (Brasil). **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 2011.
- ANA; CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.
- ANDRADE, E.M.; ARAÚJO, L.F.P; ROSA, M.F.; GOMES, R.B.; LOBATO, F.A.O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú-Ceará, Brasil. **Revista Ciência Rural**, v.37, n.6, p. 1791-1797, 2007.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20.ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1998. 1220p.
- ASTER, ASTER GDEM. Disponível em: < <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/> >. Acesso em: 06/out/2014.
- AZEVEDO NETO, J. M. **Manual de saneamento de cidades e edificações**. PINI Editora, São Paulo, SP, 1991.
- BAIRD, J.; JOLLINEAU, M.; PLUMMER, R.; VALENT, J. Exploring agricultural advice networks, beneficial management practices and water quality on the landscape: A geospatial social-ecological systems analysis. **Land Use Policy**, v. 51, n. 236-243, 2016.
- BARRETO, M. N. **Análise e previsão de carga crítica ativa e reativa do Sistema Elétrico Brasileiro**. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, 2014.
- BERTALANIFY, L. von. **General systems theory**. N. Y., 1933, 311 p.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global- esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra** – Instituto de Geografia – USP 13: 1-27, 1972.

BHAT, S., JACOBS, J.M., HATFIELD, K., PRENGER, J. Relationships between stream water chemistry and military land use in forested watersheds in Fort Benning. **Georgia. Ecol. Indic.** v. 6, p. 458–466, 2006.

BIGARELLA, J. J., BECKER, R. D., SANTOS, G. F. dos. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais vol. 3.** Contribuição de Maria Lúcia de Paula Herrmann... [et al.]. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 89.817**, de 20 de junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997.

BRASIL, **Lei No 9.984**, de 17 de julho de 2000. Estrutura Regimental (ANA). Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 17 de julho de 2000.

BRASIL, **Resolução nº 357** do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 17 de março de 2005.

BROWN, R.; MCCLELLAND, N.; DEININGER, R.; TOZER, R. A. Water Quality Index-do we dare. **Water and Sewage Works**, v. 11, p. 339-343, 1970.

BURN, D. H.; ZRINJI, Z.; KOWALCHULK, M. Regionalization of catchments for regional flood frequency analysis. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 2, n. 2, p. 76–82, 1997.

BURROUGH, P. A.; MCDONELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems** (Oxford University Press, New York), 1998, 190 p.

CASSETI, Valter. Geomorfologia. [S.l.]: [2005]. Disponível em: < <http://www.funape.org.br/geomorfologia/> >. Acesso em: 16/07/2015.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice de qualidade das águas.** Disponível em: < <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/02.pdf> > Acesso: 24/06/2015.

CETESB - Companhia ambiental do estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo:** significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. 2009.

CHORLEY, R.J.; KENNEDY, B. **Physical Geography. A systems approach.** Prentice Hall int. Inc., London, 1971, 370p.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Not. Geomorfol.**, v. 9, n. 18, p.36-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Blücher, 1999

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia.** São Paulo: Hucitec/Edusp, 1979.

- CLÉMENT, F.; RUIZ, J.; RODRÍGUEZ, M.; BLAIS, D.; CAMPEAU, S. Landscape diversity and forest edge density regulate stream water quality in agricultural catchments. **Ecological Indicators**, v.72, p. 627-639, 2017.
- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 458p., 1995.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. 1999. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and Practices**. Boca Raton, Florida: Lewis Publisher, 1999. 137p.
- CONSÓRCIO ERG-SCTP. **Plano de Gestão da APA Fernão Dias**. SEMAD-Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; IEF-Instituto Estadual de Florestas; IGAM-Instituto Mineiro de Gestão de Águas; FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente; DER-MG-Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais. Junho de 2008.
- CORTES, C.; VAPNIK, V. Support-vector networks. *Machine Learning*, v. 20, n. 3, p. 273–297, 1995.
- DANADES, A.; PRATAMA, D.; ANGGRAINI, D. Comparison of accuracy level K-Nearest Neighbor algorithm and Support Vector Machine algorithm in classification water quality status. In: **Anais: IEEE 6th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)**, Bandung – Indonesia, outubro de 2016.
- DOGAN, E.; SENGORUR, B.; KOKLU, R. Modeling Biological Oxygen Demand of the Melen River in Turkey Using an Artificial Neural Network Technique. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n.2, p.1229-1235, 2009.
- ESRI. **ArcGIS desktop: release 10.5**. Environmental Systems Research Institute, Redlands, 2016.
- ESTEVEZ, K. E.; LÔBO, A. V. P.; HILSDORF, A. W. S. Abiotic features of a river from the Upper Tietê River Basin (SP, Brazil) along an environmental gradient. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 2, p. 228-237, 2015.
- EVERITT, B. S. **The Cambridge Dictionary of Statistics**. 3ª ed. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2006.
- EXELIS. **Classificação de imagens orientada a objetos com ENVI FX**. Disponível em: <http://www.envi.com.br/index.php/modulos/fx> Acesso em: 02/09/2014.
- EXTREMA-MG, **Lei Municipal 2.100**, de 21 de dezembro de 2005. Cria o Projeto Conservador das Águas, autoriza o executivo a prestar apoio financeiro aos proprietários rurais e dá outras providências. Extrema-MG, 2005.
- FACELI, K.; LORENA, A. C.; GAMA, J.; CARVALHO, A. C. P. L. F. **Inteligência artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 378p.
- FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **Índice FIRJAN de desenvolvimento municipal: Ano base 2013**. Rio de Janeiro, 2015.
- FELDE, G.W.; ANDERSON, G.P.; COOLEY, T.W.; MATTHEW, M.W.; ADLER- GOLDEN, S.M.; BERK, A.; LEE, J. Analysis of hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2003, Toulouse. Proceedings. New York: IEEE, 2003. p.90- 92.
- FELLENBERG, G. **Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental**. Editora EPU, Ed. da Universidade de São Paulo, 1980.

FERNANDES, R.R.; NUNES, G.M.; SILVA, T.S.F. Classificação orientada a objetos aplicada na caracterização da cobertura da terra no Araguaia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1251-1260, 2012.

FERREIRA, L.; HITCHCOCK, D. B. A Comparison of Hierarchical Methods for Clustering Functional Data. **Communications in Statistics - Simulation and Computation**, v. 38, n. 9, p. 1925-1949, 2009.

FERREIRA, M. C. **Dados de sensoriamento remoto e parâmetros do meio físico aplicados à regionalização de bacias hidrográficas**. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1991.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à Análise Geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. 1ª Ed., Editora Unesp, Rio Claro-SP, 2014.

FERREIRA, M. C. **Procedimento metodológico para modelagem cartográfica e análise regional de epidemias de dengue em sistema de informação geográfica**. Tese de Livre docência, Unicamp, Campinas, 2003.

FERREIRA, M. F. M.; OLIVEIRA, R. L. de S.; GAROFALO, D. F. T. Delimitação e caracterização das unidades de paisagem da região de Alfenas, sul de Minas Gerais, a partir de dados do radar SRTM e imagem orbital ETM+ Landsat 7. In: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: IGC, 2008.

FERREIRA, M.C. **Procedimento metodológico para modelagem cartográfica e análise regional de epidemias de dengue em sistema de informação geográfica**. Tese de Livre docência, Unicamp, Campinas, 2003.

FILOSO, S.; MARTINELLI, L. A.; HOWARTH, R. W.; BOYER, E. W.; DENTENER, F. Human activities changing the nitrogen cycle in Brazil. **Biogeochemistry**, v.79, p.61-89, 2006.

FILOSO, S.; MARTINELLI, L. A.; WILLIAMS, M. R.; LARA, L. B.; KRUSCHE, A.; BALLESTER, M. V.; VICTORIA, R.; CAMARGO, P. B. Land use and nitrogen export in the Piracicaba River basin, Southeast Brazil. **Biogeochemistry**, v.65, n.3, p.275-294, 2003.

FLETCHER, T. **Support Vector Machines Explained**. 2009. Disponível em: <<http://www.tristanfletcher.co.uk/SVM%20Explained.pdf>>.

FONSECA, C. E. **O crescimento e a expansão urbana e industrial no município de Estrema, Minas Gerais, a partir da duplicação da Rodovia Fernão Dias, BR 381**. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (dissertação de mestrado), São Paulo, 2009.

FORMAN, R. T. T.; ALEXANDER, L. E. Roads and their major ecological effects. **Annual Reviews in Ecology & Systematics**, v. 29, p. 207-231, 1998.

FRANCISCO, H. R. **Qualidade de dados espaço-temporal: Estudo de caso de acurácia posicional e atualização**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001.

FREITAS, A. J. Gestão de recursos hídricos. In: SILVA, D. D. & PRUSKI, F. F. (Eds.) **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e legais**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000, 659p.

FREITAS, R.O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 11, p. 53-57, 1952.

FEAM - Federação Estadual do meio Ambiente. **Orientações básicas para a operação de aterro sanitário**. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

GALVÃO, L.S., PONZONI, F.J., LIESENBERG, V., SANTOS, J.R. Possibilities of discriminating tropical secondary succession in Amazônia using hyperspectral and multiangular CHRIS/PROBA data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, p. 8-14, 2009.

GANASRI, B.P.; DWARAKISH, G.S. Study of land use/land cover dynamics through classification algorithms for Harangi catchment area, Karnataka State, India. **Aquatic Procedia**, v.4, p.1413- 1420, 2015. DOI: 10.1016/j.aqpro.2015.02.183.

GAROFALO, D. F. T.; FERREIRA, M. C. Mapeamento da probabilidade de ocorrência de chuvas de intensidade extrema, durante o período de dezembro a março na APA Fernão Dias (MG), a partir de krigagem espacial. Congresso Brasileiro Sobre Desastres Naturais. **Anais**, Rio Claro - SP. Congresso Brasileiro Sobre Desastres Naturais, 2012.

GAROFALO, D. F. T.; LIESENBERG, V. Análise comparativa da informação altimétrica presente nos modelos digitais de elevação ASTER GDEM 1 e 2, SRTM e TOPODATA. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. v. 1. p. 2867-2885.

GERGEL, S. E. et al. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. **Aquatic Science**, v. 64, p. 118-128, 2002.

GREGHI, S. Q. **Avaliação da eficiência de métodos rápidos usados para detecção de coliformes totais e coliformes fecais em amostras de água, em comparação com a técnica de fermentação em tubos múltiplos**. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2005.

GROSSI, C. H. Diagnóstico e monitoramento ambiental da micro bacia hidrográfica do rio Queima-Pé (MT). 2006. 122f. **Tese** (Doutorado em Ciências Agrônomicas) - Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho, Botucatu, 2006.

HADDAD, E. A.; JÚNIOR, A. P. M. Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais. **Geosul**, v. 25, n. 49, p. 79-102, 2010.

HAGNER, O.; REESE, H. A method for calibrated maximum likelihood classification of forest types. **Remote Sensing of Environment**, v.110, p.438- 444, 2007.

HAIGH, M. J. Geography and general systems theory, philosophical homologies and current practice. **Geoforum**, v. 16, n. 2, n. 191-203, 1985.

HAIR, J. F. Jr.; ANDERSON, R.; TATHAM, R., W. C. **Multivariate data analysis** (5th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

HANNA instruments®. Instruction Manual: HI 9829 Multiparameter Meter With available GPS, logging probe, turbidity and ion measurements. Disponível em: <http://www.hannainst.com/manuals/HI9829_v0.32_2011_07_01.pdf> Acesso em: 02/10/2013.

HIRATA, R. Recursos Hídricos. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. De; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. Companhia Editora Nacional, São Paulo, 2008.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bull. Geol. Soc. Am.**, n.56, p. 275-370, 1945.

HOWARTH, R. W., et al. Regional nitrogen budgets and riverine N and P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. **Biogeochemistry**, v. 35, p. 75–139, 1996.

HUANG, C.; DAVIS, L.S.; TOWNSHEND, J.R.G. An assessment of support vector machines for land classification. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 4, p. 725-749, 2002.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cartas topográficas Munhoz, Cambuí, Extrema, Camanducaia, Paraisópolis e Monteiro Lobato. Escala 1:50.000, 1977.

IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**, vol. 8. Rio de Janeiro, IBGE, 1999.

IBGE. Relatórios de Estações Geodésicas, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php> Acesso: 06/out/2014.

IBITU CONSULTORIA AMBIENTAL. **APA Fernão Dias – Plano de Gestão Ambiental**. Minas Gerais: IBITU/DER-MG, 1998.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 06/out/2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. (Manuais Técnicos em Geociências, 1), Rio de Janeiro, 1992. 92p.

IRRIGART – Eng. & Cons. Rec. Hid. e M. Ambiente Ltda. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos rios Piracicaba/Jaguari – 2008/2009**. 2008.

JENSEN, J. R. Sensoriamento **Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science) Tradução de: Remote Sensing of the environment: in earth resource perspective.

JENSEN, J.R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 3 (Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall), 2005.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information system Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n.11, p.1593-1600, 1988.

JIA, K.; WEI, X.; GU, X.; YAO, Y.; XIE, X.; LI, B. Land cover classification using Landsat 8 operational land imager data in Beijing, China. **Geocarto International**, v.29, p.941- 951, 2014. DOI: 10.1080/10106049.2014.894586.

JPL NASA. **ASTER Global Digital Elevation Map Announcement**. Disponível em: <<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>>. Acesso: 06/out/2014.

KIRCHMANN, H. Animal and municipal organic wastes and water quality. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil processes and water quality**: advances in soil science. Boca Raton. Lewis Publishers, 1994. p. 163-232.

LANDIS, J.R. e KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

LARSEN, D. P.; DUDLEY, D. R.; HUGHES, R. M. A regional approach for assessing attainable surface water quality: An Ohio case study. **J. Soil Water Conservation**, v. 43, p.171-176, 1988.

- LI, Y.; DEGENER, J.; GAUDREAU, M.; LI, Y.; KAPPAS, M. Adaptive capacity based water quality resilience transformation and policy implications in rapidly urbanizing landscapes. **Science of The Total Environment**, v. 569-570, p. 168-178, 2016.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010. 3ª Edição.
- LIESENBERG, V., BOEHM, H.D.V., GLOAGUEN, R. Spectral variability and discrimination assessment in a tropical peat swamp landscape using CHRIS/PROBA data. **GIScience & Remote Sensing**, v.47, n.4, p.541-564, 2010.
- LIESENBERG, V.; GLOAGUEN, R. Evaluating SAR Polarization Modes at L-band for Forest Classification Purposes in Eastern Amazon, Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p.122-135, 2013.
- LIMA P. W. **Introdução ao manejo de bacias hidrográficas**. LCF. 1996.
- LIU, Z.- G.; PAN, Q.; DEZERT, J. A new belief- based K- nearest neighbor classification method. **Pattern Recognition**, v.46, p.834- 844, 2013.
- MACHADO, C.A.S.; BELTRAME, A.M.K.; SHINOHARA, E.J.; GIANNOTTI, M.A.; DURIEUX, L.; NÓBREGA, T.M.Q.; QUINTANILHA, J.A. Identifying concentrated areas of trip generators from high spatial resolution satellite images using object- based classification techniques. **Applied Geography**, v.53, p.271- 283, 2014. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.06.022.
- MAHMOUDI, N.; OROUJI, H.; FALLAH-MEHDIPOUR, E. Integration of Shuffled Frog Leaping Algorithm and Support Vector Regression for Prediction of Water Quality Parameters. **Water Resources Management**, v. 30, n. 7, p.2195-2211, 2016.
- MALLINIS, G.; KOUTSIAS, N.; TSAKIRI- STRATI, M.; KARTERIS, M. Object- based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.63, p.237- 250, 2008.
- MANSOR, M. T. C.; FILHO, J. T.; ROSTON, D. M. Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do rio Jaguari, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p. 715-723, 2006.
- MARCUZZO, F. F. N.; Andrade, L. R. D. & Melo, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 4, p. 793-04, 2011.
- MARTINELLI, L. A.; FILOSO, S.; Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges. **Ecological Applications**, v.18, n.4, p.885–898, 2008.
- MATTOS, E. C. A. **Análise espacial da bataticultura e sua interação com agricultura familiar, agrotóxicos e usos do solo em Camanducaia, na área de proteção ambiental da Fernão Dias, em Minas Gerais**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, 2011.
- MELGANI, F.; BRUZZONE, L. Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images with Support Vector Machines. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 42, n. 8, 2004.
- MENG, Q.; CIESZEWSKI, C.J.; MADDEN, M.; BORDERS, B.E. K Nearest Neighbor Method for Forest Inventory Using Remote Sensing Data. **GIScience & Remote Sensing**, v.44, n. 2, p.149-165, 2007.

