

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL ZOBOLI GUIMARÃES

Avaliação da qualidade de água no processo de recuperação de áreas de plantio de  
*Pinus taeda* em APP na bacia do rio Campinas – Joinville – SC

CURITIBA  
2012

RAFAEL ZOBOLI GUIMARÃES

Avaliação da qualidade de água no processo de recuperação de áreas de plantio de  
*Pinus taeda* em APP na bacia do rio Campinas – Joinville – SC

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi

Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr. Andrea Lima dos Santos Schneider

CURITIBA  
2012

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Guimarães, Rafael Zoboli

Avaliação da qualidade de água no processo de recuperação de áreas de plantio de *Pinus taeda* em APP na bacia do rio Campinas – Joinville – SC / Rafael Zoboli Guimarães. – 2012.

168 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi

Coorientador: : Prof.<sup>a</sup> Dr. Andrea Lima dos Santos Schneider

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 27/03/2012.

Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Água - Qualidade. 2. Monitoramento ambiental. 3. Recursos naturais - Conservação - Santa Catarina. 4. Teses. I. Rizzi, Nivaldo Eduardo. II. Schneider, Andrea Lima dos Santos. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 553.7

CDU – 556.51

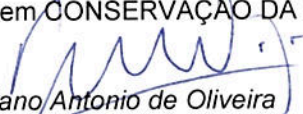


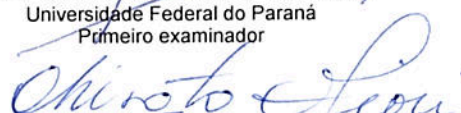
Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

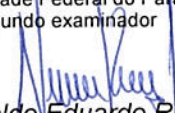
## PARECER

Defesa nº. 907

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Rafael Zoboli Guimarães* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA NO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DE PLANTIO DE *Pinus taeda* EM APP NA BACIA DO RIO CAMPINAS - JOINVILLE - SC**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **CONSERVAÇÃO DA NATUREZA**.


  
*Dr. Fabiano Antonio de Oliveira*  
Universidade Federal do Paraná  
Primeiro examinador

  
*Dr. Chisato Oka Fiori*  
Universidade Federal do Paraná  
Segundo examinador

  
*Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi*  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 27 de março de 2012.

  
*Antonio Carlos Batista*  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
*Carlos Roberto Sanquetta*  
Vice-coordenador do curso

Dedico este trabalho à Dalmi Teresinha Zoboli e ao Manoel Plácido Guimarães, meus pais, pelo incentivo constante aos estudos, pela dedicação na minha formação pessoal e profissional e pelo exemplo de vida, no qual me espelho, em muitos aspectos.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas grandes oportunidades, proteção e por me cercar de pessoas especiais.

Ao Prof<sup>o</sup> Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi, pela orientação, dedicação e paciência, e principalmente pelos preciosos ensinamentos de ordem técnica, ideológica e de relações humanas.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Andrea Lima dos Santos Schneider, pela co-orientação, amizade e articulação na parceria entre a UFPR e UNIVILLE, essencial para viabilizar esta pesquisa.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Mônica Lopes Gonçalves, principal idealizadora do projeto de pesquisa, pela orientação durante a graduação (entre 2006 e 2008), e ao Prof<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Fabiano Antônio de Oliveira, pela orientação durante o ano de 2009, etapa de muito aprendizado e de grande importância para o levantamento de dados empregados na presente pesquisa.

Aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – UFPR, por proporcionar o crescimento profissional e pessoal durante o mestrado, assim como aos colegas da Pós-Graduação.

À Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, pela disponibilização dos espaços físicos e equipamentos do Laboratório de Pesquisa de Meio Ambiente para a realização das coletas e das análises de qualidade de água.

À Companhia Catarinense de Empreendimentos Florestais – Comfloresta, pela parceria firmada na execução desta pesquisa, disponibilização das áreas para estudo e apoio financeiro. Em especial ao Vicente Rando Neto e Carlo Cezarini Neto, principais idealizadores da pesquisa por parte da Comfloresta, à Juliana Kammer por não medir esforços para viabilizar a execução do projeto, e ao Alaercio Cordeiro e Cleverson José Marques pelo inestimável auxílio na realização das campanhas de campo.

Aos integrantes do grupo de pesquisa Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos da UFPR, Dionéia Calixto, José Elias Mellek, Nicole Machuca Brassac, Richardson Guenther Schechi e Rita de Cássia Bianchi, por compartilharmos os momentos produtivos em laboratório e momentos de descontração, e pela amizade que levarei para toda a vida.

Aos integrantes da república Mata Atlântica Catarinense, pela grande parceria durante o mestrado, e pelos incontáveis momentos de discussão sobre os temas de pesquisas que contribuíram (ou não) para o crescimento intelectual.

Aos meus familiares que, mesmo questionando o porquê de tanto tempo dedicado a escrever a dissertação, sempre acreditaram no meu potencial e sempre apoiaram minhas escolhas. Em especial aos meus irmãos, pelo carinho, incentivo e confiança no meu trabalho.

Finalmente e de modo especial, à Camila T. Muller, pelo companheirismo e compreensão nesta etapa de grandes desafios, e pelo incentivo constante na busca dos meus sonhos.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer)

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação da influência sobre a qualidade de água do processo de recuperação de talhões de plantio de *Pinus taeda* em Área de Preservação Permanente na bacia do rio Campinas, no município de Joinville, Santa Catarina, Brasil. Foram monitoradas 4 microbacias experimentais, sendo 3 delas com plantios de pinus, e uma com área de floresta nativa, mantida como testemunha, além de dois pontos de monitoramento sobre o rio Campinas, um a montante e outro a jusante do reflorestamento. Utilizaram-se no monitoramento os parâmetros temperatura da água, pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), turbidez (TB), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio total (NT), nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), fósforo total (PT) e potássio (K), assim como vazão (Q) e índices pluviométricos, entre fevereiro de 2007 a junho de 2011. A extração dos pinus das Áreas de Preservação Permanente teve início em junho de 2008. Mapeamentos de uso de solo foram realizados para o período anterior e posterior ao corte, quantificando e espacializando as alterações na cobertura vegetal entre os dois períodos. A análise fatorial foi aplicada com objetivo de identificar quais os parâmetros de qualidade de água sofreram maiores variações no decorrer do monitoramento e reconhecer o padrão de comportamento das variáveis em resposta às modificações do uso do solo. Observaram-se elevações na temperatura, pH, turbidez, sólidos suspensos totais e fósforo total, e diminuição na concentração de oxigênio dissolvido após o corte raso dos pinus das zonas ripárias. Contudo, os parâmetros de qualidade de água mantiveram-se de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução Conama 357/05 na maior parte do monitoramento, registrando-se eventos isolados em que a turbidez, DBO e fósforo total estiveram em desacordo. De modo geral, os impactos sobre a qualidade dos recursos hídricos foram de baixa intensidade e de curta duração. Os resultados desta pesquisa demonstraram que as medidas adotadas pela empresa responsável pelo empreendimento florestal para minimização dos impactos ambientais na etapa de remoção das espécies exóticas da Área de Preservação Permanente, foram eficientes e podem ser adotadas em outras microbacias que necessitem recuperar as áreas de preservação permanente com plantios irregulares.

**Palavras chaves:** Qualidade de água, Área de Preservação Permanente (APP), *Pinus taeda*, Reflorestamento.

## ABSTRACT

This aim of this study is to evaluate the influence of water quality on the recovery of *Pinus taeda* plantations in the Permanent Preserved Areas in the Campinas river watershed, in the city of Joinville, Santa Catarina, Brazil. Four experimental watersheds were monitored, 3 of which consisted of pine plantations, and one with native forest, as the control, in addition to two monitoring points on the Campinas river, one upstream and one downstream from the reforestation. The following parameters were used to monitor the water quality: water temperature, pH, electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), turbidity (TB), total dissolved solids (TDS), total suspended solids (TSS), total nitrogen (TN), nitrate (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), total phosphorus (P) and potassium (K), as water flow (Q) and rainfall indices from February 2007 to June 2011. The harvesting of the pine plantations in Permanent Preserved Areas began in June 2008. Land use was mapped for the period before and after harvesting, quantifying and spatializing the changes in vegetation cover between the two periods. Factorial analysis was applied to identify which water quality parameters suffered the greatest variations during the monitoring and to recognize the behavior pattern of the variables in response to changes in land use. Increases in temperature, pH, turbidity, total suspended solids and total phosphorus and a decrease in dissolved oxygen concentration were observed after pine harvesting in riparian zones. However, the water quality parameters were maintained in accordance with standards established by CONAMA Resolution 357/05 during most of the monitoring period, with individual events in which the turbidity, BOD and total phosphorus were in discordance with the same Resolution. In general, the impacts on the water quality were of low intensity and short duration. These results demonstrated that the measures adopted by the company responsible for the forest enterprise to minimize environmental impacts in the stage of removing exotic species from Permanent Preserved Areas were efficient and can be used in other watersheds that need to recover the permanent preserved areas with irregular plantations.