MINGOTI, A. **Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: Uma abordagem Aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso: 6/out/2014.

MITCHELL M. K.; STAPP W. B. **Field manual for water quality monitoring**. Ann. Arbor. Michigan, USA, 1992.

MORETTI, A. I. P. **Mapeamento de corredores ecológicos na APA Fernão Dias – MG a partir de técnicas de geoprocessamento e análise espacial**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2011.

MOUNTRAKIS, G.; IM, J.; OGOLE, C. Support vector machines in remote sensing: a review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.66, p.247- 259, 2011.

MUCHOVEJ, R. M. C.; REHCIGL, J. E. Impact of nitrogen fertilization of pastures and turfgrasses on Water Quality. In: LAL, R.; STEWART, B. A. **Soil process and Water quality: advances in soil science**. Boca Raton: Lewis publishers, 1994. 398 p.

NASCIMENTO, R. F. F.; ALCÂNTARA, E. H.; KAMPEL, M.; STECH, J. L.; MORAES NOVO, E. M. L.; FONSECA, L. M. G. O algoritmo Support Vector Machines (SVM): avaliação da separação ótima de classes em imagens CCD-CBERS-2. In.: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE, p. 2079-2086, 25-30 abril 2009.

NEARY, D. G.; ICE, G. G.; JACKON, C. R. Linkages between forest soils and water quality and quantity. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 10, 2009.

NOORI, R.; SABAH, M. S.; KARBASSI, A. R.; BAGHVAND, A.; ZADEH, H. T. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. **Desalination**, v. 260, n. 1-3, p. 129-136, 2010.

NOVO, T.; REZENDE, C. R.; PROSDOCIMI, G. A. S.; MARTINS, L. C. D.; PEIXOTO, E.I.N. Folha Extrema - SF.23-Y-B-IV. Escala 1:100.000. In: PEDROSA-SOARES, A.C.; VOLL, E; PROFETA, A. (Org.). **Projeto fronteiras de Minas Gerais - mapeamento geológico** (39 folhas, mapas, notas explicativas e SIGs). 1ed. Belo Horizonte: CODEMIG, 2015.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 1988.

OLIVEIRA, L.G.L.; PONZONI, F.J.; MORAES, E.C. Conversão de dados radiométricos orbitais por diferentes metodologias de caracterização atmosférica. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, p. 121-133, 2009.

PALÁCIO, H. A. de Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. De F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Dados eletrônicos. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

PEREIRA, P. H.; CORTEZ, B. A.; OMURA, P. A. C.; ARANTES, L. G. De C. **Projeto Conservador Das Águas**. Prefeitura Municipal de Extrema. Extrema, 2016.

- PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, v.1, n.1, p.2—36, 2004.
- PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). (2011). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade.
- PONGPETCH, N.; SUWANWAREE, P. Spatial water quality assessment and mapping of Lahan Swamp, Chaiyaphum, Thailand. **Procedia Environmental Sciences** 13, p. 655-659, 2012.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São José dos Campos, SP: Oficina de Textos. 2012, 176 p.
- POPE, L. M.; BEVANS H. E. **Relation of urban land-use and rry-weather, storm, and snowmelt flow characteristics to stream-water quality, Shunganunga Creek Basin, Topeka, Kansas**. USGS WATER-SUPPLY PAPER 2283, 1986.
- POURSANIDIS, D.; CHRYSOULAKIS, N.; MITRAKA, Z. Landsat 8 vs. Landsat 5: a comparison based on urban and periurban land cover mapping. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.35, p.259- 269, 2015.
- PRISHCHEPOV, A.V.; RADELOFF, V.C.; DUBININ, M.; ALCANTARA, C. The effect of Landsat ETM/ETM + image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in eastern Europe. **Remote Sensing of Environment**, v.126, p.195- 209, 2012.
- RAMACHANDRA RAO, A.; SRINIVA, V.V. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. **Journal of Hydrology**, v. 318, n. 1-4, p. 37–56, 2006.
- RAVICHANDRAN, S. et al. Ecoregions for describing water quality patterns in Tamiraparani basin, south India. **Journal of Hydrology**, v.178, p.257-276, 1996.
- ROBERTSON, D. M.; SAAD, D. A. Environmental Water-Quality Zones for Streams: A Regional Classification Scheme. **Environmental Management**, v. 31, n. 5, p. 581–602, 2003.
- RODRIGUES, A.; FACHEL, J. M. G.; PASSUELLO, A. C. Estatística espacial e análise de cluster em dados de desastres naturais: mapeamento das inundações no Rio Grande do Sul entre 2003 e 2009. **Revista Iniciação Científica**, v. 10, n. 1, p. 48-67, 2012.
- ROUSSEEUW, P. J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 20, p.53-65, 1987.
- SAMANIEGO, L.; SCHULZ, K. Supervised Classification of Agricultural Land Cover Using a Modified k-NN Technique (MNN) and Landsat Remote Sensing Imagery. **Remote Sensing**, v. 1, n. 4, p.875-895, 2009.
- SANTOS C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise da fragilidade e vulnerabilidade natural dos terrenos aos processos erosivos como base para o ordenamento territorial: o caso das bacias do córrego Carioca, córrego do Bação e ribeirão carioca na região do alto rio das Velhas-MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 65-73, 2008.
- SANTOS, A. R. **Apostila de elementos de cartografia**. Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2013.
- SATTARI, M. T.; JOUDI, A. R.; KUSIAK, A. Estimation of Water Quality Parameters With Data-Driven Model. **American Water Works Association**, v. 108, n. 4, 232-239, 2016.

- SAUER, V.B.; THOMAS, W. O.; STRICKER, V. A.; WILSON, K. V. **Flood characteristics of urban watersheds in the United States**. USGS, United States Geological Survey Paper 2207, 1983.
- SCHUMM, S.A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy**, New Jersey. *Bull. Geol. Soc. Am.*, n. 67, p.597-646, 1956
- SEITZINGER, S. P. Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: Ecological and geochemical significance, *Limnol. Oceanogr.*, v. 33, p. 702–724, 1988.
- SHEN, Z.; HOU, X.; LI, W. AINI, G.; CHEN, L.; GONG, Y. Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: A case study in a typical urbanised watershed in China. *Ecological Indicators*, v. 48, p. 417-427, 2015.
- SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. Editora Rima, São Carlos, SP, 2004.
- SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: Tucci, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: EDUSP, p.35-51, 2001.
- SINGH, K. P.; MALIK, A.; MOHAN, D.; SINHA, S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques-a case study. *Water Research*, v. 38, p.3980–3992, 2004.
- SISODIA, P.S.; TIWARI, V.; KUMAR, A. A comparative analysis of remote sensing image classification techniques. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN COMPUTING, COMMUNICATIONS AND INFORMATICS, 3., 2014, Delhi. **Proceedings**. New York: IEEE, 2014. p.1418- 1421.
- SMITH, R. A.; Schwarz, G. E.; Alexander R. B. Regional interpretation of water-quality monitoring data. *Water Resources Research*, v. 33, n. 12, p. 2781–2798, 1997.
- SMOLA, A. J.; SCHÖLKOPF, B. A tutorial on support vector regression. *Statistics and computing*, Springer, v. 14, n. 3, p. 199–222, 2004.
- SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. São Paulo, Instituto de Geografia USP. (Métodos em Questão, 16), 1977. 51 p.
- SOTCHAVA, V.B. Por uma Teoria da classificação dos geossistemas da vida Terrestre. *IGEOG USP*, n. 14, 1978.
- SOUZA, J. M.; LOCH, R. E. N. Análise e melhoria da qualidade altimétrica dos dados da Shuttle Radar Topography Mission, SRTM-3. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 60, n. 02, p. 155-166, 2008.
- SOUZA, J. O. P.; DUARTE, C. C. Análise da precisão altimétrica dos Modelos Digitais de Elevação para área semiárida, Serra da Baixa Verde, Pernambuco. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 9, 2009, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2009, p. 01-04.
- SOUZA, M. M.; GASTALDINI. Water quality assessment in watersheds with different anthropogenic impacts. *Eng Sanit Ambient*, v.19, n.3, p.263-274, set. 2014.
- STRAHLER, A.N. Hypsometric analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Am.*, n. 63, p.111-1141, 1952.
- SPAROVEK, G.; VAN LIER; Q.J.; DOURADO NETO, D. Computer assisted Koeppen climate classification: A case study for Brazil. *International Journal of Climatology*, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 257 – 266, Jan. 2007.

TERRA, F.S., FONSECA, E.L. SALDANHA, D.L. Contribuições do solo e dossel em modelo de estimativa de biomassa aérea no Bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45 n. 4, p.384-390, 2010.

THOMAZ, E. L. Compartimentos geomorfológicos e produção de milho em agricultura de subsistência, Guarapuava-PR: avaliação exploratória. **Sociedade & Natureza**, v. 19, n.1, p.45-54, 2007.

TRENTIN, G. **Dimensão fractal, dinâmica espacial e padrões de fragmentação urbana de cidades médias do estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, 2012.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

USGS, United States Geological Survey. Disp. em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso: 28/out/2014.

USGS. Frequently Asked Questions about the Landsat Missions. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php. Acesso: 23/05/2014.

VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Texto, p. 72-104, 2008.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004 (Boletim).

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2005, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia, 2005, p. 1-8.

VALLE JÚNIOR, R.F., PISSARRA, T.C.T., PASSOS, A.O., RAMOS, T.G., ABDALA, V.L. Diagnóstico das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio Tijuco, Ituiutaba - MG, utilizando tecnologia SIG. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 495-503, 2010.

VAPNIK V. **The Nature of Statistical Learning Theory**. Springer, New York, 1995.

VASCONCELLOS, M. J. E. **Pensamento Sistêmico: o novo paradigma da ciência**. Campinas, SP. Papirus, 2002.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D; SANO, E. E (edits). **Sistema de Informação Geográfica: aplicações na agricultura** – 2ª ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa-CPAC, 1998, 434 p.

VIBRANS, A. C.; MCROBERTS, R. E.; MOSER, P.; NICOLETTI, A. L. Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the remaining Brazilian Atlantic forest in Santa Catarina. **Remote Sensing of Environment**, v.130, p. 87-95, 2013.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **Geografia** (Rio Claro), Rio Claro, v. 28, n.3, p. 323-344, 2003.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFSM, CCNE, 2005, 215p.

- VITTEK, M., BRINK, A., DONNAY, F., SIMONETTI, D., DESCLÉE, B. Land Cover Change Monitoring Using Landsat MSS/TM Satellite Image Data over West Africa between 1975 and 1990. **Remote Sensing**, v.6, n.1, p.658-676, 2014.
- VON SPERLING, M. V. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.
- VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** DESA - UFMG. 3ª ed., 2005, 456 p.
- VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, 2014.
- WAHIDIN, N.; SIREGAR, V.P.; NABABAN, B.; JAYA, I.; WOUTHUYZEN, S. Object-based image analysis for coral reef benthic habitat mapping with several classification algorithms. **Procedia Environmental Sciences**, v.24, p.222- 227, 2015.
- WANG, H.; REN, Z.; TANG, M. Design of water quality monitoring based on SVM and its simulation platform by remote sensing. In: **Anais: 3º International Congress on Image and Signal Processing**, 2010. A
- WANG, X. H.; YIN, C. Q. The role of diversified landscape buffer structures for water quality improvement in an agricultural watershed, North China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 107, n. 4, p. 381-396, mai. 2005.
- WANG, X.; MA, L.; WANG, X. Apply semi-supervised support vector regression for remote sensing water quality retrieving. In: **Anais: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, 2010 IEEE International. B
- WARD, J. H., Jr. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236–244, 1963.
- WASKE, B.; van der LINDEN, S.; BENEDIKTSSON, J.; RABE, A.; HOSTERT, P. Sensitivity of Support Vector Machines to Random Feature Selection in Classification of Hyperspectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 48, n. 7, p. 2880-2889, 2010.
- WEMPLER, B.C., JONES, J.A. Runoff production on forest roads in a steep mountain catchment. **Water Resources Research**, v. 39 n. 8, p. 1220, 2003.
- WIGMOSTA, M.S., PERKINS, W.A., 2001. Simulating the effects of forest roads on watershed hydrology. In: Wigmosta, M.S., Birges, S.J. (Eds.). **Land Use and Watersheds: Human Influence on Hydrology and Geomorphology in Urban and Forest Areas**, AGU Water Science and Application Series, vol. 2. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 127–143.
- WU, S.; LI, J.; HUANG, G. An evaluation of grid size uncertainty in Empirical soil loss modeling with digital elevation models. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 10, p. 33–42, 2005.
- YOSHINAGA, S. **Estudos hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e isotópicos das águas minerais e termais de Águas de Lindóia e Lindóia, SP.** Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 113p., 1990.

ZUMACH, R. **Enquadramento de curso de água: rio Itajaí-Açu e seus principais afluentes em Blumenau.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

8. APÊNDICES

8.1 Apêndice 1

Apêndice A. Temperatura da água dos pontos amostrados, aferida em triplicata, por período de amostragem.

Período	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12
Inverno	14,48	17,7	16,1	18,22	15,19	16,92	18,48	14,16	11,7	12,01	11,5	11,7
	14,34	17,02	15,82	18,15	14,94	17,07	18,51	14,25	11,6	11,9	11,5	11,67
	14,3	17,12	15,7	18,39	14,88	17,05	18,56	14,32	11,6	12	11,33	11,69
Verão	22,28	23,12	21,2	21,2	20,47	21,9	23	23,7	16,37	17,74	18,26	18,73
	22,25	23,35	20,9	20,86	20,43	21,83	22,97	23,5	16,42	17,7	18,23	18,73
	22,27	23,38	20,96	21,03	20,31	21,79	23,02	23,36	16,37	17,71	18,31	18,92
Outono	21,54	22,08	20,01	20	18,48	19,89	21,75	22,41	16,3	17,12	17,8	17,08
	21,48	22,04	19,94	19,96	18,48	20	21,67	22,37	16,21	16,8	16,98	17,05
	21,49	22,01	19,89	20,9	18,54	19,97	21,8	22,32	16,1	16,8	16,98	17,05
Primavera	18,77	20,21	19	18,75	16,65	18	16,72	17,2	13,04	14,33	14,52	14,44
	18,65	20,22	18,97	18,52	16,66	17,92	16,49	17,13	13,01	14,27	14,49	14,44
	18,63	20,21	18,96	18,46	16,71	17,83	16,43	17,18	13,02	14,2	14,41	14,43

Apêndice B. Condutividade elétrica da água dos pontos amostrados, aferida em triplicata, por período de amostragem.

Período	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12
Inverno	33	27	30	53	27	43	76	58	9	14	13	12
	33	31	29	52	25	45	77	57	9	14	13	12
	33	32	29	51	27	44	75	56	9	14	13	12
Verão	50	53	46	76	38	66	102	83	10	15	16	14
	50	53	47	76	38	66	103	83	10	15	16	14
	50	53	47	76	38	66	105	83	10	15	16	14
Outono	35	35	29	44	29	46	70	56	9	16	14	13
	35	35	29	44	28	47	69	56	9	16	15	13
	35	35	29	44	28	46	67	56	9	16	15	13
Primavera	43	38	35	59	33	51	59	50	9	15	13	10
	42	38	35	59	33	51	62	50	9	15	13	12
	42	38	35	59	33	51	65	50	6	15	13	12

Apêndice C. Turbidez da água dos pontos amostrados, aferido em triplicata, por período de amostragem.

Período	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12
Inverno	8,7	12,5	8,9	3	22,4	3,3	3	6	0	2,1	3,1	5,3
	8,9	13,5	8,2	5,2	23	2,5	4,1	5,3	0	1,6	3,3	4,6
	9,3	12,8	7,9	4	24	2,6	3	4,7	1	1,8	2,9	3,2
Verão	175	105	196	34,9	165	14,5	16,9	33,4	2,6	9,2	12,8	72,9
	192	110	199	35,1	155	16	21,3	37,8	3	10,8	14,5	77,7
	195	113	145	34,5	159	15,7	19,7	36,5	2,8	10,3	13	72,8
Outono	128	91	127	52,9	157	33,4	14,6	29,9	3,8	9,8	11,7	14
	115	93	105	47,3	153	29	16,3	30	3,6	10,6	11,6	12,9
	115	96,2	138	55,9	143	20	19,5	31,8	3,8	9,7	10,9	13,2
Primavera	23	33	27,9	12,7	65,4	6,5	11,7	19,9	2,1	2,5	7,7	13,1
	26,2	33	28,3	12,4	66,9	5,8	12,3	18,8	2	2,7	8,5	13,9
	23	39	29,6	14	68,3	5,4	11,9	18,7	1,8	2,5	8	13,1

Apêndice D. TSD da água dos pontos amostrados, aferida em triplicata, por período de amostragem.

Período	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12
Inverno	17	12	15	26	13	22	38	29	4	7	7	6
	17	16	15	26	13	22	38	27	4	7	7	6
	16	16	14	26	13	22	38	26	4	7	7	6
Verão	25	27	23	38	19	33	51	41	5	8	8	7
	25	27	23	38	19	33	52	42	5	8	8	7
	25	27	23	38	19	33	53	42	5	8	8	7
Outono	18	17	14	22	14	23	35	28	4	8	7	6
	18	17	14	22	14	23	35	28	5	8	7	6
	18	18	14	22	14	23	33	28	4	8	7	6
Primavera	22	19	17	30	17	25	30	25	5	8	6	5
	21	19	17	29	16	25	31	25	5	8	6	6
	21	19	18	29	16	25	32	25	3	8	7	6

Apêndice E. pH da água dos pontos amostrados, aferida em triplicata, por período de amostragem.

Período	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12
Inverno	7,14	6,99	7,54	7,56	7,32	7,25	7,76	6,8	6,66	7	7,07	6,92
	7,15	7,13	7,37	7,41	7,25	7,31	7,59	7,08	6,51	6,94	6,97	7
	7,15	7,12	7,3	7,43	7,24	7,3	7,65	7,07	6,47	6,95	6,93	6,91
Verão	6,88	6,8	7,15	6,9	6,73	7,08	7,46	7,18	6,21	6,8	7,02	6,73
	6,85	6,65	6,95	6,94	6,97	7,18	7,47	7,03	6,35	6,68	6,83	6,74
	6,9	6,58	6,85	7,13	7,01	7,25	7,45	6,91	6,25	6,61	6,87	6,77
Outono	7,03	7,24	7,98	6,74	6,31	6,85	7,11	7,06	6,2	6,32	7,06	6,85
	7,17	7,05	7,67	7,07	6,45	6,55	7,29	6,96	6,09	6,66	6,87	6,85
	7,12	7,02	7,39	7,17	6,5	6,65	7,28	6,89	6	6,55	6,83	6,82
Primavera	7,07	7,15	7,45	6,76	6,49	6,56	6,3	6,77	6,71	6,8	6,21	6,42
	7,02	7,02	7,34	6,85	6,53	6,69	6,54	6,8	7,03	5,8	6,26	6,42
	7,1	7	7,26	6,94	6,57	6,78	6,74	6,84	7	5,76	6,66	6,53

Apêndice F. Oxigênio Dissolvido da água dos pontos amostrados, aferido em triplicata, por período de amostragem.

Período	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12
Inverno	7,29	8,52	7,28	6,46	7,22	7,9	7,09	7,12	7,49	7,93	7,74	8,8
	6,79	7,54	6,5	7,17	6,78	6,18	7,45	6,49	7,29	8,04	7,71	8,93
	6,35	5,95	7,42	6,95	6,3	6,71	7,43	6,6	8,63	7,62	7,91	7,87
Verão	7,1	6,61	7,6	7,32	7,1	7,1	5,13	5,67	7,7	6,99	7,89	7,94
	7,32	6,43	7,72	7,6	7,5	7,15	5,56	5,83	7,81	7,44	7,89	7,9
	7,5	6,42	7,89	7,66	7,73	7,23	6,12	5,68	7,9	7,53	7,76	8
Outono	5,9	4,67	6,41	6,35	6,9	5,98	6,87	6,6	6,75	7,89	6,02	7,05
	4,85	4,82	5,87	6,15	6,64	6,83	6,5	6,11	6,9	7,16	8,2	6,87
	5,43	4,81	5,45	6,29	6,81	6,97	6,66	6,2	6,81	7,3	6,97	7,01
Primavera	5,45	5,65	6	6,25	5,29	6,65	6,04	6,56	7,3	7,42	7,66	7,2
	5,82	5,75	6,05	6,35	5,67	6,49	5,9	6,52	6,7	7,62	7,5	7,84
	5,76	5,65	5,55	6,27	6,12	6,47	5,72	6,44	7,4	7,71	7,4	6,84

Apêndice G. Concentração de NO^3 da água dos pontos amostrados, aferido em triplicata, por período de amostragem.

Período	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12
Inverno	0,28	0,35	0,24	0,65	0,3	0,51	0,71	0,2	0,07	0,11	0,17	0,12
	0,26	0,27	0,27	0,62	0,31	0,59	0,74	0,22	0,07	0,13	0,11	0,11
	0,27	0,23	0,26	0,64	0,3	0,53	0,65	0,22	0,1	0,13	0,11	0,12
Verão	0,85	0,76	0,64	0,78	0,48	0,51	0,48	0,46	0,21	0,28	0,25	0,21
	0,82	0,69	0,62	0,66	0,44	0,48	0,49	0,43	0,22	0,26	0,27	0,2
	0,66	0,77	0,55	0,67	0,38	0,41	0,49	0,45	0,2	0,25	0,28	0,19
Outono	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Primavera	0,5	0,49	0,47	0,54	0,48	0,52	0,69	0,52	0,24	0,28	0,26	0,24
	0,51	0,47	0,46	0,53	0,44	0,51	0,62	0,51	0,24	0,28	0,27	0,25
	0,5	0,48	0,43	0,52	0,43	0,5	0,61	0,51	0,25	0,25	0,27	0,25

Apêndice H. Concentração de Cl^- da água dos pontos amostrados, aferido em triplicata, por período de amostragem.

Período	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12
Inverno	4,1	3,4	2,5	3,1	2,8	3,9	11	2,8	1,5	1,7	1,5	1,4
	3,9	4,1	2,3	2,8	2,9	3,4	10,8	2,8	2	1,4	1	1,2
	3,5	3,2	2,5	3	2,3	3,2	10,8	2,7	1,5	1,3	1,2	1,4
Verão	3,8	3,8	2,8	2,9	1,8	2,4	9,3	2,7	0,6	0,6	0,6	0,6
	3,8	3,9	2,9	3,2	1,7	2,6	9,2	2,8	0,6	0,6	0,6	0,6
	4,1	3,9	3	3	1,8	2,6	11,3	2,7	0,6	0,6	0,6	0,6

Apêndice I. Coliformes totais da água dos pontos amostrados, por período de amostragem.

Período	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12
Inverno	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	220	350	1600	920
Verão	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Outono	1600	1600	540	1600	1600	1600	1600	1600	920	1600	1600	920
Primavera	1600	1600	1600	540	1600	1600	1600	1600	220	79	1600	1600

Apêndice J. *E. coli* da água dos pontos amostrados, por período de amostragem.

Período	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12
Inverno	170	1600	920	920	920	350	540	1600	130	79	46	170
Verão	1600	1600	1600	1600	1600	540	920	1600	79	350	79	1600
Outono	280	1600	540	1600	540	1600	1600	1600	70	240	240	350
Primavera	920	1600	1600	540	1600	110	920	1600	33	79	79	170

8.2 Apêndice 2

Apêndice A. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo SVR para o período de Inverno.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	7,14	15,52	4,71	7,27	0,39	2,81	14,22	29,00	0,0621	0,015	1599,30	729,92
	2	7,10	14,83	4,45	7,42	0,37	2,65	13,62	28,44	0,0621	0,015	1598,83	729,14
	3	7,12	15,27	4,61	7,34	0,38	2,74	13,99	28,77	0,0621	0,015	1599,12	729,57
	4	7,08	14,30	3,99	7,47	0,37	2,49	13,29	28,05	0,0621	0,015	1598,52	728,50
	5	7,10	14,94	4,45	7,42	0,37	2,74	13,66	28,54	0,0621	0,015	1598,87	729,18
	7	7,10	15,00	4,67	7,32	0,38	2,65	13,83	28,59	0,0621	0,015	1599,03	729,58
	8	7,11	15,24	4,91	7,30	0,38	2,66	14,03	28,77	0,0621	0,015	1599,17	729,92
	9	7,10	15,18	4,74	7,26	0,38	2,63	14,15	28,83	0,0621	0,015	1599,20	729,80
	10	7,15	15,35	4,64	7,18	0,39	2,72	14,39	29,03	0,0621	0,015	1599,38	729,91
	12	7,14	15,13	4,26	7,33	0,39	2,62	14,02	28,67	0,0621	0,015	1599,03	729,40
	13	7,17	15,87	4,26	7,14	0,40	2,96	14,95	29,64	0,0621	0,015	1599,60	729,87
	14	7,22	15,72	4,55	7,06	0,42	2,90	14,75	29,43	0,0621	0,015	1599,69	730,32
	15	7,10	14,77	4,56	7,23	0,38	2,46	13,82	28,45	0,0621	0,015	1598,99	729,71
	17	7,26	15,93	4,40	7,07	0,43	3,08	15,08	29,80	0,0621	0,015	1599,78	730,18
	18	7,23	16,13	4,09	7,20	0,42	3,15	14,83	29,60	0,0621	0,015	1599,64	729,68
	19	7,20	15,12	4,30	7,20	0,41	2,96	14,49	29,30	0,0621	0,015	1599,33	729,42
	21	7,14	15,84	4,12	7,20	0,39	3,14	14,65	29,52	0,0621	0,015	1599,53	729,41
	22	7,14	14,90	4,33	7,26	0,39	2,72	14,21	28,92	0,0621	0,015	1599,13	729,34
	23	7,16	14,94	4,24	7,21	0,40	2,83	14,40	29,17	0,0621	0,015	1599,26	729,33
	24	7,15	14,75	4,29	7,03	0,40	2,49	13,47	28,07	0,0621	0,015	1599,26	729,66
	26	7,00	13,47	3,53	7,47	0,35	2,16	12,51	27,21	0,0621	0,015	1597,93	727,94
	27	7,02	13,20	3,86	7,95	0,34	1,89	12,16	26,89	0,0621	0,015	1597,48	727,47
	29	7,02	13,34	3,96	7,79	0,34	1,86	12,09	26,76	0,0621	0,015	1597,69	727,85
	30	7,09	14,45	4,12	7,45	0,37	2,39	13,14	27,81	0,0621	0,015	1598,61	728,73
	32	7,05	13,89	3,73	7,53	0,36	2,22	12,78	27,50	0,0621	0,015	1598,10	728,21
	33	6,94	13,51	3,51	7,44	0,33	2,14	12,51	27,21	0,0621	0,015	1597,89	727,99
	35	6,92	12,76	3,57	7,90	0,31	1,69	11,62	26,32	0,0621	0,015	1597,12	727,22
	36	7,18	14,89	3,82	7,24	0,41	2,65	13,74	28,42	0,0621	0,015	1599,02	729,04
	37	7,07	13,97	3,77	7,52	0,36	2,20	12,80	27,47	0,0621	0,015	1598,20	728,30
	38	6,99	13,94	3,78	7,41	0,35	2,31	13,08	27,81	0,0621	0,015	1598,24	728,43
	39	7,21	15,32	4,28	7,06	0,42	3,02	14,71	29,50	0,0621	0,015	1599,60	729,70
	40	7,09	14,16	3,82	7,37	0,38	2,44	13,28	27,99	0,0621	0,015	1598,52	728,53
	43	7,08	14,46	4,24	7,40	0,37	2,50	13,51	28,24	0,0621	0,015	1598,69	728,92
44	7,04	14,11	4,08	7,37	0,36	2,47	13,44	28,20	0,0621	0,015	1598,57	728,66	
Medido	6	7,08	17,28	12,93	7,34	0,28	3,57	14,67	30,00	0,0335	0,020	1600,00	1600,00
	11	7,40	15,87	8,33	7,07	0,26	2,43	14,67	29,33	0,0341	0,020	1600,00	920,00
	16	7,47	18,25	4,07	6,86	0,64	2,97	26,00	52,00	0,0192	0,020	1600,00	920,00
	20	7,29	17,01	2,80	6,93	0,54	3,50	22,00	44,00	0,0227	0,020	1600,00	350,00
	25	7,27	15,00	23,13	6,77	0,30	2,67	13,00	26,33	0,0380	0,020	1600,00	920,00
	28	6,94	11,69	4,37	8,53	0,12	1,33	6,00	12,00	0,0833	0,010	920,00	170,00
	31	6,96	11,97	1,83	7,86	0,12	1,47	7,00	14,00	0,0714	0,010	350,00	79,00
	34	6,55	11,63	0,33	7,80	0,08	1,67	4,00	9,00	0,1111	0,000	220,00	130,00
	41	6,98	14,24	5,33	6,74	0,21	2,77	27,33	57,00	0,0175	0,020	1600,00	1600,00
42	7,67	18,52	3,37	7,32	0,70	10,87	38,00	76,00	0,0132	0,030	1600,00	540,00	