**KEY-WORDS:** Water quality, Permanent Preserved Areas (APP), *Pinus taeda*, Forest plantations.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Evolução da “área variável de afluência” no processo de geração do escoamento direto durante uma chuva sobre uma microbacia.....	22
Figura 2.2 Formação de nascentes e alimentação dos rios de uma bacia hidrográfica....	23
Figura 2.3 Exemplo de teste gráfico de normalidade da distribuição dos dados.....	46
Figura 3.1 Localização da área de estudo a nível nacional, estadual e regional, destacada a BHRCN, as estações meteorológicas e o ponto de captação de água do município.....	49
Figura 3.2 Localização das bacias experimentais no contexto das Regiões Hidrográficas de Santa Catarina.....	51
Figura 3.3. Modelo digital do terreno com sobreposição de imagem Landsat ETM7 em composição RGB das bandas 5, 4 e 3, de 02/09/2005.....	52
Figura 3.4 Distribuição pluviométrica anual na Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Norte (BHRCN), com destaque para a área em estudo.....	54
Figura 3.5 Precipitações pluviométricas de 1996 a 2003, registradas na Estação Meteorológica UDESC-UNIVILLE.....	54
Figura 3.6 Mapa litológico da área em estudo.....	56
Figura 3.7 Mapeamento pedológico da área em estudo.....	56
Figura 3.8 Cobertura vegetal da área em estudo (período anterior ao corte).....	58
Figura 3.9 Localização dos pontos de monitoramento de qualidade de água.....	61
Figura 3.10 Bases cartográficas para classificação dos mapas de uso do solo.....	62
Figura 3.11 Atividades silviculturais realizadas durante o período de monitoramento.....	65
Figura 3.12 Execução do PRAD em APP.....	66
Figura 3.13 Esquema de cálculo da meia secção.....	75
Figura 3.14 Coleta de dados primários para calculo de vazão.....	75
Figura 3.15 Localização das estações pluviométricas.....	77
Figura 4.1 Classificação de uso do solo e cobertura vegetal das bacias do rio Campinas, rio SN1 e rio SN2, para o ano de 2005.....	89
Figura 4.2 Classificação de uso do solo e cobertura vegetal das bacias do rio Campinas, rio SN1 e rio SN2, para o ano de 2011.....	90
Figura 4.3 Classificação de uso do solo e cobertura vegetal de 2005 e 2011 nas áreas de drenagem (influência) dos Pontos de coleta 1 e 2.....	93
Figura 4.4 Classificação de uso do solo e cobertura vegetal de 2005 e 2011 na área a montante do ponto de coleta da microbacia M3.....	96
Figura 4.5 Classificação de uso do solo e cobertura vegetal de 2005 e 2011 na área a montante do ponto de coleta da microbacia M4.....	98
Figura 4.6 Classificação de uso do solo e cobertura vegetal de 2005 e 2011 na área a montante do ponto de coleta da microbacia M5.....	99
Figura 4.7 Classificação de uso do solo e cobertura vegetal de 2005 e 2011 na área a montante do ponto de coleta da microbacia M6.....	101

Figura 4.8 Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 do Ponto 1, responsáveis por 40,3% da variância total dos dados.....	110
Figura 4.9 Escores das coletas para os fatores 1 e 2 do Ponto 1.....	110
Figura 4.10 Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 do Ponto 2, responsáveis por 47,6% da variância total dos dados.....	113
Figura 4.11 Escores das coletas para os fatores 1 e 2 do Ponto 2.....	113
Figura 4.12 Comparativo entre as variáveis CE, pH, Q, P <sub>p</sub> e P <sub>p48</sub> dos pontos 1 e 2, rio Campinas entrada e saída da área de reflorestamento.....	118
Figura 4.13 Comparativo entre as variáveis PT, DBO, OD, P <sub>p</sub> e P <sub>p48</sub> dos pontos 1 e 2, rio Campinas entrada e saída da área de reflorestamento.....	120
Figura 4.14 Comparativo entre as variáveis K, SS, TB, P <sub>p</sub> e P <sub>p48</sub> dos pontos 1 e 2, rio Campinas entrada e saída da área de reflorestamento.....	122
Figura 4.15 Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 da microbacia M6, responsáveis por 39,3% da variância total dos dados.....	125
Figura 4.16 Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 da microbacia M3, responsáveis por 48,6% da variância total dos dados.....	130
Figura 4.17 Escores das coletas para os fatores 1 e 2 da microbacia M3.....	130
Figura 4.18 Comparativo entre as variáveis CE, Q, TB, SS, P <sub>p</sub> e P <sub>p48</sub> dos pontos 1 e 2, rio Campinas entrada e saída da área de reflorestamento.....	132
Figura 4.19 Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 da microbacia M4 que representam 47,1% da variância total dos dados.....	136
Figura 4.20 Escores das coletas para os fatores 1 e 2 da microbacia M4.....	136
Figura 4.21 Comparativo entre a temperatura da água (T) do córrego da microbacia M4, <i>Pinus taeda</i> plantados em 1991, e microbacia M6, floresta nativa.....	143
Figura 4.22 Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 da microbacia M5 que representam, juntos, 47,1% da variância total dos dados.....	145
Figura 4.23 Escores das coletas para os fatores 1 e 2 da microbacia M5.....	145
Figura 4.24 Comparativo entre as variáveis PT, SS, TB, Q, P <sub>p</sub> e P <sub>p48</sub> das microbacias M5, <i>Pinus taeda</i> e <i>P. elliotii</i> plantados em 1971.....	148
Figura 4.25 Amplitude do parâmetro PT registrado nos grupos de coleta e comparativo com a média das 45 coletas na microbacia M5.....	149

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1 Relação entre benefício da zona ripária e o tipo de vegetação predominante.....	28
Quadro 3.1 Localização geográfica dos pontos de monitoramento.....	61
Quadro 3.2 Síntese das técnicas e atividades empregadas no PRAD.....	65
Quadro 3.3 Espécies selecionadas para recuperação ambiental.....	69
Quadro 4.1 Amplitude dos parâmetros $Pb$ , $Pb_{48}$ , $Q$ , $CE$ , $TB$ e $SS$ registrados nos grupos de coleta e comparativo com a média das 45 coletas na microbacia M4.....	139
Quadro 4.2 Gráficos com as médias dos parâmetros para a Microbacia M4 e os valores máximos e mínimos registrados em cada grupo de coletas.....	140
Quadro 4.3 Amplitude dos parâmetros $T$ , $Pb$ , $Pb_{48}$ , $Q$ , $TB$ e $SS$ registrados nos grupos de coleta e comparativo com a média das 44 coletas na microbacia M5.....	146

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Quantidade de elementos minerais (Kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) na precipitação interna de diferentes ecossistemas florestais.....	41
Tabela 2.2 Balanço geoquímico dos nutrientes (Kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) nas microbacias mortandade e Colônia para um ano hídrico (ago/05 – jul/06).....	42
Tabela 3.1 Métodos empregados nas análise dos parâmetros.....	73
Tabela 3.2 Distâncias entre verticais utilizadas em cada ponto de monitoramento.....	74
Tabela 3.3 Determinação da extensão de dados perdidos.....	81
Tabela 3.4 Transformações usuais de acordo com os valores de $\lambda$ .....	84
Tabela 3.5 Tamanho dos vetores aleatórios aplicados na Análise Fatorial.....	86
Tabela 4.1 Comparativo das classes de uso e ocupação de solo na área de estudo, abrangendo bacia do rio Campinas, rio SN1 e rio SN2.....	88
Tabela 4.2 Comparativo das classes de uso e ocupação de solo na área de drenagem dos Pontos de Coleta sobre o rio Campinas, Ponto 1 e Ponto 2.....	92
Tabela 4.3 Comparativo das classes de uso e ocupação de solo na área de drenagem das microbacias dos Pontos 3, 4, 5 e 6.....	95
Tabela 4.4 Resultados dos testes esfericidade de Bartlett e adequacidade de KMO.....	103
Tabela 4.5 Estatística descritiva das 14 variáveis aleatórias originais de P1 e P2.....	104
Tabela 4.6 Pesos fatoriais, autovalores, comunalidades e percentual da variância explicada dos fatores extraídos na AFC.....	106
Tabela 4.7 Síntese dos fatores extraídos de cada matriz de dados.....	107
Tabela 4.8 Pesos fatoriais, autovalores, comunalidades e percentual da variância dos fatores extraídos na AFM.....	124
Tabela 4.9 Síntese dos fatores extraídos na Análise Fatorial Microbacias (AFM).....	126
Tabela 4.10 Estatística descritiva das 14 variáveis aleatórias originais das microbacias.	129
Tabela 4.11 Concentração de saturação do oxigênio dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> ) em função da altitude e temperatura.....	143

**LISTA DE SIGLAS**

A.V.A	–	Área Variável de Afluência
AF	–	Análise Fatorial
AFC	–	Análise Fatorial rio Campinas
AFM	–	Análise Fatorial Microbacias
APP	–	Área de Preservação Permanente
BHRCN	–	Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte
CE	–	Condutividade elétrica
CONAMA	–	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	–	Demanda bioquímica de oxigênio
IBAMA	–	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
K	–	Potássio
NO	–	Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )
NT	–	Nitrogênio total
OD	–	Oxigênio dissolvido
pH	–	Potencial hidrogeniônico
PRAD	–	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
PT	–	Fósforo total
P <sub>p</sub>	–	Precipitação pluviométrica mensal
P <sub>p48</sub>	–	Precipitação pluviométrica 48 horas anteriores às campanhas de campo
Q	–	Vazão
SDT/ SD	–	Sólidos dissolvidos totais
SST/SS	–	Sólidos suspensos totais
T	–	Temperatura da água
TB	–	Turbidez
UDESC	–	Universidade Estadual de Santa Catarina
UFPR	–	Universidade Federal do Paraná
UNIVILLE	–	Universidade da Região de Joinville