Apêndice B. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo SVR para o período de Verão.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	6,84	20,93	35,67	7,07	0,51	2,65	24,33	49,16	0,0548	0,025	1600,00	1599,57
	2	6,81	20,62	35,45	7,01	0,49	2,27	23,77	48,60	0,0548	0,025	1600,00	1599,31
	3	6,82	20,82	35,59	7,08	0,50	2,48	24,11	48,94	0,0548	0,025	1600,00	1599,44
	4	6,84	20,33	35,01	7,09	0,46	1,89	23,38	48,21	0,0548	0,025	1600,00	1599,08
	5	6,80	20,71	35,45	6,98	0,49	2,32	23,88	48,72	0,0548	0,025	1600,00	1599,35
	7	6,81	20,70	35,65	7,01	0,50	2,41	23,92	48,76	0,0548	0,025	1600,00	1599,46
	8	6,81	20,80	35,88	7,03	0,51	2,59	24,10	48,93	0,0548	0,025	1600,00	1599,59
	9	6,83	20,82	35,71	7,07	0,50	2,49	24,15	48,99	0,0548	0,025	1600,00	1599,52
	10	6,89	20,94	35,58	7,03	0,50	2,59	24,35	49,19	0,0548	0,025	1600,00	1599,52
	12	6,88	20,59	35,22	7,28	0,48	2,31	24,00	48,83	0,0548	0,025	1600,00	1599,40
	13	6,94	21,27	35,17	7,11	0,51	2,69	24,97	49,80	0,0548	0,025	1600,00	1599,45
	14	6,97	21,13	35,44	6,98	0,51	2,80	24,75	49,58	0,0548	0,025	1600,00	1599,74
	15	6,84	20,45	35,52	7,13	0,49	2,29	23,77	48,60	0,0548	0,025	1600,00	1599,52
	17	7,02	21,43	35,29	6,80	0,51	2,97	25,13	49,96	0,0548	0,025	1600,00	1599,59
	18	6,97	21,30	35,00	7,13	0,51	2,76	24,93	49,77	0,0548	0,025	1600,00	1599,33
	19	6,98	21,28	35,26	6,51	0,49	2,65	24,64	49,47	0,0548	0,025	1600,00	1599,35
	21	6,90	21,39	35,06	6,98	0,51	2,59	24,86	49,69	0,0548	0,025	1600,00	1599,24
	22	6,92	20,93	35,31	6,81	0,48	2,42	24,24	49,08	0,0548	0,025	1600,00	1599,34
	23	6,97	21,16	35,20	6,65	0,48	2,46	24,51	49,34	0,0548	0,025	1600,00	1599,42
	24	6,92	20,30	35,23	7,29	0,47	2,01	23,39	48,22	0,0548	0,025	1600,00	1599,58
	26	6,76	19,63	34,56	7,23	0,44	1,40	22,55	47,38	0,0548	0,025	1600,00	1598,68
	27	6,77	19,41	34,98	7,47	0,42	1,19	22,22	47,05	0,0548	0,025	1600,00	1599,10
	29	6,77	19,29	35,05	7,63	0,43	1,18	22,09	46,92	0,0548	0,025	1600,00	1599,20
	30	6,83	20,12	35,13	7,39	0,46	1,82	23,13	47,97	0,0548	0,025	1600,00	1599,25
32	6,80	19,79	34,76	7,32	0,45	1,58	22,84	47,67	0,0548	0,025	1600,00	1598,93	
33	6,69	19,57	34,53	7,32	0,44	1,37	22,54	47,37	0,0548	0,025	1600,00	1598,58	
35	6,66	18,90	34,68	7,66	0,42	0,87	21,65	46,48	0,0548	0,025	1600,00	1598,76	
36	6,96	20,46	34,77	7,23	0,47	2,08	23,75	48,58	0,0548	0,025	1600,00	1599,25	
37	6,83	19,76	34,79	7,43	0,45	1,55	22,80	47,64	0,0548	0,025	1600,00	1599,05	
38	6,76	20,00	34,79	7,17	0,46	1,71	23,14	47,97	0,0548	0,025	1600,00	1598,89	
39	7,01	21,40	35,21	6,56	0,49	2,68	24,83	49,67	0,0548	0,025	1600,00	1599,49	
40	6,87	20,22	34,82	7,05	0,46	1,84	23,32	48,15	0,0548	0,025	1600,00	1599,02	
43	6,83	20,44	35,24	7,06	0,47	2,05	23,57	48,40	0,0548	0,025	1600,00	1599,25	
44	6,82	20,46	35,09	6,87	0,46	1,93	23,53	48,37	0,0548	0,025	1600,00	1599,12	
Medido	6	6,68	23,28	109,33	6,49	0,74	3,87	27,00	53,00	0,0189	0,020	1600,00	1600,00
	11	6,98	21,02	180,00	7,74	0,60	2,90	23,00	46,67	0,0213	0,020	1600,00	1600,00
	16	6,99	21,03	34,83	7,53	0,70	3,03	38,00	76,00	0,0132	0,030	1600,00	1600,00
	20	7,17	21,84	15,40	7,16	0,47	2,53	33,00	66,00	0,0152	0,030	1600,00	540,00
	25	6,90	20,40	159,67	7,44	0,43	1,77	19,00	38,00	0,0263	0,020	1600,00	1600,00
	28	6,75	18,79	74,47	7,95	0,20	0,60	7,00	14,00	0,0710	0,010	1600,00	1600,00
	31	6,70	17,72	10,10	7,32	0,26	0,60	8,00	15,00	0,0653	0,010	1600,00	350,00
	34	6,27	16,39	2,80	7,80	0,21	0,60	5,00	10,00	0,1000	0,000	1600,00	79,00
	41	7,04	23,52	35,90	5,73	0,45	2,73	41,67	83,00	0,0121	0,040	1600,00	1600,00
42	7,46	23,00	19,30	5,60	0,49	9,93	52,00	103,33	0,0097	0,050	1600,00	920,00	

Apêndice C. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo SVR para o período de Outono.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	7,15	19,63	29,13	6,19	0,50	1,71	15,89	31,89	0,0628	0,015	1599,52	1070,11
	2	6,96	19,14	28,34	6,37	0,47	1,62	15,33	31,33	0,0628	0,015	1599,41	1069,55
	3	7,07	19,41	28,78	6,26	0,48	1,66	15,66	31,66	0,0628	0,015	1599,45	1069,88
	4	6,72	18,72	27,70	6,64	0,46	1,68	14,93	30,93	0,0628	0,015	1599,36	1069,16
	5	6,93	19,20	28,39	6,32	0,47	1,65	15,44	31,44	0,0628	0,015	1599,49	1069,66
	7	7,06	19,35	28,78	6,29	0,48	1,64	15,48	31,48	0,0628	0,015	1599,44	1069,70
	8	7,22	19,55	29,13	6,17	0,48	1,58	15,65	31,65	0,0628	0,015	1599,40	1069,87
	9	7,16	19,52	29,01	6,28	0,48	1,69	15,71	31,71	0,0628	0,015	1599,38	1069,93
	10	7,14	19,68	29,12	6,30	0,51	1,85	15,91	31,91	0,0628	0,015	1599,43	1070,13
	12	6,99	19,26	28,61	6,46	0,49	1,72	15,55	31,55	0,0628	0,015	1599,37	1069,77
	13	7,06	19,89	29,08	6,35	0,52	2,13	16,52	32,52	0,0628	0,015	1599,61	1070,75
	14	7,12	20,00	29,53	6,30	0,55	2,13	16,31	32,31	0,0628	0,015	1599,72	1070,53
	15	7,05	19,28	28,92	6,42	0,49	1,65	15,32	31,32	0,0628	0,015	1599,39	1069,55
	17	7,14	20,24	29,38	6,28	0,56	2,33	16,69	32,69	0,0628	0,015	1599,75	1070,91
	18	6,98	19,81	28,88	6,33	0,53	2,10	16,49	32,49	0,0628	0,015	1599,69	1070,71
	19	6,96	19,88	28,63	6,39	0,54	2,31	16,19	32,19	0,0628	0,015	1599,68	1070,41
	21	6,85	19,66	28,62	6,36	0,50	2,14	16,41	32,41	0,0628	0,015	1599,76	1070,64
	22	6,98	19,55	28,55	6,44	0,51	2,02	15,80	31,80	0,0628	0,015	1599,43	1070,02
	23	6,87	19,71	28,53	6,49	0,52	2,29	16,06	32,06	0,0628	0,015	1599,61	1070,29
	24	6,68	18,86	28,87	6,71	0,50	1,87	14,94	30,94	0,0628	0,015	1599,84	1069,17
	26	6,55	18,04	27,14	6,92	0,42	1,44	14,10	30,10	0,0628	0,015	1599,40	1068,32
	27	6,66	17,76	26,67	6,91	0,40	1,21	13,77	29,77	0,0628	0,015	1599,03	1068,00
	29	6,64	17,68	27,06	6,93	0,40	1,15	13,64	29,64	0,0628	0,015	1599,17	1067,86
	30	6,73	18,53	27,94	6,66	0,45	1,50	14,69	30,69	0,0628	0,015	1599,33	1068,91
32	6,68	18,24	27,41	6,85	0,44	1,49	14,39	30,39	0,0628	0,015	1599,50	1068,61	
33	6,56	17,99	27,19	6,88	0,40	1,30	14,09	30,09	0,0628	0,015	1599,32	1068,32	
35	6,53	17,28	26,42	7,02	0,36	0,89	13,20	29,20	0,0628	0,015	1598,96	1067,43	
36	6,70	18,96	28,25	6,73	0,50	1,97	15,30	31,30	0,0628	0,015	1599,71	1069,52	
37	6,66	18,21	27,50	6,87	0,44	1,49	14,36	30,36	0,0628	0,015	1599,45	1068,58	
38	6,70	18,52	27,64	6,72	0,43	1,52	14,69	30,69	0,0628	0,015	1599,32	1068,91	
39	6,89	19,99	28,91	6,43	0,55	2,46	16,39	32,39	0,0628	0,015	1599,81	1070,61	
40	6,69	18,70	27,74	6,76	0,47	1,79	14,87	30,87	0,0628	0,015	1599,50	1069,10	
43	6,85	18,96	28,13	6,53	0,46	1,68	15,12	31,12	0,0628	0,015	1599,34	1069,35	
44	6,74	18,92	27,86	6,62	0,46	1,80	15,09	31,09	0,0628	0,015	1599,36	1069,31	
Medido	6	7,10	22,04	93,40	4,77	0,43	1,87	17,33	35,00	0,0286	0,010	1600,00	1600,00
	11	7,68	19,95	123,33	5,91	0,35	1,53	14,00	29,00	0,0345	0,010	540,00	540,00
	16	6,99	20,29	52,03	6,26	0,55	2,37	22,00	44,00	0,0227	0,020	1600,00	1600,00
	20	6,68	19,95	27,47	6,59	0,57	2,48	23,00	46,33	0,0216	0,020	1600,00	1600,00
	25	6,42	18,50	151,00	6,78	0,35	1,51	14,00	28,33	0,0353	0,010	1600,00	540,00
	28	6,84	17,06	13,37	6,98	0,16	0,67	6,00	13,00	0,0769	0,000	920,00	350,00
	31	6,51	16,91	10,03	7,45	0,20	0,86	8,00	16,00	0,0625	0,010	1600,00	240,00
	34	6,10	16,20	3,73	6,82	0,11	0,48	4,33	9,00	0,1111	0,000	920,00	70,00
	41	6,97	22,37	30,57	6,30	0,70	3,01	28,00	56,00	0,0179	0,020	1600,00	1600,00
42	7,23	21,74	16,80	6,68	0,85	3,69	34,33	68,67	0,0146	0,030	1600,00	1600,00	

Apêndice D. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo SVR para o período de Primavera.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	7,15	19,63	29,13	6,19	0,50	1,71	15,89	31,89	0,0628	0,015	1599,52	1070,11
	2	6,96	19,14	28,34	6,37	0,47	1,62	15,33	31,33	0,0628	0,015	1599,41	1069,55
	3	7,07	19,41	28,78	6,26	0,48	1,66	15,66	31,66	0,0628	0,015	1599,45	1069,88
	4	6,72	18,72	27,70	6,64	0,46	1,68	14,93	30,93	0,0628	0,015	1599,36	1069,16
	5	6,93	19,20	28,39	6,32	0,47	1,65	15,44	31,44	0,0628	0,015	1599,49	1069,66
	7	7,06	19,35	28,78	6,29	0,48	1,64	15,48	31,48	0,0628	0,015	1599,44	1069,70
	8	7,22	19,55	29,13	6,17	0,48	1,58	15,65	31,65	0,0628	0,015	1599,40	1069,87
	9	7,16	19,52	29,01	6,28	0,48	1,69	15,71	31,71	0,0628	0,015	1599,38	1069,93
	10	7,14	19,68	29,12	6,30	0,51	1,85	15,91	31,91	0,0628	0,015	1599,43	1070,13
	12	6,99	19,26	28,61	6,46	0,49	1,72	15,55	31,55	0,0628	0,015	1599,37	1069,77
	13	7,06	19,89	29,08	6,35	0,52	2,13	16,52	32,52	0,0628	0,015	1599,61	1070,75
	14	7,12	20,00	29,53	6,30	0,55	2,13	16,31	32,31	0,0628	0,015	1599,72	1070,53
	15	7,05	19,28	28,92	6,42	0,49	1,65	15,32	31,32	0,0628	0,015	1599,39	1069,55
	17	7,14	20,24	29,38	6,28	0,56	2,33	16,69	32,69	0,0628	0,015	1599,75	1070,91
	18	6,98	19,81	28,88	6,33	0,53	2,10	16,49	32,49	0,0628	0,015	1599,69	1070,71
	19	6,96	19,88	28,63	6,39	0,54	2,31	16,19	32,19	0,0628	0,015	1599,68	1070,41
	21	6,85	19,66	28,62	6,36	0,50	2,14	16,41	32,41	0,0628	0,015	1599,76	1070,64
	22	6,98	19,55	28,55	6,44	0,51	2,02	15,80	31,80	0,0628	0,015	1599,43	1070,02
	23	6,87	19,71	28,53	6,49	0,52	2,29	16,06	32,06	0,0628	0,015	1599,61	1070,29
	24	6,68	18,86	28,87	6,71	0,50	1,87	14,94	30,94	0,0628	0,015	1599,84	1069,17
	26	6,55	18,04	27,14	6,92	0,42	1,44	14,10	30,10	0,0628	0,015	1599,40	1068,32
	27	6,66	17,76	26,67	6,91	0,40	1,21	13,77	29,77	0,0628	0,015	1599,03	1068,00
	29	6,64	17,68	27,06	6,93	0,40	1,15	13,64	29,64	0,0628	0,015	1599,17	1067,86
	30	6,73	18,53	27,94	6,66	0,45	1,50	14,69	30,69	0,0628	0,015	1599,33	1068,91
32	6,68	18,24	27,41	6,85	0,44	1,49	14,39	30,39	0,0628	0,015	1599,50	1068,61	
33	6,56	17,99	27,19	6,88	0,40	1,30	14,09	30,09	0,0628	0,015	1599,32	1068,32	
35	6,53	17,28	26,42	7,02	0,36	0,89	13,20	29,20	0,0628	0,015	1598,96	1067,43	
36	6,70	18,96	28,25	6,73	0,50	1,97	15,30	31,30	0,0628	0,015	1599,71	1069,52	
37	6,66	18,21	27,50	6,87	0,44	1,49	14,36	30,36	0,0628	0,015	1599,45	1068,58	
38	6,70	18,52	27,64	6,72	0,43	1,52	14,69	30,69	0,0628	0,015	1599,32	1068,91	
39	6,89	19,99	28,91	6,43	0,55	2,46	16,39	32,39	0,0628	0,015	1599,81	1070,61	
40	6,69	18,70	27,74	6,76	0,47	1,79	14,87	30,87	0,0628	0,015	1599,50	1069,10	
43	6,85	18,96	28,13	6,53	0,46	1,68	15,12	31,12	0,0628	0,015	1599,34	1069,35	
44	6,74	18,92	27,86	6,62	0,46	1,80	15,09	31,09	0,0628	0,015	1599,36	1069,31	
Medido	6	7,10	22,04	93,40	4,77	0,43	1,87	17,33	35,00	0,0286	0,010	1600,00	1600,00
	11	7,68	19,95	123,33	5,91	0,35	1,53	14,00	29,00	0,0345	0,010	540,00	540,00
	16	6,99	20,29	52,03	6,26	0,55	2,37	22,00	44,00	0,0227	0,020	1600,00	1600,00
	20	6,68	19,95	27,47	6,59	0,57	2,48	23,00	46,33	0,0216	0,020	1600,00	1600,00
	25	6,42	18,50	151,00	6,78	0,35	1,51	14,00	28,33	0,0353	0,010	1600,00	540,00
	28	6,84	17,06	13,37	6,98	0,16	0,67	6,00	13,00	0,0769	0,000	920,00	350,00
	31	6,51	16,91	10,03	7,45	0,20	0,86	8,00	16,00	0,0625	0,010	1600,00	240,00
	34	6,10	16,20	3,73	6,82	0,11	0,48	4,33	9,00	0,1111	0,000	920,00	70,00
	41	6,97	22,37	30,57	6,30	0,70	3,01	28,00	56,00	0,0179	0,020	1600,00	1600,00
42	7,23	21,74	16,80	6,68	0,85	3,69	34,33	68,67	0,0146	0,030	1600,00	1600,00	

8.3 Apêndice 3

Apêndice A. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR para o período de Inverno.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl-	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	7,25	16,68	8,60	7,13	0,34	3,12	16,55	33,34	0,0310	0,020	1600,00	1023,03
	2	7,25	16,71	8,46	7,13	0,35	3,15	16,74	33,73	0,0307	0,020	1600,00	1008,23
	3	7,25	16,70	8,42	7,12	0,35	3,14	16,73	33,70	0,0307	0,020	1600,00	1003,01
	4	7,25	16,73	8,10	7,11	0,36	3,17	17,07	34,38	0,0302	0,020	1600,00	966,81
	5	7,25	16,74	8,49	7,13	0,35	3,17	16,79	33,83	0,0306	0,020	1600,00	1014,45
	7	7,25	16,68	8,58	7,13	0,34	3,12	16,57	33,39	0,0309	0,020	1600,00	1020,56
	8	7,26	16,65	8,74	7,13	0,33	3,09	16,35	32,94	0,0313	0,020	1600,00	1037,32
	9	7,26	16,64	8,41	7,12	0,34	3,09	16,60	33,42	0,0309	0,020	1600,00	997,32
	10	7,32	16,97	8,61	7,09	0,37	2,94	17,79	35,80	0,0298	0,020	1600,00	1134,92
	12	7,33	17,10	8,32	7,08	0,39	2,96	18,45	37,11	0,0290	0,020	1600,00	1128,21
	13	7,38	17,03	5,07	6,95	0,48	2,97	20,81	41,62	0,0254	0,020	1600,00	723,95
	14	7,33	17,15	8,09	7,07	0,40	2,95	18,81	37,82	0,0285	0,020	1600,00	1115,58
	15	7,32	17,04	8,45	7,09	0,38	2,95	18,15	36,50	0,0294	0,020	1600,00	1131,40
	17	7,33	17,14	8,24	7,08	0,40	2,97	18,65	37,50	0,0287	0,020	1600,00	1127,28
	18	7,38	17,06	4,91	6,95	0,48	3,00	21,02	42,04	0,0251	0,020	1600,00	707,80
	19	7,24	16,62	7,17	7,12	0,39	5,66	26,68	54,39	0,0213	0,023	1600,00	1255,59
	21	7,25	16,79	7,38	7,09	0,39	3,24	17,80	35,80	0,0291	0,020	1600,00	885,49
	22	7,16	15,77	8,77	7,04	0,25	2,90	18,96	38,92	0,0283	0,020	1600,00	1365,62
	23	7,35	16,86	4,31	6,96	0,50	5,39	30,29	61,45	0,0167	0,023	1600,00	1050,94
	24	7,36	16,22	13,85	6,86	0,40	2,71	17,49	35,13	0,0312	0,020	1600,00	920,00
	26	6,91	12,72	7,38	7,53	0,16	1,87	7,70	15,82	0,0752	0,009	661,33	334,96
	27	6,85	11,77	2,50	8,13	0,11	1,46	5,83	11,91	0,0864	0,007	553,04	129,59
	29	7,04	12,70	8,69	7,81	0,17	1,75	8,28	16,66	0,0666	0,013	910,90	346,19
	30	7,38	16,34	12,12	6,89	0,40	2,69	17,78	35,67	0,0306	0,020	1600,00	920,00
32	7,11	13,74	3,26	7,77	0,27	1,87	12,32	24,65	0,0595	0,013	892,28	355,51	
33	6,89	12,65	6,90	7,55	0,15	1,86	7,49	15,43	0,0771	0,009	631,86	319,07	
35	6,83	11,77	2,25	8,07	0,11	1,48	5,76	11,82	0,0873	0,007	506,44	125,42	
36	7,46	17,23	10,29	6,96	0,54	5,10	25,01	50,14	0,0238	0,023	1600,00	812,63	
37	7,22	14,92	9,33	7,20	0,34	2,32	14,90	29,91	0,0443	0,016	1142,88	612,45	
38	6,82	12,56	2,39	7,49	0,14	1,94	12,24	25,56	0,0687	0,010	691,36	568,18	
39	7,36	16,89	4,30	6,96	0,50	5,37	30,25	61,34	0,0167	0,023	1600,00	1046,07	
40	7,23	15,04	9,56	7,17	0,35	2,36	15,25	30,60	0,0432	0,017	1173,10	632,78	
43	7,16	15,83	8,94	7,05	0,25	2,92	18,64	38,23	0,0287	0,020	1600,00	1361,12	
44	6,88	14,35	6,08	7,26	0,19	2,66	16,11	33,63	0,0519	0,014	1165,32	1136,97	
Medido	6	7,08	17,28	12,93	7,34	0,28	3,57	14,67	30,00	0,0335	0,020	1600,00	1600,00
	11	7,40	15,87	8,33	7,07	0,26	2,43	14,67	29,33	0,0341	0,020	1600,00	920,00
	16	7,47	18,25	4,07	6,86	0,64	2,97	26,00	52,00	0,0192	0,020	1600,00	920,00
	20	7,29	17,01	2,80	6,93	0,54	3,50	22,00	44,00	0,0227	0,020	1600,00	350,00
	25	7,27	15,00	23,13	6,77	0,30	2,67	13,00	26,33	0,0380	0,020	1600,00	920,00
	28	6,94	11,69	4,37	8,53	0,12	1,33	6,00	12,00	0,0833	0,010	920,00	170,00
	31	6,96	11,97	1,83	7,86	0,12	1,47	7,00	14,00	0,0714	0,010	350,00	79,00
	34	6,55	11,63	0,33	7,80	0,08	1,67	4,00	9,00	0,1111	0,000	220,00	130,00
	41	6,98	14,24	5,33	6,74	0,21	2,77	27,33	57,00	0,0175	0,020	1600,00	1600,00
	42	7,67	18,52	3,37	7,32	0,70	10,87	38,00	76,00	0,0132	0,030	1600,00	540,00

Apêndice B. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR para o período de Verão.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	6,92	22,06	111,91	7,13	0,62	3,16	27,03	53,94	0,0189	0,023	1600,00	1328,26
	2	6,92	22,08	107,47	7,11	0,61	3,15	27,30	54,46	0,0187	0,023	1600,00	1299,93
	3	6,93	22,06	108,40	7,13	0,61	3,14	27,25	54,37	0,0187	0,023	1600,00	1301,77
	4	6,94	22,07	101,63	7,12	0,61	3,11	27,66	55,20	0,0185	0,023	1600,00	1251,89
	5	6,92	22,12	105,48	7,09	0,62	3,16	27,42	54,67	0,0186	0,023	1600,00	1293,59
	7	6,92	22,06	111,39	7,13	0,62	3,16	27,06	54,01	0,0188	0,023	1600,00	1324,59
	8	6,91	22,03	116,53	7,15	0,62	3,17	26,75	53,40	0,0190	0,022	1600,00	1357,18
	9	6,93	21,99	113,05	7,17	0,61	3,13	26,97	53,87	0,0189	0,023	1600,00	1320,98
	10	6,89	21,74	117,61	7,28	0,67	3,24	28,40	56,76	0,0183	0,023	1600,00	1600,00
	12	6,89	21,72	109,88	7,28	0,68	3,24	29,23	58,40	0,0179	0,023	1600,00	1600,00
	13	7,05	21,31	77,01	7,47	0,59	2,82	31,23	62,69	0,0166	0,027	1600,00	1235,41
	14	6,90	21,67	106,54	7,30	0,68	3,23	29,64	59,22	0,0176	0,024	1600,00	1600,00
	15	6,89	21,73	113,47	7,28	0,68	3,24	28,85	57,64	0,0181	0,023	1600,00	1600,00
	17	6,89	21,71	107,49	7,28	0,68	3,24	29,49	58,90	0,0177	0,024	1600,00	1600,00
	18	7,05	21,33	72,32	7,45	0,58	2,81	31,52	63,24	0,0164	0,027	1600,00	1205,38
	19	7,06	23,27	54,39	5,93	0,56	5,44	40,25	79,85	0,0135	0,037	1600,00	1379,06
	21	6,97	22,07	88,00	7,11	0,59	3,04	28,50	56,87	0,0180	0,024	1600,00	1147,34
	22	6,91	22,58	108,80	6,66	0,59	3,15	30,59	60,99	0,0174	0,027	1600,00	1600,00
	23	7,16	22,57	30,31	6,25	0,54	5,11	43,79	87,24	0,0117	0,040	1600,00	1384,71
	24	6,95	20,74	124,49	7,53	0,56	2,42	25,90	51,95	0,0210	0,023	1600,00	1600,00
	26	6,61	18,03	50,12	7,52	0,29	0,93	10,12	19,85	0,0659	0,009	1600,00	613,97
	27	6,61	17,83	34,90	7,70	0,22	0,60	6,83	13,32	0,0764	0,007	1600,00	798,84
	29	6,77	18,87	75,77	7,59	0,29	0,92	10,67	20,99	0,0566	0,013	1600,00	1167,05
	30	6,96	20,81	125,55	7,57	0,58	2,55	26,49	53,20	0,0204	0,023	1600,00	1600,00
32	6,80	19,02	36,86	7,57	0,37	1,32	16,58	32,76	0,0516	0,016	1600,00	1097,64	
33	6,60	17,94	46,83	7,53	0,29	0,91	9,80	19,24	0,0677	0,009	1600,00	580,51	
35	6,59	17,69	29,97	7,68	0,23	0,60	6,76	13,16	0,0776	0,007	1600,00	697,27	
36	7,09	21,37	72,50	6,96	0,55	4,56	35,56	70,92	0,0166	0,032	1600,00	1407,86	
37	6,86	19,62	65,63	7,42	0,46	1,74	20,97	41,57	0,0364	0,019	1600,00	1142,88	
38	6,65	19,05	15,52	7,00	0,30	1,26	17,37	34,30	0,0611	0,016	1600,00	641,60	
39	7,16	22,55	30,34	6,27	0,54	5,09	43,72	87,11	0,0117	0,040	1600,00	1386,54	
40	6,86	19,69	67,33	7,43	0,46	1,79	21,52	42,70	0,0353	0,020	1600,00	1173,10	
43	6,90	22,56	111,14	6,69	0,60	3,17	30,19	60,18	0,0176	0,026	1600,00	1600,00	
44	6,69	21,20	47,90	6,61	0,46	2,41	25,64	50,84	0,0419	0,021	1600,00	1120,90	
Medido	6	6,68	23,28	109,33	6,49	0,74	3,87	27,00	53,00	0,0189	0,020	1600,00	1600,00
	11	6,98	21,02	180,00	7,74	0,60	2,90	23,00	46,67	0,0213	0,020	1600,00	1600,00
	16	6,99	21,03	34,83	7,53	0,70	3,03	38,00	76,00	0,0132	0,030	1600,00	1600,00
	20	7,17	21,84	15,40	7,16	0,47	2,53	33,00	66,00	0,0152	0,030	1600,00	540,00
	25	6,90	20,40	159,67	7,44	0,43	1,77	19,00	38,00	0,0263	0,020	1600,00	1600,00
	28	6,75	18,79	74,47	7,95	0,20	0,60	7,00	14,00	0,0710	0,010	1600,00	1600,00
	31	6,70	17,72	10,10	7,32	0,26	0,60	8,00	15,00	0,0653	0,010	1600,00	350,00
	34	6,27	16,39	2,80	7,80	0,21	0,60	5,00	10,00	0,1000	0,000	1600,00	79,00
	41	7,04	23,52	35,90	5,73	0,45	2,73	41,67	83,00	0,0121	0,040	1600,00	1600,00
	42	7,46	23,00	19,30	5,60	0,49	9,93	52,00	103,33	0,0097	0,050	1600,00	920,00

Apêndice C. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR para o período de Outono.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl-	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	7,21	20,72	87,79	5,67	0,44	1,90	17,53	35,64	0,0290	0,013	1200,14	1200,14
	2	7,19	20,72	85,21	5,68	0,45	1,93	17,77	36,11	0,0287	0,013	1229,15	1229,15
	3	7,19	20,70	85,65	5,69	0,44	1,92	17,73	36,02	0,0287	0,013	1217,62	1217,62
	4	7,15	20,67	81,55	5,74	0,45	1,96	18,10	36,76	0,0282	0,013	1252,88	1252,88
	5	7,17	20,75	84,21	5,67	0,45	1,94	17,87	36,30	0,0285	0,013	1250,48	1250,48
	7	7,21	20,72	87,48	5,67	0,44	1,90	17,56	35,70	0,0290	0,013	1203,02	1203,02
	8	7,24	20,71	90,46	5,65	0,43	1,87	17,28	35,16	0,0294	0,012	1169,24	1169,24
	9	7,22	20,65	88,09	5,71	0,44	1,90	17,48	35,57	0,0291	0,013	1173,43	1173,43
	10	7,31	20,70	94,20	5,65	0,43	1,87	17,26	35,04	0,0294	0,013	1167,49	1167,49
	12	7,27	20,70	90,36	5,68	0,44	1,92	17,69	35,85	0,0288	0,013	1218,57	1218,57
	13	7,12	20,06	67,58	6,26	0,49	2,13	19,65	39,75	0,0263	0,017	1243,21	1243,21
	14	7,26	20,67	88,63	5,71	0,45	1,94	17,89	36,22	0,0285	0,014	1232,86	1232,86
	15	7,29	20,70	92,14	5,66	0,44	1,89	17,49	35,47	0,0290	0,013	1194,95	1194,95
	17	7,26	20,71	89,17	5,69	0,45	1,93	17,83	36,10	0,0286	0,014	1235,32	1235,32
	18	7,09	20,06	64,85	6,28	0,50	2,15	19,91	40,25	0,0259	0,017	1273,45	1273,45
	19	7,10	22,06	46,53	5,92	0,66	2,86	26,59	53,29	0,0203	0,020	1600,00	1600,00
	21	7,08	20,59	73,20	5,85	0,47	2,04	18,87	38,25	0,0272	0,014	1318,30	1318,30
	22	7,26	21,43	82,42	5,68	0,49	2,14	19,80	40,05	0,0270	0,013	1234,64	1234,64
	23	7,06	21,52	32,95	6,41	0,70	3,02	28,12	56,24	0,0184	0,023	1600,00	1600,00
	24	6,88	19,38	113,54	6,43	0,41	1,79	16,54	33,45	0,0311	0,013	1368,26	876,41
	26	6,35	17,12	47,95	7,05	0,21	0,92	8,47	17,15	0,0711	0,007	1371,62	268,10
	27	6,54	16,79	9,82	7,09	0,16	0,68	6,24	12,99	0,0808	0,003	1146,29	242,48
	29	6,61	17,41	50,33	7,09	0,22	0,97	8,91	18,29	0,0604	0,006	1343,84	364,52
	30	7,02	19,55	109,76	6,33	0,42	1,80	16,61	33,66	0,0309	0,013	1256,55	885,65
32	6,75	17,95	23,48	6,96	0,29	1,25	11,54	23,38	0,0551	0,010	1394,64	675,93	
33	6,34	17,07	44,86	7,04	0,21	0,89	8,24	16,70	0,0730	0,006	1352,34	257,09	
35	6,50	16,75	9,29	7,10	0,16	0,68	6,22	12,88	0,0820	0,004	1163,84	226,89	
36	6,87	20,10	75,42	6,56	0,57	2,45	22,79	45,69	0,0246	0,019	1600,00	1242,92	
37	6,63	18,48	68,26	6,86	0,36	1,54	14,33	28,76	0,0413	0,013	1600,00	764,39	
38	6,51	18,35	14,17	6,87	0,32	1,39	12,90	25,92	0,0658	0,010	1360,04	601,32	
39	7,06	21,49	33,23	6,41	0,70	3,02	28,04	56,07	0,0184	0,023	1600,00	1600,00	
40	6,64	18,55	70,15	6,84	0,36	1,57	14,60	29,30	0,0404	0,013	1600,00	787,89	
43	7,26	21,41	84,22	5,65	0,49	2,11	19,51	39,47	0,0273	0,013	1227,63	1227,63	
44	6,74	20,33	41,31	6,00	0,43	1,86	17,29	34,78	0,0505	0,011	1385,81	1118,07	
Medido	6	7,10	22,04	93,40	4,77	0,43	1,87	17,33	35,00	0,0286	0,010	1600,00	1600,00
	11	7,68	19,95	123,33	5,91	0,35	1,53	14,00	29,00	0,0345	0,010	540,00	540,00
	16	6,99	20,29	52,03	6,26	0,55	2,37	22,00	44,00	0,0227	0,020	1600,00	1600,00
	20	6,68	19,95	27,47	6,59	0,57	2,48	23,00	46,33	0,0216	0,020	1600,00	1600,00
	25	6,42	18,50	151,00	6,78	0,35	1,51	14,00	28,33	0,0353	0,010	1600,00	540,00
	28	6,84	17,06	13,37	6,98	0,16	0,67	6,00	13,00	0,0769	0,000	920,00	350,00
	31	6,51	16,91	10,03	7,45	0,20	0,86	8,00	16,00	0,0625	0,010	1600,00	240,00
	34	6,10	16,20	3,73	6,82	0,11	0,48	4,33	9,00	0,1111	0,000	920,00	70,00
	41	6,97	22,37	30,57	6,30	0,70	3,01	28,00	56,00	0,0179	0,020	1600,00	1600,00
	42	7,23	21,74	16,80	6,68	0,85	3,69	34,33	68,67	0,0146	0,030	1600,00	1600,00