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1. OBJETIVO GERAL .....	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	20
2.1. ZONAS RIPÁRIAS OU DE INFLUÊNCIA DINÂMICA.....	20
2.1.1. Funções das zonas ripárias .....	24
2.1.2. Influência da zona ripária na qualidade da água.....	25
2.2. ASPECTOS LEGAIS SOBRE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	28
2.3. PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA.....	32
2.3.1. Floresta na conservação da qualidade da água.....	40
2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	43
2.4.1. Suposições estatísticas da análise multivariada .....	45
2.4.2. Análise Fatorial .....	48
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	49
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	49
3.1.1. Aspectos Climáticos.....	53
3.1.2. Geologia e Solos .....	55
3.1.3. Vegetação.....	56
3.2. PONTOS DE AMOSTRAGEM E MODELO COMPARATIVO.....	59
3.3. CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL DO USO DO SOLO.....	62
3.3.1. Histórico das atividades silviculturais .....	64
3.4. PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS (PRAD).....	65
3.4.1. Demarcação das Áreas de Recuperação.....	67
3.4.2. Técnicas empregadas na remoção das espécies exóticas .....	67
3.4.3. Técnicas de recuperação .....	68
3.4.3.1. Poleiros .....	68
3.4.3.2. Plantio de espécies nativas .....	69
3.4.3.3. Uso de serapilheira .....	70
3.4.3.4. Transposição de galhadas.....	71
3.4.3.5. Manutenção das áreas de recuperação ambiental.....	71
3.5. COLETA DE DADOS DE ÁGUA.....	72

3.5.1.	Parâmetros de qualidade de água.....	72
3.5.2.	Medição de vazão .....	73
3.5.3.	Obtenção de dados pluviométricos .....	76
3.6.	ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS .....	77
3.6.1.	Preparação para Análise Fatorial.....	78
3.6.1.1.	Tratamento dos dados perdidos .....	79
3.6.1.2.	Teste de normalidade .....	83
3.6.1.3.	Transformações dos dados .....	84
3.6.1.4.	Teste esfericidade de Bartlett.....	85
3.6.1.5.	Teste adequacidade Kaiser-Meyer-Olkin .....	85
3.6.2.	Análise Fatorial .....	85
3.7.	ANÁLISE GRÁFICA TEMPORAL DOS DADOS .....	86
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>87</b>
4.1.	ANÁLISE TEMPORAL DE USO DO SOLO E ÁREAS DE CONVERSÃO.....	87
4.2.	ANÁLISE FATORIAL .....	102
4.2.1.	Análise Fatorial rio Campinas (AFC).....	103
4.2.1.1.	Síntese da Análise Fatorial Rio Campinas (AFC) .....	115
4.2.1.2.	Análise gráfica rio Campinas .....	117
4.2.2.	Análise Fatorial Microbacias (AFM).....	123
4.2.2.1.	Escores fatorias da microbacia M3.....	128
4.2.2.2.	Escores fatoriais da microbacia M4.....	135
4.2.2.3.	Escores fatoriais da microbacia M5.....	144
4.2.3.	Síntese da Análise Fatorial Microbacias (AFM).....	150
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>156</b>
	APÊNDICE I – Tratamento de dados perdidos .....	163
	ANEXO I – FUNÇÃO PROGRAMADA NO R “cortest.bartlett” .....	166
	ANEXO II – FUNÇÃO PROGRAMADA NO R “kmo” .....	167

## 1. INTRODUÇÃO

A importância socioeconômica da atividade de silvicultura no cenário nacional é incontestável, representando 3,5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em 2005, e gerando emprego para 7,4% da população ativa do país (SANTIN e REIS, 2007). Constitui também importante fonte de suprimento para o mercado de madeira, diminuindo a pressão sobre as florestas nativas. A evolução da tecnologia silvicultural promoveu ganhos acentuados de produtividade entre 1968 e 2000, conforme apresenta Bacha (2008), na ordem de 174% para o eucalipto e 80% para o pinus, promovendo o Brasil como um dos países com maiores produtividades mundiais no crescimento das florestas. Estes fatores consolidam o setor florestal como atividade estratégica para o desenvolvimento econômico nacional. Contudo, para a sustentabilidade da silvicultura, no sentido de manter ou ainda melhorar a produtividade concomitantemente com a conservação do solo, água e biodiversidade, é preciso que o enfoque do manejo de florestas plantadas seja aprimorado, considerando os critérios ambientais e incorporando os conceitos de manejo de bacias hidrográficas.

A grande expansão no setor florestal brasileiro teve início com o Programa de Incentivos Fiscais de 1965. Essa expansão ocorreu num período em que a consciência ambiental ainda não estava consolidada, conseqüentemente, em muitos projetos florestais não foram considerados os impactos relacionados à prática da silvicultura resultando em experiências negativas tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental (COUTO e DUBÉ, 2001).

Uma das práticas indevidas conduzidas durante a expansão do setor florestal brasileiro na época foi a não manutenção das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) regulamentadas no Código Florestal Brasileiro de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965), ou a falta de adequação às novas determinações da lei Federal nº 7.803 de 18 de julho de 1989 (BRASIL, 1989). A negligência quanto à preservação de APPs constitui grande potencial de geração de impactos à qualidade da água e à dinâmica fluvial devido à alteração dos processos hidrológicos, aumento nas taxas de erosão e assoreamento de leitos fluviais, perdas de nutrientes e flutuações na temperatura da água (LIMA e ZAIKA, 1998; CHECCHIA, 2003; HINKEL, 2003; SILVA, 2003; RIZZI, 2011, SALEMI *et al.*, 2011).

Atualmente, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA está atuando de forma intensiva na fiscalização de empreendimentos florestais que possuem reflorestamentos de espécies exóticas em APPs exigindo a adequação ambiental através de Termos de Ajuste de Conduta (TAC), de modo a realizarem a reconstituição das florestas nativas. Porém, este é um processo delicado devido às condições de fragilidade ambiental da área em questão e aos impactos relacionados à atividade de corte das espécies arbóreas, da exposição temporária do solo e dos métodos de preparo do solo para o plantio de nativas, quando necessário.

Um número considerável de estudos voltados à avaliação dos impactos do corte raso de florestas plantadas sobre a produção de água e/ou balanço hídrico (SAHIN e HALL, 1996; STEDNICK, 1996; OKI, 2002, ZIMMERMANN *et al.*, 2006), ciclagem de nutrientes (NEPSTAD *et al.*, 1994; VITAL, 1996; CÂMARA, 1999; OKI, 2002) e qualidade de água (MILLER, 1984; CÂMARA, 1999; OKI, 2002) são encontrados na literatura. Todavia, são poucos os trabalhos com as mesmas linhas de pesquisa relacionada à extração de vegetação exótica das zonas ripárias e do processo de recuperação dessas áreas.

A partir das últimas duas décadas o interesse sobre zonas ripárias tem aumentado consideravelmente. Sem dúvida, este interesse está relacionado à conservação dos recursos hídricos, isto é, a manutenção das características naturais dos corpos de água (RIZZI, 2011).

Neste sentido, visando aprimorar os conhecimentos a respeito de zonas ripárias, realizou-se um monitoramento de qualidade de água superficial de uma área reflorestada onde foi aplicado um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), para adequação das áreas de plantio de pinus situadas em áreas de preservação permanente. As bacias hidrográficas em estudo possuem juntas 4.145,80 hectares, situados na região nordeste do estado de Santa Catarina, município de Joinville. O reflorestamento é constituído de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

## 1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa é avaliar a influência sobre a qualidade de água superficial da atividade de corte raso de pinus plantados em Áreas de Preservação Permanente (APP), e do processo de recuperação dessas áreas, através da Análise Estatística Multivariada e análise gráfica dos parâmetros de qualidade de água.

## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Caracterizar o uso e ocupação do solo no período anterior e posterior ao corte raso de pinus em APP's nas áreas de influência direta de dois pontos de monitoramento sobre o rio Campinas e de quatro microbacias experimentais, para subsidiar as discussões da análise estatística multivariada dos dados.
- 2) Realizar a Análise Fatorial (AF) dos dados do monitoramento de qualidade de água para cada um dos 6 pontos de coleta, visando o reconhecimento do padrão de comportamento dos parâmetros em resposta à extração da vegetação exóticas das áreas de preservação permanente.
- 3) Analisar os escores fatoriais dos principais fatores extraídos em cada ponto de monitoramento, a fim de avaliar a variação temporal dos parâmetros de qualidade de água e relacionar com o regime pluviométrico e com as atividades do plano de recuperação de áreas degradadas.
- 4) Avaliar graficamente a variação temporal dos parâmetros de qualidade de água superficial utilizados no monitoramento entre 2007 e 2011, com intuito de identificar as possíveis influências da atividade do corte e no período de recuperação das áreas afetadas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ZONAS RIPÁRIAS OU DE INFLUÊNCIA DINÂMICA

Zonas ripárias são faixas estreitas de terra que margeiam enseadas, rios ou corpos d'água (RIZZI, 2011). Kobiyama (2003) complementa o conceito afirmando ser um espaço tridimensional, que contém vegetação, solo e rio, cuja extensão no sentido horizontal é determinada pelo alcance da inundação, e verticalmente, do regolito até o topo da copa da floresta. É, portanto, o conjunto de componentes que formam um ecossistema com características peculiares dentro de uma bacia hidrográfica.

Devido sua proximidade com a água, as espécies vegetais e a topografia desta região diferem consideravelmente das áreas adjacentes. Embora as zonas ripárias ocupem apenas uma pequena porcentagem da área de uma bacia, trata-se de um componente extremamente importante na compreensão dos ecossistemas (CHECCIA, 2003).

Do ponto de vista hidrológico, são áreas com saturação hídrica temporária ou permanente encontradas tanto ao longo das margens da rede de drenagem, quanto em pontos mais elevados da encosta (ZAKIA, *et al.*, 2006). Nesta abordagem, os autores apontaram uma característica importante das zonas ripárias de não se restringirem apenas às áreas permanentemente encharcadas, mas também abrangem as regiões que alcancem a saturação hídrica em função do regime pluviométrico. Gregory *et al.* (1992<sup>1</sup>, citado por RIZZI, 2011), seguindo a mesma linha de raciocínio, argumentam a necessidade de se considerar um padrão temporal da variação da zona ripária, já que os eventos que moldam os cursos de água e proporcionam a expansão das áreas saturadas na bacia hidrográfica vão desde cheias anuais até fenômenos mais intensos das enchentes decenais e seculares.

Como exemplo desta variação temporal, Lima (2008) cita que a nascente seria o limite a montante da zona ripária, mas durante parte do ano a zona saturada

---

<sup>1</sup> GREGORY, S.V.; F.J. SWANSON; W.A. MCKEE; K.W. CUMMINS. An ecosystem perspective of riparian zones. **BioScience**, 41 (8):540-551. 1992

da microbacia se expande consideravelmente, o que implica na necessidade de se considerarem também as áreas côncavas das cabeceiras ("*stream-head hollows*").

São regiões onde o relevo tende a ser plano, de solos pouco profundos e que sofrem influência dos cursos d'água e do lençol freático, resultando em condições de armazenamento de água geralmente próximas da saturação e por isso possui capacidade de infiltração relativamente baixa e sendo reduzida no decorrer dos eventos chuvosos (GUIMARÃES, 1999). Em outras palavras, as zonas ripárias podem ser associadas às áreas de uma bacia hidrográfica que, em condições naturais, respondem aos eventos pluviométricos com escoamento direto devido à grande influência do lençol freático e as baixas taxas de infiltração.

Em virtude da característica dinâmica, os limites da zona ripária em bacias hidrográficas não são facilmente demarcados. Contudo, o aprofundamento no entendimento das relações hidrológicas que predominam nestas áreas e a associação com o escoamento direto permitiu o desenvolvimento do conceito de "área variável de afluência" (A.V.A), proposta por Hewlett e Hibbert, (1967<sup>2</sup>, citado por ZAIKA, 1998 e RIZZI, 2011). Este conceito surgiu com o fato de que em microbacias com boa cobertura florestal, o escoamento direto não é produzido ao longo de toda a sua superfície, mas em regiões com características geomorfológicas, pedológicas e de cobertura vegetal específicas. Com o estudo de hidrogramas de microbacias, Hewlett e Hibbert (1967) identificaram que as áreas que contribuem com o escoamento direto se expandem à medida que o volume acumulado de chuvas incidente na microbacia aumenta, e por consequência, sua vazão, conforme demonstra a Figura 2.1. Da mesma forma que estas áreas se expandem durante a precipitação, acabam contraindo com o recesso das chuvas, e por isso foram denominadas área variável de afluência.

Em microbacias de clima úmido, em boas condições de cobertura florestal, o escoamento superficial "hortoniano" raramente ocorre, a não ser em partes isoladas da microbacia, onde existem condições de baixa infiltração. Ao longo da área variável de afluência, que se encontra, normalmente, em condições de saturação, ocorre o chamado escoamento superficial de áreas saturadas (ZAIKA, 1998).

---

<sup>2</sup> HEWLETT, J.D. & HIBBERT, A.E. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. *International Symposium on Forest Hydrology*. Pergamon Press: 275-290. 1967

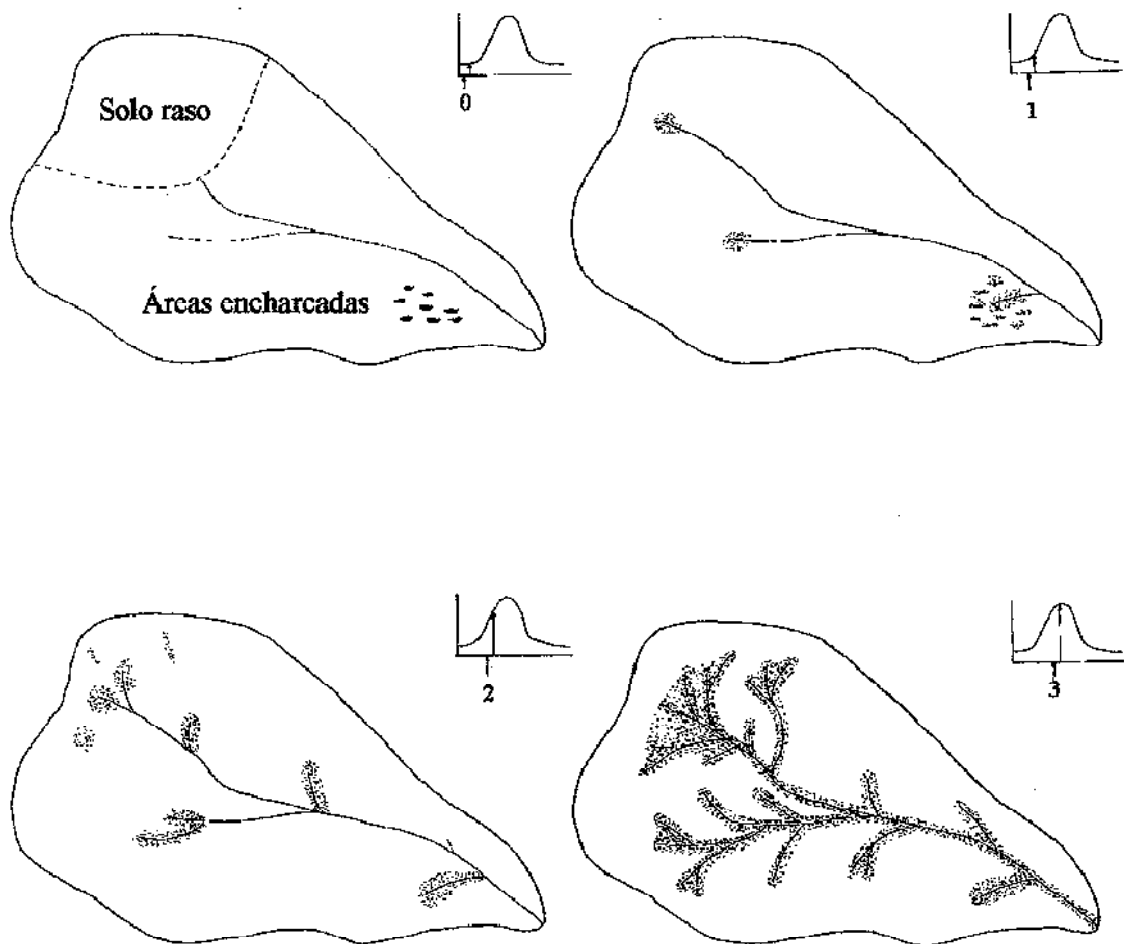


FIGURA 2.1 - Evolução da "área variável de afluência" no processo de geração do escoamento direto durante uma chuva sobre uma microbacia. (HEWLETT & NUTTER, 1969, citado por ZAIKA, 1998).

Portanto, considerando microbacias onde o uso do solo não tenha favorecido o surgimento de áreas compactadas ou impermeáveis, nas quais poderia ocorrer escoamento superficial hortoniano durante as chuvas, as zonas ripárias desempenham, sem dúvida, papel hidrológico fundamental na geração do escoamento direto. Implícita nesta conclusão está a convicção de que por esta razão tais áreas devem estar permanentemente protegidas pela vegetação ciliar, embora não seja fácil demonstrar a relação de causa e efeito. Provavelmente, a intensificação dos processos de geração do escoamento direto deve contribuir para o aumento da erosão fluvial e, com certeza, a ausência da proteção mecânica que as raízes da floresta ciliar oferecem às margens também contribui para a sua degradação (RIZZI, 2011).

A identificação dos limites das zonas ripárias também pode ser realizada por meio da caracterização física e de cobertura vegetal de uma microbacia. Rizzi (2011) propõe uma análise geomorfológica do perfil típico de uma encosta de bacia hidrográfica que, em última análise, impactará na forma de alimentação dos cursos dos rios e seu respectivo hidrograma de vazão, como ilustra a Figura 2.2. Esta figura relaciona as zonas de alta fragilidade (terço superior), zonas de médio e baixa encosta (terço médio) e zonas de fragilidade de drenagem (terço inferior). As zonas ripárias, na Figura 2.2, são identificadas na zona 1/3 inferior, como pé de ladeira aluvial de sedimentos de inundação (7) e talude natural do leito do rio (8).

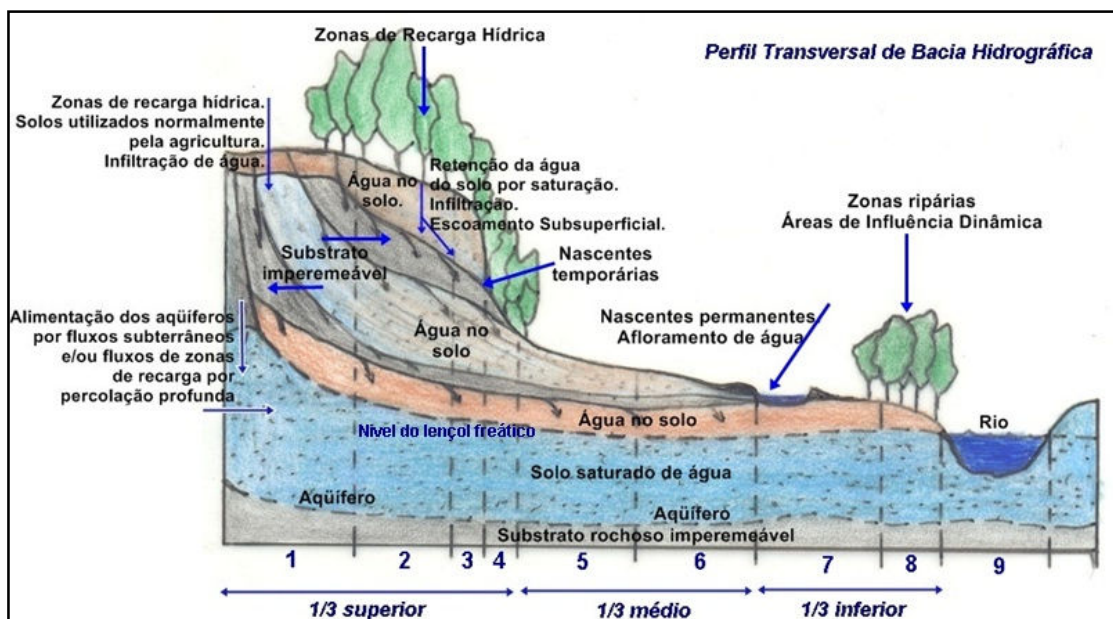


Figura 2.2. Formação de nascentes e alimentação dos rios de uma bacia hidrográfica: 1. Divisoras de águas (linha topográfica); 2. Formação de declividade de vertentes; 3. Declividade convexa ou de arraste; 4. Escarpa ou declividade de cisalhamento; 5. Declividade de transporte ou de depósito de sedimentos; 6. Pé de ladeira coluvial de depósito de sedimentos; 7. Pé de ladeira aluvial de sedimentos de inundação; 8. Talude natural do leito do rio; 9. Rio ou curso de água. Fonte: (RIZZI, 2011)