Apêndice D. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR para o período de Primavera.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	7,07	19,16	25,13	5,97	0,48	4,19	19,91	40,20	0,0255	0,020	1600,00	1218,02
	2	7,05	19,13	24,52	5,99	0,48	4,23	20,12	40,63	0,0252	0,020	1600,00	1178,20
	3	7,06	19,12	24,50	5,99	0,48	4,22	20,09	40,58	0,0252	0,020	1600,00	1180,79
	4	7,03	19,05	23,35	6,02	0,48	4,30	20,42	41,29	0,0249	0,020	1600,00	1110,68
	5	7,04	19,14	24,48	5,99	0,48	4,24	20,18	40,77	0,0251	0,020	1600,00	1169,30
	7	7,07	19,15	25,04	5,97	0,48	4,19	19,93	40,25	0,0254	0,020	1600,00	1212,87
	8	7,09	19,18	25,73	5,95	0,48	4,14	19,70	39,76	0,0257	0,020	1600,00	1258,68
	9	7,07	19,11	24,76	5,98	0,48	4,19	19,91	40,21	0,0255	0,020	1600,00	1207,80
	10	7,12	19,26	26,33	5,93	0,48	4,44	21,17	42,57	0,0246	0,023	1307,53	1307,53
	12	7,09	19,22	25,36	5,95	0,49	4,58	21,85	43,93	0,0240	0,023	1245,98	1245,98
	13	6,96	18,48	15,82	6,23	0,50	5,01	23,80	48,17	0,0218	0,023	1261,37	748,89
	14	7,08	19,19	24,74	5,97	0,49	4,66	22,20	44,65	0,0237	0,024	1212,02	1212,02
	15	7,11	19,24	25,81	5,94	0,49	4,52	21,54	43,30	0,0243	0,023	1274,59	1274,59
	17	7,09	19,21	25,08	5,96	0,49	4,63	22,06	44,34	0,0238	0,024	1227,79	1227,79
	18	6,94	18,45	15,17	6,25	0,50	5,06	24,02	48,63	0,0215	0,023	1261,17	706,47
	19	6,80	17,96	21,97	6,04	0,54	5,23	25,00	50,00	0,0208	0,023	1600,00	1379,06
	21	6,97	18,90	20,87	6,10	0,49	4,45	21,12	42,75	0,0241	0,020	1600,00	963,71
	22	7,07	18,76	27,42	6,03	0,48	4,29	20,46	41,03	0,0250	0,020	1600,00	1600,00
	23	6,73	17,41	14,95	6,24	0,56	5,92	28,26	56,62	0,0178	0,026	1267,25	1051,96
	24	6,81	17,78	41,42	5,92	0,48	4,34	20,68	41,69	0,0257	0,019	1263,59	1263,59
	26	6,50	14,53	20,63	6,90	0,31	1,88	9,14	17,76	0,0775	0,007	558,30	495,50
	27	6,46	14,02	6,89	7,35	0,25	1,25	6,11	11,71	0,0918	0,003	744,36	105,02
	29	6,36	15,00	24,44	6,95	0,31	1,96	9,43	18,60	0,0650	0,006	1073,19	534,51
	30	6,90	18,04	36,91	5,94	0,48	4,39	20,90	42,13	0,0254	0,020	1254,35	1254,35
32	6,44	15,59	8,93	7,11	0,34	2,83	13,61	26,92	0,0586	0,013	674,85	242,99	
33	6,52	14,45	19,28	6,92	0,31	1,83	8,86	17,19	0,0800	0,006	530,94	462,83	
35	6,47	13,95	6,09	7,35	0,25	1,25	6,10	11,65	0,0931	0,004	642,23	96,43	
36	6,65	17,36	30,87	5,98	0,53	5,33	25,42	51,09	0,0212	0,023	1196,59	1004,45	
37	6,48	16,39	26,38	6,57	0,41	3,63	17,38	34,61	0,0394	0,016	709,68	709,68	
38	6,61	14,73	7,49	7,09	0,34	2,48	11,97	23,37	0,0744	0,010	599,94	533,95	
39	6,73	17,43	14,90	6,24	0,56	5,93	28,29	56,69	0,0178	0,026	1255,20	1041,74	
40	6,50	16,48	27,11	6,54	0,41	3,71	17,78	35,45	0,0383	0,017	730,20	730,20	
43	7,08	18,82	27,78	6,01	0,48	4,25	20,30	40,71	0,0251	0,020	1600,00	1600,00	
44	6,92	16,79	18,57	6,45	0,42	3,47	16,66	33,11	0,0565	0,014	1165,32	1106,42	
Medido	6	7,06	20,21	35,00	5,68	0,48	3,98	19,00	38,00	0,0263	0,020	1600,00	1600,00
	11	7,35	18,98	28,60	5,87	0,45	3,64	17,33	35,00	0,0286	0,020	1600,00	1600,00
	16	6,85	18,58	13,03	6,29	0,53	6,15	29,33	59,00	0,0169	0,030	540,00	540,00
	20	6,68	17,92	5,90	6,54	0,51	5,28	25,00	51,00	0,0196	0,020	1600,00	110,00
	25	6,53	16,67	66,87	5,69	0,45	3,43	16,33	33,00	0,0303	0,010	1600,00	1600,00
	28	6,46	14,44	13,37	7,29	0,25	1,19	5,67	11,33	0,0889	0,000	1600,00	170,00
	31	6,12	14,27	2,57	7,58	0,27	1,62	8,00	15,00	0,0667	0,010	79,00	79,00
	34	6,91	13,02	1,97	7,13	0,24	0,87	4,33	8,00	0,1296	0,000	220,00	33,00
41	6,80	17,17	19,13	6,51	0,51	5,23	25,00	50,00	0,0200	0,020	1600,00	1600,00	
42	6,53	16,55	11,97	5,89	0,64	6,49	31,00	62,00	0,0161	0,030	1600,00	920,00	

8.4 Apêndice 4

Apêndice A. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR com 12 sub-bacias de treinamento para o período de Inverno.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl-	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	7,22	15,99	10,17	7,10	0,27	3,21	15,20	30,55	0,0329	0,020	1600,00	967,55
	3	7,20	15,71	9,97	7,05	0,27	3,33	15,45	30,98	0,0324	0,020	1600,00	830,38
	4	7,17	15,97	8,40	7,00	0,35	3,66	17,57	35,20	0,0291	0,020	1600,00	640,85
	5	7,20	15,87	10,19	7,08	0,27	3,31	15,34	30,80	0,0326	0,020	1600,00	911,59
	7	7,22	15,98	10,17	7,10	0,27	3,22	15,20	30,56	0,0329	0,020	1600,00	964,36
	8	7,22	15,94	10,08	7,09	0,27	3,21	15,22	30,58	0,0329	0,020	1600,00	944,59
	9	7,23	15,93	10,02	7,09	0,27	3,19	15,21	30,56	0,0329	0,020	1600,00	939,17
	10	7,32	16,97	8,61	7,09	0,37	2,94	17,79	35,80	0,0298	0,020	1600,00	1134,92
	12	7,33	17,10	8,32	7,08	0,39	2,96	18,45	37,11	0,0290	0,020	1600,00	1128,21
	13	7,38	17,03	5,07	6,95	0,48	2,97	20,81	41,62	0,0254	0,020	1600,00	723,95
	14	7,33	17,15	8,09	7,07	0,40	2,95	18,81	37,82	0,0285	0,020	1600,00	1115,58
	15	7,32	17,04	8,45	7,09	0,38	2,95	18,15	36,50	0,0294	0,020	1600,00	1131,40
	17	7,33	17,14	8,24	7,08	0,40	2,97	18,65	37,50	0,0287	0,020	1600,00	1127,28
	18	7,38	17,06	4,91	6,95	0,48	3,00	21,02	42,04	0,0251	0,020	1600,00	707,80
	19	7,24	16,62	7,17	7,12	0,39	5,66	26,68	54,39	0,0213	0,023	1600,00	1255,59
	21	7,25	16,79	7,38	7,09	0,39	3,24	17,80	35,80	0,0291	0,020	1600,00	885,49
	22	7,16	15,77	8,77	7,04	0,25	2,90	18,96	38,92	0,0283	0,020	1600,00	1365,62
	23	7,35	16,86	4,31	6,96	0,50	5,39	30,29	61,45	0,0167	0,023	1600,00	1050,94
	24	7,36	16,22	13,85	6,86	0,40	2,71	17,49	35,13	0,0312	0,020	1600,00	920,00
	26	6,83	11,70	1,71	7,82	0,11	1,46	6,00	12,05	0,0862	0,007	672,87	86,26
	27	6,97	11,67	3,19	8,07	0,12	1,33	6,65	12,93	0,0776	0,010	1017,62	98,03
	30	7,23	14,70	9,98	7,17	0,34	2,24	14,79	29,33	0,0464	0,016	1600,00	601,10
	32	6,97	11,70	2,99	8,02	0,12	1,35	6,73	13,09	0,0766	0,010	961,96	91,72
	33	6,82	11,70	1,66	7,82	0,11	1,47	5,93	11,94	0,0870	0,006	655,88	87,82
	35	6,97	11,71	3,08	8,06	0,12	1,35	6,67	13,02	0,0771	0,010	942,37	98,44
	36	7,26	15,21	10,17	7,10	0,38	2,37	16,19	32,20	0,0421	0,017	1600,00	668,55
	37	7,06	12,64	8,46	7,52	0,18	1,72	8,73	17,17	0,0639	0,013	1186,97	308,92
	38	6,83	11,69	1,71	7,82	0,11	1,46	5,95	11,94	0,0870	0,007	702,31	86,28
	39	7,36	16,89	4,30	6,96	0,50	5,37	30,25	61,34	0,0167	0,023	1600,00	1046,07
	40	7,23	15,04	9,56	7,17	0,35	2,36	15,25	30,60	0,0432	0,017	1173,10	632,78
	43	7,21	15,81	10,03	7,07	0,27	3,28	15,35	30,80	0,0326	0,020	1600,00	883,21
	44	6,88	14,35	6,08	7,26	0,19	2,66	16,11	33,63	0,0519	0,014	1165,32	1136,97
Medido	2	7,15	14,37	8,97	6,81	0,27	3,83	16,67	33,00	0,0303	0,020	1600,00	170,00
	6	7,08	17,28	12,93	7,34	0,28	3,57	14,67	30,00	0,0335	0,020	1600,00	1600,00
	11	7,40	15,87	8,33	7,07	0,26	2,43	14,67	29,33	0,0341	0,020	1600,00	920,00
	16	7,47	18,25	4,07	6,86	0,64	2,97	26,00	52,00	0,0192	0,020	1600,00	920,00
	20	7,29	17,01	2,80	6,93	0,54	3,50	22,00	44,00	0,0227	0,020	1600,00	350,00
	25	7,27	15,00	23,13	6,77	0,30	2,67	13,00	26,33	0,0380	0,020	1600,00	920,00
	28	6,94	11,69	4,37	8,53	0,12	1,33	6,00	12,00	0,0833	0,010	920,00	170,00
	29	6,99	11,44	3,10	7,79	0,13	1,23	7,00	13,00	0,0769	0,010	1600,00	46,00
	31	6,96	11,97	1,83	7,86	0,12	1,47	7,00	14,00	0,0714	0,010	350,00	79,00
	34	6,55	11,63	0,33	7,80	0,08	1,67	4,00	9,00	0,1111	0,000	220,00	130,00
41	6,98	14,24	5,33	6,74	0,21	2,77	27,33	57,00	0,0175	0,020	1600,00	1600,00	
42	7,67	18,52	3,37	7,32	0,70	10,87	38,00	76,00	0,0132	0,030	1600,00	540,00	