A vegetação da zona ripária é composta basicamente por florestas aluviais e várzea ou vegetação pioneira aluvial. Esta vegetação é adaptada a condições de solo saturado, constantes inundações e baixa oxigenação. As florestas aluviais aumentam a capacidade de infiltração e armazenamento do solo, funcionando como interceptadoras para o escoamento superficial e subsuperficial, evitando que o sedimento carregado no escoamento alcance o curso d'água. As várzeas funcionam como reservatório de amortecimento de cheias, reduzindo a velocidade com que a água alcançaria regiões à jusante (RIZZI, 2011).

### 2.1.1. Funções das zonas ripárias

As seguintes funções foram reunidas por Rizzi (2011), com base nos seguintes autores: Mander *et al.* (1997), Reid e Hilton (1998).

**a) Estabilização de taludes e encostas.** A vegetação ripária atua significativamente para a estabilização de taludes e encostas. Em taludes contribui para a formação junto ao solo de uma manta protetora contra a erosão causada pela chuva e pelo escoamento superficial. Em encostas as raízes das plantas contribuem para a fixação do solo acima da camada de rocha.

**b) Manutenção da morfologia do rio e proteção a inundações.** A vegetação garante a preservação dos meandros nos rios, diminuindo a velocidade do escoamento e conseqüentemente diminuindo a erosão, aumentando a infiltração da água no solo durante as inundações. Também por infiltração diminui a quantidade de água que chega ao rio (FRY, *et al.* 1994). Desta forma a quantidade de água transbordada é menor (diminuição do pico de cheia) e em conseqüência os danos causados.

**c) Retenção de sedimentos e nutrientes.** Funcionando como um filtro, a vegetação retém os sedimentos e nutrientes provenientes de alterações à montante (atividades agrícolas, desmatamentos para corte etc). Diminui a velocidade do escoamento superficial e favorece a infiltração dos nutrientes para degradação pelo solo. Desta forma, a vegetação ripária contribui para a manutenção da qualidade do rio. Inúmeros pesquisadores estudaram esta função da zona ripária, por exemplo Haupt e Kidd Jr. (1965) e Osborne e Kovacic (1993).

**d) Mitigação da temperatura da água e do solo.** Interceptação dos raios solares gera sombras sobre o rio, regulando a temperatura e a umidade do ar. No rio a redução da temperatura máxima favorece a oxigenação e reduz o stress de peixes e outras criaturas aquáticas. No solo diminui a temperatura na superfície favorecendo a conservação da umidade. Corbett, *et al.* (1978) e Fritzsos (2005) estudaram a influência da temperatura no rio causada pela vegetação ripária.

**e) Fornecimento de alimento e habitat para fauna aquática.** A vegetação ripária contribui para o rio com escombros lenhosos (restos de galhos, troncos), folhas e insetos. Estes escombros podem formar degraus de piscina (*step-pool*) providenciando cobertura para peixes, e oxigenação da água pelo fluxo turbulento. Nesta função, pode-se citar Reid e Hilton (1998).

**f) Manutenção de corredores ecológicos.** Faixas contínuas de zona ripária favorecem a formação de corredores ecológicos. É através dos corredores que as mais variadas espécies se inter-relacionam através das diferentes paisagens, preservando as espécies que dificilmente são encontradas fora da zona ripária. Spacman & Hughes (1995) levantaram a distribuição da fauna em faixas ripárias.

**g) Paisagem e recreação.** Zonas ripárias contribuem para uma imagem mais verde ao longo dos rios, bloqueando a vista de transformações urbanas. Como locais de recreação permitem a prática de camping e trilhas.

**h) Fixação do gás carbônico.** Como toda floresta, as florestas ripárias contribuem para a fixação de gás carbônico. O gás se integra à biomassa da floresta e esta por sua vez libera oxigênio. Este gás é um dos grandes responsáveis pelo efeito estufa. Referente a este assunto pode-se citar Nobre (2002), Hannelius e Kuusela (1995) e Sanquetta *et al.* (2002).

**i) Interceptação de escombros rochosos.** A vegetação ripária arbórea pode funcionar como barreiras contra sedimentos (pedras) vindos de montante. Estes sedimentos podem vir acompanhados de água (*debris flow*) ou sem água (*dry debris flow*). Este efeito foi estudado por Mizuyama *et al.* (1989).

### 2.1.2. Influência da zona ripária na qualidade da água

Das nove funções das zonas ripárias descritas no trabalho de revisão de RIZZI (2011), cinco delas estão diretamente ligadas à qualidade dos recursos hídricos: (1) estabilização de encostas e taludes; (2) manutenção da morfologia do

rio e proteção as inundações; (3) retenção de sedimentos e nutrientes; (4) mitigação da temperatura da água e do solo; (5) interceptação de escombros rochosos.

Para Muscutt *et al.* (1993), os efeitos das zonas ripárias sobre a qualidade da água podem ser classificados em efeitos diretos, aqueles obtidos através da remoção de atividades presentes na zona ripária e caracterizadas por serem fontes diretas de poluição para o corpo d'água; e aqueles que resultam em processos de retenção de poluentes na zona ripária. O processo de retenção de poluentes pode ser dividido em aqueles que operam sobre o escoamento superficial e sobre o escoamento subsuperficial.

A implantação de zonas ripárias em todos os corpos d'água possibilita deslocamento de atividades que possam estar causando poluição pontual e possam gerar acidentes ambientais, evitando assim os efeitos diretos da fonte poluidora nos cursos d'água. O escoamento superficial é o principal meio de transporte da poluição difusa gerada por práticas agrícolas convencionais, onde os agroquímicos são carregados até os corpos d'água após um evento de precipitação.

As florestas ciliares, com seu alto poder de adsorver e absorver, funcionam como verdadeiros filtros de lâminas de água que escoam das partes mais altas em direção ao curso d'água (DIAS *et al.*, 2005). A serapilheira e o sistema radicular destas matas retêm o solo das margens impedindo sua remoção, que pode causar o desbarrancamento, levando a aumentos de turbidez e assoreamento dos cursos d'água. Além disso, a floresta ciliar retém sedimentos oriundos de áreas agrícolas. A sedimentação diminui a penetração da luz na água, afetando o crescimento e a reprodução de plantas aquáticas benéficas, assim como na alimentação e reprodução de peixes e insetos aquáticos (RIZZI, 2011).

A eficiência da zona ripária em função da qualidade da água depende basicamente da estrutura e espécies vegetais; comprimento, inclinação e forma da área de escoamento da zona ripária; comprimento, gradiente e forma do talude à montante da zona ripária; quantidade de água que escoam superficialmente; altura do escoamento superficial em comparação com a altura e densidade da vegetação; condutividade hidráulica e capacidade de retenção do solo na zona ripária (NORRIS, 1993).

Num estudo realizado pelo *United States Soil Conservation Service* em 33 fazendas na baía de Chesapeake e na bacia do rio Chowan e visitadas por 5 vezes em intervalos de 3 meses entre março de 1985 e abril de 1986, verificou-se que para

escoamento superficial uniformemente distribuído na zona ripária, houve alta eficácia na remoção de sedimentos e moderada eficácia na remoção de nutrientes, que, sobre condições de fluxo concentrado, houve a inundação de zonas ripárias reduzindo a eficiência do sistema (RIZZI, 2011).

A remoção de nutrientes presentes no escoamento superficial se dá através da deposição dos poluentes aderidos ao sedimento e de maneira menos efetiva de poluentes dissolvidos que são carreados com o fluxo. Vought *et al.* (1994) realizaram estudos que mostram que a remoção de fósforo em zonas ripárias é exponencial, com maior remoção nos primeiros metros da faixa de vegetação. Num estudo realizado numa faixa de largura 16 metros, 66% da carga de fósforo total foi removida nos primeiros 8 metros, sendo que a remoção para a faixa total foi de 95%. Para o nitrogênio, os resultados foram de 20% nos primeiros 8 metros e 50% para o comprimento total da faixa. Uma das explicações para o resultado do nitrogênio foi a realização do experimento em apenas uma estação do ano. Em outro experimento realizado na Suécia e citado por Vought *et al.* (1994), com dados de remoção obtidos para as quatro estações do ano, observa-se que a remoção de nitrogênio também ocorre de forma exponencial.

Quando se considera um curto espaço de tempo, a parcela de escoamento superficial que infiltra no solo de uma zona ripária é responsável pela redução da carga de poluentes solúveis e pela redução na quantidade de sedimento transportado. Esse efeito é atribuído ao aumento da rugosidade hidráulica associada à vegetação, reduzindo a velocidade do escoamento superficial (RIZZI, 2011).

Segundo Checcia (2003), os benefícios das zonas ripárias estão ligados diretamente ao tipo de vegetação, por exemplo, regiões que possuem grama densa são eficientes evitando que sedimentos cheguem aos cursos d'água. Já os arbustos são importantes para a estabilização de taludes (Quadro 2.1). Um sistema ripariano doente poderá ser caracterizado por:

- Redução na capacidade de armazenamento de água;
- Redução na produção de serapilheira;
- Pouca sombra, ocasionando um aumento da temperatura da água;
- Redução de qualidade do habitat da fauna aquática;
- Redução da qualidade da água;
- Pequena diversidade no habitat de vida selvagem;
- Pouca vegetação e, raízes, que contribuem para a estabilização de taludes;

- Redução da capacidade de retardar eventos de cheias.

Quadro 2.1. Relação entre benefício da zona ripária e o tipo de vegetação predominante (CHECCIA, 2003).

Benefício	Tipo de Vegetação		
	Gramínea	Vegetação Arbustiva	Floresta
Estabilização de taludes	Baixo	Elevado	Elevado
Como filtro de sedimentos, nutrientes, pesticidas e micróbios	Elevado	Baixo	Baixo
Como filtro de nutrientes solúveis, pesticidas	Médio	Baixo	Médio
Habitat aquático	Baixo	Médio	Elevado
Habitat animais selvagens campestres	Elevado	Médio	Baixo
Habitat animais selvagens florestais	Baixo	Médio	Elevado
Diversidade visual	Baixo	Médio	Elevado
Proteção contra inundações	Baixo	Médio	Elevado

## 2.2. ASPECTOS LEGAIS SOBRE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

O primeiro Código Florestal Brasileiro – Lei Federal nº 23.793, surgiu em 1934 e o seu conteúdo chocou a sociedade. Baseada no Código de Napoleão, que está na raiz de todas as legislações ambientais europeias, a lei obrigava o produtor rural a manter intacta 25 % da área de vegetação de cada propriedade. Não diferente do que ocorre atualmente, os produtores rurais protestaram, pois para eles, ao impor a limitação de uso de suas terras o governo teria o direito de propriedade (RIZZI, 2011).

De acordo com Yassu (2005), o primeiro Código Florestal não teve a devida importância nem pelo governo, a quem cabia aplicá-lo e que não montou um aparato adequado de fiscalização, nem pelos produtores rurais, uns por não acreditar que a lei os alcançasse, outros por desconhecer a limitação de uso que a legislação impunha e a maior parte, afundada no interior do País de dimensão continental, por ignorar a existência dela.

Ahrens (2003) afirma que, em decorrência das imensas dificuldades verificadas para a efetiva implementação do Código Florestal de 1934, elaborou-se nova proposta para o código florestal já no início da década de 50, remetido ao Congresso Nacional em 02-01-1950, a qual incorporou percepções bastante

avançadas para a época, e que ainda perseveram na atualidade. Após diversas alterações introduzidas na proposta, o segundo Código Florestal, foi finalmente sancionado, em 15-09-1965, por meio da edição da Lei nº 4.771 (BRASIL, 1965), informando-se, no *caput* de seu Art. 1º, o que segue:

Art. 1º - As florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de propriedade com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei estabelecem.

§1º - As ações ou omissões contrárias às disposições deste Código na utilização e exploração das florestas são consideradas uso nocivo da propriedade, aplicando-se, para o caso, o procedimento sumário previsto no Art. 275, inciso II, do Código de Processo Civil.

O conteúdo do Art. 1º do código florestal de 1965 revela que existe um regime jurídico muito peculiar às florestas (nativas) e demais formas de vegetação (natural) que é a sua instituição como “*bens de interesse comum a todos os habitantes do País*” (AHRENS, 2003). Para Antunes (1999) o “interesse” deve ser entendido como a faculdade, legal e constitucionalmente assegurada a qualquer indivíduo, de exigir, administrativa ou judicialmente, do titular do domínio florestal ou de outras formas (naturais) de vegetação, que ele preserve a boa condição ambiental para que a cobertura vegetal possa desempenhar o seu papel protetor.

Ahrens (2003) ainda aponta que o Código Florestal de 1965, em sua essência fundamental, à época de sua proposição, tinha como objetivos principais proteger:

- Os solos (contra a erosão); Art 2º, incisos d, e, f, g; Art. 3º; e Art. 10;
- As águas, os cursos d’água e os reservatórios d’água, naturais ou artificiais (contra o assoreamento com sedimentos e detritos resultantes da ação dos processos erosivos dos solos); Art. 2º, incisos a, b, c; e
- a continuidade de suprimento e a estabilidade dos mercados de lenhas e madeiras (contra a falta de matéria-prima lenhosa): Arts. 16, 19, 20, 21 e 44.

Para atingir os objetivos supracitados, a Lei nº 4771/65 utiliza como principais instrumentos a determinação de *áreas de preservação permanente (APP)*, destinadas à proteção de áreas de fragilidade ambiental, e a designação de um percentual mínimo de área localizada no interior de propriedade ou posse rural a ser

mantida preservada, denominada *reserva legal*. As áreas de preservação permanente (APP) foram inicialmente delimitadas no *caput* do Art. 2º do Código Florestal de 1965 como:

“Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- a) ao longo dos rios ou de outro qualquer curso d'água, em faixa marginal cuja largura mínima será:
  - 1 - de 5 (cinco) metros para os rios de menos de 10 (dez) metros de largura;
  - 2 - igual à metade da largura dos cursos que meçam de 10 (dez) a 200 (duzentos) metros de distancia entre as margens;
  - 3 - de 100 (cem) metros para todos os cursos cuja largura seja superior a 200 (duzentos) metros.
- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;
- c) nas nascentes, mesmo nos chamados "olhos d'água", seja qual for a sua situação topográfica;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
- g) nas bordas dos taboleiros ou chapadas;
- h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, nos campos naturais ou artificiais, as florestas nativas e as vegetações campestres.”

Contudo, a delimitação das áreas de preservação permanente do Art. 2º do Código Florestal Brasileiro de 1965 passou por duas alterações durante a década de 80, mediante sancionamento da Lei nº7511, de 1986 (BRASIL, 1986) e Lei nº 7803, de 1989 (BRASIL, 1989), sendo, portanto, mantida a redação da Lei nº 7803/89 conforme segue:

“Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:
  - 1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
  - 2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
  - 3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
  - 4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
  - 5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;
- c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

- g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
- h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação.”

O termo *área de preservação permanente* deixava dúvidas com relação ao que efetivamente deveria ser preservado, sobretudo, em áreas que já se encontravam degradadas ou cujas características naturais não permitem formações florestais, como o caso dos campos de altitude, pampas, algumas tipologias de cerrado, entre outros. Em vista disto, em 2001 a Lei Federal nº 4771/65 sofreu nova alteração, incluindo no inciso segundo no seu Art. 1º, pela Medida Provisória nº 2.166-67, de 2001 (BRASIL, 2001), o conceito de área de preservação permanente (APP) como sendo “*área protegida nos termos dos arts. 2º e 3º desta lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas*”.

Esta modificação encerrou as discussões a respeito do que realmente abrange as APPs, definindo de forma clara e concisa, sem margens para interpretações, que se trata de tudo que se encontra sobre e sob o solo nas faixas determinadas no Art. 2 da referida lei, estando ou não coberta por vegetação nativa.

A *função ambiental das áreas de preservação permanente* é entendida na forma de lei, como sendo a de: preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas (TONELLO *et al.*, 2003). Sendo assim, todas as coberturas vegetais são importantes na região onde se inserem, contudo, nas áreas consideradas de preservação permanente, elas são imprescindíveis, pois estes locais são caracterizados pela sua fragilidade em função da sua posição no relevo e pela importância de proteção que conferem não somente ao solo, mas também à fauna e flora (RIZZI, 2011).

Entretanto, Rizzi (2011) assegura que a legislação sobre conservação de florestas ciliares e áreas de conservação de encostas nas propriedades foi introduzida no código florestal com objetivo fundamental de controle de sólidos em suspensão decorrentes de processo de erosão e manutenção de calhas de rios, pelo controle do processo de assoreamento e espraiamento de fluxos de vazão que conduziam às inundações de rios de planícies. As normas de conservação de

mínima faixa limítrofes dos rios e córregos cumpriu e cumpre até os dias atuais à sua função neste quesito. Uma observação de imagens de satélite nos permite observar, que mesmo assim, estas áreas de fragilidade hídrica estiveram sempre no contexto de conflito de uso da terra e legislação ambiental.

### 2.3. PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA

#### **Temperatura**

É uma das constantes físicas que tem grande importância no desenvolvimento dos diversos fenômenos que se realizam no interior dos corpos hídricos e determina a evolução ou tendência de suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, já que uma variação notável da mesma pode exercer uma ação benéfica ou danosa. A temperatura é um fator importante quando se quer calcular a solubilidade dos gases (entre os quais o de fundamental importância, que é a solubilidade do oxigênio) ou dos sais, assim como reações biológicas, as quais tem uma temperatura ótima para sua realização, sendo um índice direto da influência da poluição térmica sobre o meio receptor (RIZZI, 2011).

Os ecossistemas aquáticos estão adaptados a variações de temperatura da água relativamente limitadas, devido ao alto valor do calor específico e às mudanças de estado físico da água, que absorvem ou liberam calor latente. A elevação da temperatura das águas também pode provocar um aumento na ação tóxica de muitos elementos e compostos químicos, sendo freqüente a maior mortandade de peixes, durante o verão, em águas poluídas (FRITZSONS *et al.*, 2005).