Apêndice B. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR com 12 sub-bacias de treinamento para o período de Verão.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl-	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	6,84	22,17	156,35	7,17	0,70	3,52	24,98	49,84	0,0201	0,020	1600,00	1600,00
	3	6,85	22,19	161,54	7,19	0,71	3,59	25,00	49,89	0,0201	0,020	1600,00	1600,00
	4	6,90	22,45	116,17	7,02	0,68	3,51	27,83	55,37	0,0183	0,023	1600,00	1302,64
	5	6,84	22,24	157,24	7,15	0,71	3,58	25,10	50,04	0,0200	0,020	1600,00	1600,00
	7	6,84	22,17	156,43	7,17	0,70	3,52	24,98	49,85	0,0201	0,020	1600,00	1600,00
	8	6,85	22,14	157,88	7,19	0,70	3,51	24,92	49,76	0,0201	0,020	1600,00	1600,00
	9	6,85	22,11	158,70	7,21	0,70	3,49	24,87	49,67	0,0202	0,020	1600,00	1600,00
	10	6,89	21,74	117,61	7,28	0,67	3,24	28,40	56,76	0,0183	0,023	1600,00	1600,00
	12	6,89	21,72	109,88	7,28	0,68	3,24	29,23	58,40	0,0179	0,023	1600,00	1600,00
	13	7,05	21,31	77,01	7,47	0,59	2,82	31,23	62,69	0,0166	0,027	1600,00	1235,41
	14	6,90	21,67	106,54	7,30	0,68	3,23	29,64	59,22	0,0176	0,024	1600,00	1600,00
	15	6,89	21,73	113,47	7,28	0,68	3,24	28,85	57,64	0,0181	0,023	1600,00	1600,00
	17	6,89	21,71	107,49	7,28	0,68	3,24	29,49	58,90	0,0177	0,024	1600,00	1600,00
	18	7,05	21,33	72,32	7,45	0,58	2,81	31,52	63,24	0,0164	0,027	1600,00	1205,38
	19	7,06	23,27	54,39	5,93	0,56	5,44	40,25	79,85	0,0135	0,037	1600,00	1379,06
	21	6,97	22,07	88,00	7,11	0,59	3,04	28,50	56,87	0,0180	0,024	1600,00	1147,34
	22	6,91	22,58	108,80	6,66	0,59	3,15	30,59	60,99	0,0174	0,027	1600,00	1600,00
	23	7,16	22,57	30,31	6,25	0,54	5,11	43,79	87,24	0,0117	0,040	1600,00	1384,71
	24	6,95	20,74	124,49	7,53	0,56	2,42	25,90	51,95	0,0210	0,023	1600,00	1600,00
	26	6,62	17,44	8,65	7,63	0,25	0,60	7,00	13,63	0,0760	0,007	1600,00	180,75
	27	6,79	18,30	33,60	7,73	0,24	0,60	7,65	15,03	0,0662	0,010	1600,00	680,06
	30	6,93	19,82	68,06	7,62	0,46	1,73	20,81	41,61	0,0355	0,019	1600,00	1045,02
	32	6,79	18,21	28,84	7,68	0,25	0,60	7,73	15,09	0,0658	0,010	1600,00	591,31
	33	6,60	17,40	8,45	7,64	0,25	0,60	6,93	13,51	0,0768	0,006	1600,00	177,42
35	6,78	18,25	32,47	7,70	0,24	0,60	7,67	14,99	0,0663	0,010	1600,00	675,88	
36	6,94	20,03	70,43	7,59	0,49	1,91	23,01	46,03	0,0318	0,021	1600,00	1162,42	
37	6,84	18,70	54,50	7,56	0,31	0,94	11,17	22,01	0,0530	0,013	1600,00	607,11	
38	6,61	17,43	8,62	7,66	0,25	0,60	6,95	13,57	0,0765	0,007	1600,00	169,31	
39	7,16	22,55	30,34	6,27	0,54	5,09	43,72	87,11	0,0117	0,040	1600,00	1386,54	
40	6,86	19,69	67,33	7,43	0,46	1,79	21,52	42,70	0,0353	0,020	1600,00	1173,10	
43	6,85	22,17	159,75	7,19	0,71	3,55	24,97	49,84	0,0201	0,020	1600,00	1600,00	
44	6,69	21,20	47,90	6,61	0,46	2,41	25,64	50,84	0,0419	0,021	1600,00	1120,90	
Medido	2	6,88	22,27	187,33	7,31	0,78	3,90	25,00	50,00	0,0200	0,020	1600,00	1600,00
	6	6,68	23,28	109,33	6,49	0,74	3,87	27,00	53,00	0,0189	0,020	1600,00	1600,00
	11	6,98	21,02	180,00	7,74	0,60	2,90	23,00	46,67	0,0213	0,020	1600,00	1600,00
	16	6,99	21,03	34,83	7,53	0,70	3,03	38,00	76,00	0,0132	0,030	1600,00	1600,00
	20	7,17	21,84	15,40	7,16	0,47	2,53	33,00	66,00	0,0152	0,030	1600,00	540,00
	25	6,90	20,40	159,67	7,44	0,43	1,77	19,00	38,00	0,0263	0,020	1600,00	1600,00
	28	6,75	18,79	74,47	7,95	0,20	0,60	7,00	14,00	0,0710	0,010	1600,00	1600,00
	29	6,91	18,27	13,43	7,85	0,27	0,60	8,00	16,00	0,0625	0,010	1600,00	79,00
	31	6,70	17,72	10,10	7,32	0,26	0,60	8,00	15,00	0,0653	0,010	1600,00	350,00
	34	6,27	16,39	2,80	7,80	0,21	0,60	5,00	10,00	0,1000	0,000	1600,00	79,00
41	7,04	23,52	35,90	5,73	0,45	2,73	41,67	83,00	0,0121	0,040	1600,00	1600,00	
42	7,46	23,00	19,30	5,60	0,49	9,93	52,00	103,33	0,0097	0,050	1600,00	920,00	

Apêndice C. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR com 12 sub-bacias de treinamento para o período de Outono.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	7,32	21,12	111,43	5,36	0,41	1,76	16,27	32,76	0,0308	0,013	1204,76	855,01
	3	7,28	21,19	112,72	5,36	0,41	1,78	16,58	33,17	0,0304	0,014	1277,24	757,94
	4	6,99	21,23	85,94	5,55	0,48	2,06	19,21	38,18	0,0266	0,017	1600,00	1038,31
	5	7,28	21,22	111,32	5,33	0,41	1,78	16,53	33,15	0,0304	0,013	1272,90	831,14
	7	7,32	21,12	111,44	5,36	0,41	1,76	16,28	32,78	0,0308	0,013	1207,69	853,25
	8	7,32	21,09	111,99	5,38	0,41	1,75	16,25	32,71	0,0308	0,013	1196,09	830,27
	9	7,33	21,06	112,37	5,39	0,40	1,75	16,19	32,62	0,0309	0,013	1179,32	818,44
	10	7,31	20,70	94,20	5,65	0,43	1,87	17,26	35,04	0,0294	0,013	1167,49	1167,49
	12	7,27	20,70	90,36	5,68	0,44	1,92	17,69	35,85	0,0288	0,013	1218,57	1218,57
	13	7,12	20,06	67,58	6,26	0,49	2,13	19,65	39,75	0,0263	0,017	1243,21	1243,21
	14	7,26	20,67	88,63	5,71	0,45	1,94	17,89	36,22	0,0285	0,014	1232,86	1232,86
	15	7,29	20,70	92,14	5,66	0,44	1,89	17,49	35,47	0,0290	0,013	1194,95	1194,95
	17	7,26	20,71	89,17	5,69	0,45	1,93	17,83	36,10	0,0286	0,014	1235,32	1235,32
	18	7,09	20,06	64,85	6,28	0,50	2,15	19,91	40,25	0,0259	0,017	1273,45	1273,45
	19	7,10	22,06	46,53	5,92	0,66	2,86	26,59	53,29	0,0203	0,020	1600,00	1600,00
	21	7,08	20,59	73,20	5,85	0,47	2,04	18,87	38,25	0,0272	0,014	1318,30	1318,30
	22	7,26	21,43	82,42	5,68	0,49	2,14	19,80	40,05	0,0270	0,013	1234,64	1234,64
	23	7,06	21,52	32,95	6,41	0,70	3,02	28,12	56,24	0,0184	0,023	1600,00	1600,00
	24	6,88	19,38	113,54	6,43	0,41	1,79	16,54	33,45	0,0311	0,013	1368,26	876,41
	26	6,49	16,77	8,34	7,13	0,16	0,71	6,49	13,29	0,0803	0,007	1374,43	183,61
	27	6,78	17,09	11,70	7,14	0,18	0,76	6,93	14,46	0,0696	0,007	1364,95	278,02
	30	6,78	18,59	69,74	6,73	0,35	1,50	13,90	28,15	0,0435	0,013	1600,00	755,29
	32	6,75	17,08	11,44	7,18	0,18	0,78	7,09	14,70	0,0685	0,007	1414,86	269,95
	33	6,48	16,75	8,18	7,12	0,16	0,70	6,42	13,14	0,0814	0,006	1358,48	179,62
35	6,75	17,07	11,58	7,17	0,18	0,77	7,02	14,58	0,0691	0,007	1375,09	276,38	
36	6,78	18,82	73,44	6,67	0,37	1,62	15,01	30,32	0,0400	0,014	1600,00	854,22	
37	6,64	17,50	51,20	7,11	0,23	1,01	9,35	19,05	0,0569	0,010	1600,00	326,50	
38	6,50	16,77	8,27	7,11	0,16	0,70	6,40	13,14	0,0813	0,007	1362,93	180,73	
39	7,06	21,49	33,23	6,41	0,70	3,02	28,04	56,07	0,0184	0,023	1600,00	1600,00	
40	6,64	18,55	70,15	6,84	0,36	1,57	14,60	29,30	0,0404	0,013	1600,00	787,89	
43	7,30	21,15	112,34	5,37	0,41	1,77	16,44	32,98	0,0306	0,013	1242,51	792,55	
44	6,74	20,33	41,31	6,00	0,43	1,86	17,29	34,78	0,0505	0,011	1385,81	1118,07	
Medido	2	7,11	21,50	119,33	5,39	0,44	1,91	18,00	35,00	0,0286	0,020	1600,00	280,00
	6	7,10	22,04	93,40	4,77	0,43	1,87	17,33	35,00	0,0286	0,010	1600,00	1600,00
	11	7,68	19,95	123,33	5,91	0,35	1,53	14,00	29,00	0,0345	0,010	540,00	540,00
	16	6,99	20,29	52,03	6,26	0,55	2,37	22,00	44,00	0,0227	0,020	1600,00	1600,00
	20	6,68	19,95	27,47	6,59	0,57	2,48	23,00	46,33	0,0216	0,020	1600,00	1600,00
	25	6,42	18,50	151,00	6,78	0,35	1,51	14,00	28,33	0,0353	0,010	1600,00	540,00
	28	6,84	17,06	13,37	6,98	0,16	0,67	6,00	13,00	0,0769	0,000	920,00	350,00
	29	6,92	17,25	11,40	7,06	0,18	0,77	7,00	14,67	0,0683	0,010	1600,00	240,00
	31	6,51	16,91	10,03	7,45	0,20	0,86	8,00	16,00	0,0625	0,010	1600,00	240,00
	34	6,10	16,20	3,73	6,82	0,11	0,48	4,33	9,00	0,1111	0,000	920,00	70,00
41	6,97	22,37	30,57	6,30	0,70	3,01	28,00	56,00	0,0179	0,020	1600,00	1600,00	
42	7,23	21,74	16,80	6,68	0,85	3,69	34,33	68,67	0,0146	0,030	1600,00	1600,00	

Apêndice D. Valores dos parâmetros de qualidade de água extrapolados pelo modelo K-NNR com 12 sub-bacias de treinamento para o período de Primavera.

	Sub-bacia	pH	Temp.	Turb.	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	TSD	CE	Resist.	Salin.	CT	E. coli
Extrapolado	1	7,17	19,35	29,72	5,75	0,48	3,98	19,00	38,03	0,0265	0,020	1600,00	1419,82
	3	7,15	19,23	28,75	5,74	0,48	4,06	19,41	38,79	0,0260	0,020	1600,00	1332,48
	4	6,95	18,92	22,18	5,92	0,50	4,54	21,68	43,49	0,0233	0,020	1600,00	892,66
	5	7,15	19,32	29,37	5,74	0,48	4,03	19,27	38,52	0,0261	0,020	1600,00	1372,43
	7	7,17	19,34	29,70	5,75	0,48	3,98	19,01	38,05	0,0264	0,020	1600,00	1417,41
	8	7,17	19,32	29,53	5,75	0,48	3,98	19,01	38,06	0,0264	0,020	1600,00	1411,55
	9	7,17	19,30	29,47	5,75	0,48	3,97	18,98	37,99	0,0265	0,020	1600,00	1414,09
	10	7,12	19,26	26,33	5,93	0,48	4,44	21,17	42,57	0,0246	0,023	1307,53	1307,53
	12	7,09	19,22	25,36	5,95	0,49	4,58	21,85	43,93	0,0240	0,023	1245,98	1245,98
	13	6,96	18,48	15,82	6,23	0,50	5,01	23,80	48,17	0,0218	0,023	1261,37	748,89
	14	7,08	19,19	24,74	5,97	0,49	4,66	22,20	44,65	0,0237	0,024	1212,02	1212,02
	15	7,11	19,24	25,81	5,94	0,49	4,52	21,54	43,30	0,0243	0,023	1274,59	1274,59
	17	7,09	19,21	25,08	5,96	0,49	4,63	22,06	44,34	0,0238	0,024	1227,79	1227,79
	18	6,94	18,45	15,17	6,25	0,50	5,06	24,02	48,63	0,0215	0,023	1261,17	706,47
	19	6,80	17,96	21,97	6,04	0,54	5,23	25,00	50,00	0,0208	0,023	1600,00	1379,06
	21	6,97	18,90	20,87	6,10	0,49	4,45	21,12	42,75	0,0241	0,020	1600,00	963,71
	22	7,07	18,76	27,42	6,03	0,48	4,29	20,46	41,03	0,0250	0,020	1600,00	1600,00
	23	6,73	17,41	14,95	6,24	0,56	5,92	28,26	56,62	0,0178	0,026	1267,25	1051,96
	24	6,81	17,78	41,42	5,92	0,48	4,34	20,68	41,69	0,0257	0,019	1263,59	1263,59
	26	6,46	13,91	3,98	7,42	0,26	1,29	6,30	12,09	0,0906	0,004	571,12	63,74
	27	6,33	14,40	8,37	7,46	0,26	1,37	6,57	12,98	0,0782	0,003	1177,37	110,46
	30	6,57	16,45	28,92	6,54	0,41	3,50	16,67	33,67	0,0432	0,012	1275,25	720,27
	32	6,31	14,39	7,52	7,48	0,26	1,40	6,76	13,27	0,0765	0,004	1048,92	103,78
	33	6,47	13,88	3,90	7,41	0,26	1,28	6,23	11,95	0,0919	0,004	557,46	62,66
35	6,31	14,39	7,92	7,47	0,26	1,39	6,69	13,14	0,0773	0,003	1073,46	109,10	
36	6,61	16,76	29,61	6,44	0,43	3,86	18,37	37,07	0,0386	0,015	1199,48	761,89	
37	6,34	15,04	23,20	7,01	0,32	2,04	9,77	19,43	0,0601	0,006	1097,42	517,57	
38	6,48	13,90	4,11	7,41	0,26	1,27	6,19	11,92	0,0919	0,003	612,00	62,96	
39	6,73	17,43	14,90	6,24	0,56	5,93	28,29	56,69	0,0178	0,026	1255,20	1041,74	
40	6,50	16,48	27,11	6,54	0,41	3,71	17,78	35,45	0,0383	0,017	730,20	730,20	
43	7,16	19,27	29,11	5,74	0,48	4,02	19,23	38,47	0,0262	0,020	1600,00	1368,20	
44	6,92	16,79	18,57	6,45	0,42	3,47	16,66	33,11	0,0565	0,014	1165,32	1106,42	
Medido	2	7,06	18,68	24,07	5,68	0,50	4,45	21,33	42,33	0,0236	0,020	1600,00	920,00
	6	7,06	20,21	35,00	5,68	0,48	3,98	19,00	38,00	0,0263	0,020	1600,00	1600,00
	11	7,35	18,98	28,60	5,87	0,45	3,64	17,33	35,00	0,0286	0,020	1600,00	1600,00
	16	6,85	18,58	13,03	6,29	0,53	6,15	29,33	59,00	0,0169	0,030	540,00	540,00
	20	6,68	17,92	5,90	6,54	0,51	5,28	25,00	51,00	0,0196	0,020	1600,00	110,00
	25	6,53	16,67	66,87	5,69	0,45	3,43	16,33	33,00	0,0303	0,010	1600,00	1600,00
	28	6,46	14,44	13,37	7,29	0,25	1,19	5,67	11,33	0,0889	0,000	1600,00	170,00
	29	6,38	14,47	8,07	7,52	0,27	1,34	6,33	13,00	0,0769	0,000	1600,00	79,00
	31	6,12	14,27	2,57	7,58	0,27	1,62	8,00	15,00	0,0667	0,010	79,00	79,00
	34	6,91	13,02	1,97	7,13	0,24	0,87	4,33	8,00	0,1296	0,000	220,00	33,00
	41	6,80	17,17	19,13	6,51	0,51	5,23	25,00	50,00	0,0200	0,020	1600,00	1600,00
42	6,53	16,55	11,97	5,89	0,64	6,49	31,00	62,00	0,0161	0,030	1600,00	920,00	

8.5 Apêndice 5

Apêndice A. Coeficiente de correlação (r) entre os PQA e as variáveis biofisiográficas.