Uma temperatura elevada implica na aceleração do processo de putrefação e, portanto, no aumento da demanda por oxigênio. Paralelamente diminui a solubilidade do próprio oxigênio. Quando o conteúdo de oxigênio é inferior a 4 mg.L<sup>-1</sup>, os peixes morrem por asfixia. Por outro lado, as reações químicas e bioquímicas se aceleram com um aumento da temperatura (RIZZI, 2011).

## Potencial hidrogeniônico (pH)

As moléculas de água estão parcialmente dissociadas em íons  $H^+$  e íons  $OH^-$ . Os íons  $H^+$  não existem em solução, pois, imediatamente ao se formar se unem a uma molécula de água por meio de uma ponte de hidrogênio, para formar o íon  $H_3O^+$  ( $2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$ ) (RIZZI, 2011).

Potencial de Hidrogênio (pH) é a expressão usada para definir o grau de alcalinidade ou acidez de um líquido ou solução e refere-se ao cologaritmo da concentração de íons-hidrogênio nele existente. O pH é o log negativo de base 10 da concentração molar de íons hidrogênio ( $H^+$ ) e pode ser calculado a partir da equação: **pH = - log [  $H^+$  ]**. É, portanto, a medida da concentração de íons  $H^+$  na água. Em uma solução que contenha 0,0001 g/l de íons  $H^+$  corresponde a um pH igual a 4,0 enquanto uma água pura ou de solução neutra que contém 0,000001 g/l de íon  $H^+$  terá pH igual a 7,0 (RIZZI, 2011).

A maior parte das águas continentais que sustentam peixes tem o pH variando de 6,7 a 8,6. Os peixes conseguem tolerar uma relativa amplitude de variação do pH da água. Essa amplitude de pH dentro da qual os peixes podem sobreviver vai depender de outros fatores: temperatura, oxigênio dissolvido, concentração de determinados cátions e ânions na água etc. Por exemplo, tem sido observado que a toxidez de sulfito de sódio para os peixes aumenta com a diminuição do pH da água, e que a tolerância dos peixes para baixas concentrações de oxigênio dissolvido varia com o pH da água.

As águas superficiais possuem um pH entre 4 e 9, sendo ligeiramente alcalinas devido à presença de carbonatos e bicarbonatos. Naturalmente, nesse caso, pH pode subir muito, chegando a 9 ou até mais. Isso porque as algas, ao realizarem a fotossíntese, tiram muito gás carbônico, que é a principal fonte natural de acidez da água. O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5.

A origem do pH nas águas pode ser natural ou artificial. Como causa natural se encontra, em primeiro lugar, o gás carbônico ( $CO_2$ ) dissolvido, procedente da atmosfera e, mais fundamentalmente, daquele procedente das zonas de infiltração do solo, produzido pela respiração dos organismos vivos, assim como, pela respiração e fotossíntese dos organismos aquáticos. No caso do pH da água, depende do conteúdo de  $CO_2$  em relação à mineralização da matéria orgânica (RIZZI, 2011).

A Resolução CONAMA n° 357 de 17 de março de 2005, estabelece como padrão de qualidade de água para corpos de água doce de Classe 1, 2, 3 e 4, a faixa entre 6 a 9 unidades de pH.

### **Condutividade Elétrica (CE)**

Também chamada condutância ou condutividade elétrica específica, refere-se à capacidade que a água apresenta de conduzir a corrente elétrica. É, portanto, um parâmetro que indica a carga iônica da amostra (LIMA, 2008).

A resistência de um condutor é diretamente proporcional ao seu comprimento, sendo sua unidade dada em “Ohm”. O inverso da resistência, denominada condutividade ou condutância, será a corrente que passa através de um condutor, sob a influência de uma força eletromotriz constante e sua unidade é “ohm<sup>-1</sup>” ou “mho”. Se aplicarmos estes conceitos aos eletrodos submetidos a uma solução de água, ao fechar o circuito, circulará uma corrente elétrica. Define-se a condutividade como a quantidade de eletricidade transportada de um eletrodo a outro, em um segundo, através de uma secção de 1 cm<sup>2</sup>, sob a queda de potencial de 1 volt (RIZZI, 2011)

Ao se dissolver um ácido, base ou um sal na água, ocorre uma dissociação em íons, uns positivos, denominados cátions e outros negativos, denominados ânions e que esta diluição tem a capacidade de conduzir a corrente elétrica. Isto é explicado pela teoria de dissociação eletrolítica, segundo a qual se admite que, quando se dissolve na água, um ácido, uma base ou um sal, uma parte variável dos mesmos (a proporção de moléculas que se dissociam se denomina grau de dissociação) se dissocia espontaneamente em íons positivos e íons negativos (RIZZI, 2011).

Para as águas a medida de condutividade é dada em micromhos.cm<sup>-1</sup>. No Sistema Internacional de Unidades, adotado pelo Brasil, a unidade de condutância é siemens, abreviando-se S (maiúsculo). Para as águas, em geral, se usa microsiemens por centímetro (µS.cm<sup>-1</sup>). Para efeitos de comparação, vale as seguintes relações: “1 mS.cm<sup>-1</sup> = 10 µmhos.cm<sup>-1</sup>” ou “1µmhos = 0,1 mS.m<sup>-1</sup>”.

Os valores de condutividade indicam com bastante exatidão, para determinadas aplicações, a concentração de sólidos dissolvidos na água, sendo muito útil esta medida para determinar mudanças a curto prazo na qualidade da

água de um rio ou fonte. A concentração de sólidos dissolvidos totais é diretamente proporcional aos índices de condutividade elétrica.

### **Oxigênio Dissolvido (OD)**

O oxigênio e o gás carbônico são os dois constituintes gasosos mais importantes encontrados em solução nas águas naturais. Outros gases menos comuns incluem nitrogênio, metano, sulfatos etc (LIMA, 2008).

O oxigênio é o elemento indispensável na vida dos animais e plantas, tanto terrestres como aquáticas. Intermediário entre o mundo mineral e o orgânico, é necessário da oxidação energética da carboxihemoglobina e é resíduo da fotossíntese (RIZZI, 2011).

A solubilidade do oxigênio na água está relacionada a vários fatores, como temperatura, pressão, coeficiente de solubilidade, tensão de vapor de gás, salinidade da água, etc., tendendo a diminuir com a profundidade, onde fenômenos anaeróbios ocorrem no fundo. Quando a temperatura se eleva, o conteúdo de oxigênio diminui tanto em razão de sua menor solubilidade como também pelo consumo de oxigênio pelos seres vivos (RIZZI, 2011).

Em teoria, o conteúdo do oxigênio em um determinado corpo de água é aquele resultante do equilíbrio deste com a pressão atmosférica e temperatura reinantes. Em águas naturais, todavia, este equilíbrio raramente subsiste, pois a temperatura está sempre sujeita a variações, e as atividades físicas, químicas, bioquímicas e biológicas na água estão constantemente utilizando ou liberando oxigênio. O teor de oxigênio dissolvido de um corpo de água, desta forma, é uma propriedade altamente transitória. A determinação do oxigênio dissolvido faz sentido apenas para a caracterização deste parâmetro da água no ponto e no instante da coleta da amostra (LIMA, 2008).

A maioria dos organismos aquáticos podem tolerar concentrações de OD tão baixas quanto  $2\text{mg.L}^{-1}$  por longos períodos, mas baixas concentrações de OD são estressantes a eles. Estes não se alimentam bem, e serão mais susceptíveis a doenças quando estressados por baixo teor de oxigênio dissolvido. As concentrações de OD devem ser mantidas o mais próximo possível dos níveis de saturação. Quando as concentrações de OD à noite caem abaixo de  $3 - 4 \text{mg.L}^{-1}$ , podem se esperar impactos negativos no crescimento e sobrevivência (RIZZI, 2011).

Para o parâmetro de oxigênio dissolvido, a Resolução Conama 357 de 17 de março de 2005 estabelece como padrão de qualidade de água para corpos de água doce, concentrações acima de  $6 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  para Classe 1, concentrações acima de  $5 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  para Classe 2,  $4 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  para Classe 3 e  $2 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  para Classe 4.

### **Demanda Bioquímica de Oxigênio**

A expressão Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), utilizada para exprimir o valor da poluição produzida por matéria orgânica oxidável biologicamente, corresponde à quantidade de oxigênio que é consumida pelos microrganismos do esgoto ou águas poluídas, na oxidação biológica, quando mantida a uma dada temperatura por um espaço de tempo convencional. Essa demanda pode ser suficientemente grande, para consumir todo o oxigênio dissolvido da água, o que condiciona a morte de todos os organismos aeróbios de respiração subaquática (RIZZI, 2011).

A oxidação biológica ou digestão aeróbica se realiza na célula mediante reação catalizadora de enzimas e consiste, na combinação do oxigênio com distintos materiais orgânicos, produzindo energia. Uma parte desta energia se transforma em calor e a outra é utilizada pela célula em sua respiração. Neste processo, o hidrogênio se oxida à água e o carbono ao anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ). A desidrogenização inicial da matéria orgânica está catalizada pelas enzimas e a transferência do hidrogênio se realiza mediante coenzimas que formam os chamados fermentos respiratórios, cuja missão é captar e armazenar energia química para uso das células (RIZZI, 2011).

Para a demanda bioquímica de oxigênio, a Resolução Conama 357 de 17 de março de 2005 estabelece como padrão de qualidade de água para corpos de água doce, o limite de  $3 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  para Classe 1,  $5 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  para Classe 2,  $10 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  para Classe 3 e para cursos de água Classe 4 a DBO não é objetável.