	Urb.	Rocha	Capo.	Agua	Agric.	Past.	Silv.	Mata	kmVias/km²	Dc 0-3	Dc 3-8	Dc 8-13	Dc 13-20	Dc 20-45	Dc 45-145	Dd	Dh	Cm	Eps	Tt	Ir	Conc.	Conv.	Ret.	Conv.	Div.	Planar	
pH_Inv	0.50	0.58	0.50	0.28	0.44	0.79	-0.59	-0.75	0.45	0.00	0.14	0.22	0.30	-0.01	-0.30	-0.36	-0.33	0.27	0.27	-0.32	-0.15	0.15	-0.04	-0.10	0.35	0.14	-0.33	
Temp_Inv	0.66	0.60	0.63	0.35	0.54	0.89	-0.69	-0.86	0.49	0.02	0.23	0.32	0.39	-0.08	-0.39	-0.63	-0.59	0.54	0.54	-0.59	-0.34	0.10	-0.25	0.12	0.18	0.04	-0.13	
Turb_Inv	0.36	0.26	0.42	0.31	0.41	0.35	-0.35	-0.39	0.22	0.12	0.21	0.30	0.30	-0.15	-0.30	-0.27	-0.25	0.25	0.25	-0.26	0.16	-0.21	0.12	0.09	-0.06	0.17	-0.13	
Odmg_Inv	-0.60	-0.58	-0.61	-0.40	-0.64	-0.82	0.74	0.81	-0.44	-0.06	-0.26	-0.36	-0.40	0.21	0.34	0.72	0.71	-0.64	-0.64	0.69	0.31	-0.01	0.20	-0.16	-0.11	-0.01	0.07	
Nit_Inv	0.43	0.62	0.40	0.25	0.40	0.78	-0.59	-0.73	0.35	-0.07	0.06	0.10	0.17	0.06	-0.18	-0.39	-0.39	0.30	0.30	-0.35	-0.22	0.35	-0.20	-0.15	0.36	0.03	-0.23	
Clor_Inv	0.39	0.47	0.31	0.22	0.43	0.66	-0.45	-0.64	0.10	-0.05	0.02	0.09	0.22	0.06	-0.20	-0.47	-0.44	0.43	0.43	-0.46	-0.28	0.19	-0.45	0.21	0.08	-0.08	0.04	
TSD_Inv	0.47	0.63	0.46	0.20	0.47	0.82	-0.59	-0.78	0.22	-0.11	0.01	0.08	0.18	0.04	-0.14	-0.54	-0.52	0.47	0.47	-0.52	-0.29	0.32	-0.43	0.08	0.25	-0.13	-0.02	
CE_Inv	0.47	0.63	0.46	0.19	0.47	0.81	-0.58	-0.78	0.21	-0.11	0.00	0.07	0.18	0.04	-0.13	-0.55	-0.53	0.48	0.48	-0.53	-0.29	0.32	-0.43	0.09	0.24	-0.14	0.00	
Resist_Inv	-0.65	-0.61	-0.66	-0.39	-0.64	-0.91	0.68	0.91	-0.47	-0.06	-0.25	-0.35	-0.43	0.15	0.39	0.67	0.61	-0.61	-0.61	0.65	0.36	-0.10	0.24	-0.11	-0.15	-0.08	0.16	
Sali_Inv	0.62	0.60	0.63	0.39	0.62	0.88	-0.64	-0.88	0.42	0.06	0.23	0.34	0.43	-0.11	-0.40	-0.61	0.54	0.55	0.55	-0.59	-0.30	0.09	-0.23	0.12	0.15	0.11	-0.19	
CT_Inv	0.39	0.34	0.36	0.23	0.35	0.43	-0.37	-0.45	0.48	-0.05	0.09	0.16	0.23	-0.05	-0.18	-0.31	-0.27	0.29	0.29	-0.31	-0.29	-0.05	0.10	-0.04	0.25	0.00	-0.14	
Ecol_Inv	0.59	0.47	0.63	0.17	0.42	0.66	-0.53	-0.67	0.28	-0.10	0.10	0.21	0.28	-0.07	-0.21	-0.61	-0.57	0.54	0.54	-0.58	-0.20	-0.01	-0.34	0.30	0.02	-0.17	0.16	
pH_out	0.63	0.30	0.66	0.31	0.47	0.67	-0.46	-0.71	0.53	0.17	0.42	0.51	0.60	-0.26	-0.56	-0.51	-0.39	0.49	0.49	-0.51	-0.41	-0.29	-0.14	0.38	0.03	0.14	-0.15	
Temp_out	0.70	0.49	0.71	0.41	0.68	0.85	-0.63	-0.89	0.42	0.12	0.34	0.46	0.55	-0.24	-0.49	-0.80	-0.69	0.77	0.77	-0.79	-0.50	-0.08	-0.39	0.41	-0.07	0.02	0.02	
Turb_out	0.56	0.25	0.58	0.43	0.55	0.54	-0.49	-0.58	0.45	0.26	0.44	0.54	0.56	-0.32	-0.53	-0.50	-0.44	0.47	0.47	-0.48	-0.11	-0.39	0.08	0.29	-0.10	0.21	-0.14	
Odmg_out	-0.70	-0.24	-0.69	-0.46	-0.62	-0.65	0.50	0.72	-0.50	-0.27	-0.55	-0.65	-0.69	0.38	0.66	0.74	0.62	-0.74	-0.74	0.75	0.51	0.40	0.23	-0.57	0.26	-0.12	-0.03	
Nit_out	0.52	0.62	0.51	0.26	0.53	0.84	-0.61	-0.82	0.25	-0.06	0.07	0.15	0.25	-0.01	-0.21	-0.63	-0.59	0.57	0.57	-0.61	-0.36	0.28	-0.45	0.13	0.17	-0.09	-0.01	
Clor_out	0.52	0.62	0.51	0.26	0.53	0.84	-0.61	-0.82	0.25	-0.06	0.07	0.15	0.25	-0.01	-0.21	-0.63	-0.59	0.57	0.57	-0.61	-0.36	0.28	-0.45	0.13	0.17	-0.09	-0.01	
TSD_out	0.52	0.62	0.51	0.26	0.54	0.84	-0.61	-0.82	0.25	-0.06	0.07	0.15	0.25	-0.01	-0.21	-0.63	-0.59	0.57	0.57	-0.61	-0.36	0.28	-0.45	0.13	0.16	-0.09	0.00	
CE_out	0.52	0.62	0.51	0.26	0.53	0.84	-0.61	-0.82	0.25	-0.06	0.07	0.15	0.25	-0.01	-0.20	-0.62	-0.58	0.57	0.57	-0.60	-0.35	0.28	-0.45	0.13	0.17	-0.09	-0.01	
Resist_out	-0.64	-0.60	-0.66	-0.40	-0.62	-0.89	0.66	0.90	-0.48	-0.07	-0.25	-0.36	-0.44	0.15	0.40	0.65	0.58	-0.60	-0.60	0.63	0.36	-0.10	0.20	-0.09	-0.14	-0.12	0.19	
Sali_out	0.44	0.58	0.41	0.30	0.54	0.78	-0.57	-0.76	0.28	-0.03	0.07	0.15	0.24	-0.04	-0.19	-0.55	-0.52	0.50	0.50	-0.53	-0.39	0.27	-0.30	0.02	0.21	0.01	-0.12	
CT_out	0.16	0.16	0.12	0.08	0.19	0.19	-0.16	-0.20	0.20	-0.07	0.00	0.03	0.04	-0.07	0.03	-0.18	-0.19	0.15	0.15	-0.17	-0.24	0.04	0.08	-0.11	0.06	0.01	-0.04	
Ecol_Inv	0.52	0.60	0.53	0.21	0.41	0.77	-0.56	-0.75	0.31	-0.11	0.05	0.12	0.19	0.04	-0.17	-0.56	-0.52	0.49	0.49	-0.53	-0.35	0.34	-0.39	0.03	0.20	-0.08	-0.03	
pH_prim	0.67	0.25	0.66	0.37	0.52	0.64	-0.54	-0.67	0.49	0.24	0.51	0.60	0.63	-0.60	-0.72	-0.62	0.68	0.68	-0.70	-0.44	-0.39	-0.27	0.58	-0.16	0.01	0.08	0.08	
Temp_prim	0.74	0.42	0.74	0.47	0.64	0.81	-0.63	-0.85	0.60	0.21	0.48	0.59	0.63	-0.31	-0.61	-0.72	-0.62	0.68	0.68	-0.71	-0.45	-0.21	-0.15	0.32	-0.05	0.17	-0.14	
Turb_prim	0.38	0.30	0.45	0.28	0.41	0.40	-0.39	-0.43	0.22	0.09	0.18	0.29	0.30	-0.13	-0.28	-0.30	-0.28	0.26	0.26	-0.27	0.17	-0.19	0.07	0.12	-0.02	0.12	-0.10	
Odmg_prim	-0.70	-0.46	-0.69	-0.46	-0.68	-0.81	0.66	0.84	-0.45	-0.19	-0.41	-0.52	-0.58	0.52	0.55	0.73	0.65	-0.67	-0.67	0.70	0.31	0.21	0.23	-0.39	0.06	-0.09	0.05	
Nit_prim	0.65	0.62	0.64	0.39	0.65	0.92	-0.71	-0.91	0.41	-0.05	0.24	0.34	0.43	-0.13	-0.39	-0.72	-0.66	0.65	0.65	-0.69	-0.38	0.10	-0.35	0.21	0.12	0.01	-0.08	
Clor_prim	0.60	0.64	0.60	0.34	0.59	0.91	-0.68	-0.89	0.40	0.00	0.18	0.26	0.34	-0.09	-0.31	-0.65	-0.62	0.58	0.58	-0.63	-0.36	0.20	-0.33	0.11	0.20	-0.01	-0.10	
TSD_prim	0.60	0.64	0.59	0.33	0.59	0.91	-0.68	-0.89	0.39	0.00	0.18	0.26	0.34	-0.09	-0.30	-0.66	-0.62	0.59	0.59	-0.63	-0.37	0.19	-0.34	0.11	0.19	-0.02	-0.09	
CE_prim	0.60	0.64	0.60	0.34	0.59	0.91	-0.68	-0.89	0.40	0.00	0.18	0.26	0.34	-0.09	-0.31	-0.65	-0.61	0.58	0.58	-0.62	-0.36	0.20	-0.33	0.11	0.20	-0.01	-0.10	
Resist_prim	-0.65	-0.58	-0.67	-0.42	-0.65	-0.88	0.67	0.89	-0.51	-0.09	-0.28	-0.39	-0.46	0.17	0.43	0.65	0.58	-0.59	-0.59	0.63	0.35	-0.05	0.15	-0.09	-0.13	-0.15	0.22	
Sali_prim	0.66	0.57	0.63	0.34	0.59	0.91	-0.68	-0.89	0.46	0.01	0.22	0.31	0.40	-0.12	-0.35	-0.70	-0.66	0.61	0.61	-0.66	-0.41	0.06	-0.29	0.20	0.14	-0.02	-0.06	
CT_prim	0.30	0.18	0.26	0.20	0.26	0.25	-0.23	-0.28	0.32	0.04	0.12	0.17	0.23	-0.07	-0.20	-0.15	-0.11	0.19	0.19	-0.18	-0.21	-0.05	0.04	0.01	0.16	0.00	-0.09	
Ecol_prim	0.63	0.40	0.66	0.29	0.54	0.67	-0.55	-0.70	0.31	0.05	0.24	0.37	0.45	-0.19	-0.38	-0.65	-0.59	0.60	0.60	-0.63	-0.18	-0.22	-0.26	0.43	-0.08	-0.06	0.10	
pH_ver	0.33	0.58	0.37	0.21	0.37	0.68	-0.47	-0.65	0.28	-0.04	0.02	0.08	0.17	0.06	-0.27	-0.24	0.23	0.23	-0.26	-0.18	0.37	-0.16	-0.20	0.38	0.12	-0.32	-0.08	
Temp_ver	0.68	0.52	0.71	0.43	0.68	0.86	-0.62	-0.89	0.43	0.14	0.34	0.46	0.54	-0.22	-0.50	-0.75	-0.64	0.73	0.73	-0.75	-0.46	-0.02	-0.36	0.32	-0.04	0.08	-0.05	
Turb_ver	0.52	0.11	0.55	0.43	0.53	0.45	-0.37	-0.52	0.42	0.36	0.62	0.64	0.40	-0.62	-0.46	-0.36	0.47	0.47	-0.47	-0.15	-0.51	0.07	0.41	-0.21	0.26	-0.13		
Odmg_ver	-0.36	-0.41	-0.33	-0.11	-0.39	-0.54	0.36	0.55	0.03	0.15	0.10	0.02	-0.10	-0.06	0.02	0.56	0.53	-0.53	-0.53	0.56	0.31	-0.23	0.56	-0.27	0.06	0.24	-0.26	
Nit_ver	0.73	0.39	0.72	0.48	0.68	0.80	-0.63	-0.84	0.58	0.22	0.49	0.60	0.65	-0.34	-0.60	-0.74	-0.64	0.69	0.69	-0.72	-0.46	-0.28	-0.15	0.39	-0.08	0.14	-0.10	
Clor_ver	0.54	0.50	0.48	0.29	0.54	0.77	-0.54	-0.77	0.23	0.00	0.14	0.23	0.36	-0.04	-0.33	-0.60	-0.54	0.55	0.55	-0.58	-0.37	0.06	-0.44	0.33	0.04	-0.06	0.04	
TSD_ver	0.55	0.63	0.55	0.26	0.53	0.86	-0.63	-0.84	0.29	-0.07	0.09	0.17	0.27	-0.02	-0.23	-0.63	-0.60	0.57	0.57	-0.61	-0.35	0.25	-0.44	0.15	0.19	-0.10	-0.01	
CE_ver	0.55	0.63	0.55	0.26	0.53	0.87	-0.64	-0.84	0.30	-0.06	0.09	0.18	0.28	-0.03	-0.23	-0.63	-0.60	0.57	0.57	-0.61	-0.35	0.24	-0.43	0.15	0.19	-0.10	-0.01	
Resist_ver	-0.67	-0.60	-0.70	-0.42	-0.65	-0.90	0.69	0.91	-0.50	-0.09	-0.29	-0.40	-0.48	0.18	0.44	0.68	0.61	-0.62	-0.62	0.66	0.37	-0.05	0.22	-0.14	-0.13	-0.11	0.18	
Sali_ver	0.45	0.63	0.46	0.19	0.46	0.79	-0.56	-0.76	0.20	-0.11	-0.01	0.07	0.17	0.05	-0.13	-0.52	-0.49	0.46	0.46	-0.50	-0.26	0.34	-0.41	0.04	0.24	-0.10	-0.04	
CT_ver	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ecol_ver	0.57	0.34	0.66	0.30	0.54	0.68	-																					