### **Turbidez (TB)**

A turbidez é a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva à mesma. Essa medição é feita com o *turbidímetro* ou *nefelômetro*, que compara o espalhamento de um feixe de luz

ao passar pela amostra, com o de um feixe de igual intensidade, ao passar por uma suspensão padrão. Quanto maior o espalhamento, maior será a turbidez. Os valores são expressos, normalmente, em Unidades Nefelométricas de Turbidez - UNT, ou em  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  (miligramas por litro em Sílica) (RIZZI, 2011).

As principais causas da turbidez da água são: presença de matérias sólidas em suspensão (silte, argila, sílica, colóides), matéria orgânica e inorgânica finamente divididas, organismos microscópicos e algas. A origem desses materiais pode ser o solo (quando não há floresta ciliar); a mineração (como a retirada de areia ou a exploração de argila); as indústrias; ou os esgotos domésticos, lançados no manancial sem tratamento. O exame microscópico e observações *in loco* do manancial podem ajudar a determinar as causas da turbidez. Esses materiais se apresentam em tamanhos diferentes, variando desde partículas maiores ( $>1\text{cm}$ ), até as que permanecem em suspensão por muito tempo, como é o caso das partículas coloidais (diâmetro  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  cm) (RIZZI, 2011).

A turbidez, além de reduzir a penetração da luz solar na coluna d'água, prejudicando a fotossíntese das algas e plantas aquáticas submersas, pode recobrir os ovos dos peixes e os invertebrados bênticos (que vivem no fundo). Os sedimentos em suspensão podem carrear nutrientes e pesticidas, obstruindo as guelras dos peixes, e até interferir na habilidade do peixe em se alimentar e se defender dos seus predadores. As partículas em suspensão localizadas próximo à superfície podem absorver calor adicional da luz solar, aumentando a temperatura da camada superficial da água (RIZZI, 2011).

Para o parâmetro de turbidez, a Resolução Conama 357 de 17 de março de 2005 estabelece como padrão de qualidade de água para corpos de água doce, o limite de 40 NTU para corpos de água Classe 1, valores até 100 NTU para Classe 2, e Classe 3, e para cursos de água Classe 4 a turbidez não é objetável.

### **Sólidos Suspensos Totais (SST)**

Todas as águas que escoam pela superfície do solo exercem uma ação de transporte, a qual se realiza de três formas: arraste, suspensão e dissolução. As duas primeiras são realizadas sobre as partículas insolúveis e a terceira se realiza sobre as substâncias capazes de dissolver-se. No que se refere ao arraste, uma partícula pode mudar, em um dado momento, do movimento de arraste ao de

suspensão, dependendo, para um mesmo tamanho, da velocidade de fluxo da água. As partículas em suspensão coloidais produzem turbidez e as em suspensão são retidas por filtração. A dissolução de sais solúveis constitui o resíduo seco (RIZZI, 2011).

Os sólidos que se encontram em suspensão nas águas naturais podem ser orgânicos e inorgânicos. As partículas inorgânicas em suspensão são as argilas e agregados de tamanho coloidal de minerais de argila de estrutura carbônica e de densidade maior que  $2 \text{ g.cm}^{-3}$ . Uma das muitas classificações que se tem proposto sugere: areias, esferas de diâmetro maior de  $20\mu$ , limos, esferas de diâmetro de 2 a  $20\mu$  e argilas, partículas com diâmetro menor que  $2\mu$  (RIZZI, 2011).

## **Nitrogênio**

O Nitrogênio (N) é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos, graças à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos dos seres vivos. Quando presente em baixas concentrações pode atuar como fator limitante na produção primária dos lagos e reservatórios.

As várias formas de N ocorrem em águas naturais associadas ao chamado ciclo do nitrogênio, o qual está muito relacionado com a produtividade orgânica primária do meio aquático. Juntamente com o P, o N constitui-se em elemento limitante desta produtividade.

As principais fontes naturais de N são: a chuva, material orgânico e inorgânico de origem externa e a fixação biológica no lago por bactérias e algas cianofíceas. O nitrogênio se apresenta sob várias formas: nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, etc.), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos), etc. Dentre essas diferentes formas, o nitrato, juntamente com o íon amônio, são os mais importantes, já que são as principais fontes de alimento para os produtores primários. Somente quando a concentração das formas inorgânicas de N atinge valores muito baixos ou é esgotada, é que as formas orgânicas são aproveitadas pelos organismos aquáticos (RIZZI, 2011).

## Fósforo

Como o nitrogênio, o P desempenha importante papel no metabolismo animal e vegetal, e sua presença em águas naturais é função de um processo cíclico no qual as formas combinadas de fósforo estão continuamente sofrendo decomposição e síntese.

Tanto a forma orgânica como a inorgânica de P em águas naturais resultam da lixiviação do solo e rocha, assim como de adubos, poluição industrial, esgoto doméstico e decomposição de resíduos animais e vegetais.

Em águas naturais o ortofosfato é a forma ionizada mais comum, e as análises de amostras de água usualmente expressam os resultados em  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{PO}_4^{-3}$ . Nesta forma estão incluídos os três produtos de ionização do ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), cujas concentrações relativas são função do pH da água, a saber:

$\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$  : predomina em  $\text{pH} = 4,4$

$\text{HPO}_4^{-2}$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4$  : presentes em quantidades aproximadamente iguais em  $\text{pH} = 7,2$

$\text{PO}_4$  : predomina em pH acima de 9,4

Para o parâmetro de fósforo total, a Resolução Conama 357 de 17 de março de 2005 estabelece como padrão de qualidade de água para corpos de água doce de ambientes lóticos, o limite de  $0,1 \text{ mg P L}^{-1}$  para corpos de água Classe 1 e Classe 2, concentrações até de  $0,15 \text{ mg P L}^{-1}$  para Classe 3 e para cursos de água Classe 4 a turbidez não é objetável.

## Potássio

Embora abundante na litosfera (feldspatos, micas, leucitas etc.), o K é normalmente encontrado em concentrações baixas nas águas naturais, devido principalmente, à alta resistência dos feldspatos à solubilização. Além disto, o K tem tendência a ser adsorvido às argilas.

O K tem comportamento muito parecido com a do Na (metais alcalinos); em águas naturais, em geral sempre a concentração de K é menor que a do sódio (LIMA, 2008).

### 2.3.1. Floresta na conservação da qualidade da água

Uma bacia hidrográfica que contém cobertura de floresta natural pouco alterada caracteriza-se por apresentar, em geral, uma ciclagem de nutrientes bastante equilibrada, no que diz respeito ao balanço entre a entrada via precipitação e saída via deflúvio.

Uma característica marcante do ecossistema florestal está relacionada com a capacidade inerente de diminuir perdas de nutrientes pelo deflúvio da bacia hidrográfica. Esta capacidade está relacionada, frequentemente, com os mecanismos de absorção e adsorção de nutrientes dentro do perfil do solo, retenção na camada de serapilheira e absorção pela vegetação. Tais mecanismos agem no sentido de manter uma flutuação equilibrada da concentração iônica na água que drena a bacia.

Este funcionamento hidrológico da bacia, por outro lado, também resulta numa metodologia adequada para o estudo dos efeitos das atividades de uso do solo sobre a qualidade de água.

A precipitação pluviométrica constitui importante fonte de entrada de nutrientes em microbacias. Em algumas situações, onde predominam solos arenosos com baixíssima fertilidade, torna-se a única fonte de nutrientes para o metabolismo das plantas. O destino desses nutrientes que alcançam as bacias hidrográficas através das chuvas depende do tipo de uso e cobertura do solo.

Para se ter idéia da contribuição da precipitação pluviométrica no aporte de nutrientes em bacias hidrográficas, é apresentada na Tabela 2.1 uma relação de estudos com quantificações de elementos minerais na precipitação interna de diferentes ecossistemas, descritos em Souza e Marques (2010). A concentração de nutrientes na precipitação interna abrange a quantidade de nutrientes presentes na precipitação externa somado (ou subtraído) a quantidade liberada (ou absorvida) pelo dossel da floresta. Observa-se que o aporte de nutrientes ao piso florestal é expressivo, chegando a  $14,5 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de nitrato,  $126,00 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de potássio,  $30,10 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o cálcio,  $17,16 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para magnésio e  $155,08 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o sódio.

Tabela 2.1 Quantidade de elementos minerais ( $\text{Kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) na precipitação interna de diferentes ecossistemas florestais.

Local	Ecossistema		$\text{NO}_3^- \text{-N}$	K	Ca	Mg	Na	Referência
São Paulo	FMS	-	nd	126,00	nd	nd	nd	MEGURO <i>et al.</i> , 1979
São Paulo	Cerrado	-	nd	67,80	6,8	7,1	0,0	LIMA, 1986
São Paulo	FS	-	nd	79,80	11,50	7,20	20,65	ARCOVA e CICCIO, 1989
Paraná	F. Atlântica	Restinga baixa	nd	44,80	12,10	14,20	nd	BRITEZ, 1994
		Restinga alta	nd	44,90	11,40	14,60	nd	
Porto Rico	F. Tropical	-	0,2	51,60	22,70	13,14	81,30	McDOWELL, 1998
Congo	Savana	Savana	nd	2,80	3,30	1,40	nd	LACLAU <i>et al.</i> , 2003
		<i>Eucalyptus</i>	nd	6,80	7,80	3,20	nd	
Paraná	F. Atlântica	Capoeira aluvial	nd	51,60	4,90	2,90	95,80	SCHEER, 2006
		FODSM	nd	28,60	4,20	2,10	91,80	
Paraná	F. Atlântida	Tipologia inicial	3,50	25,20	13,70	7,60	127,30	PROTIL, 2006
		Tipologia média	9,30	55,90	15,30	10,60	148,50	
		Tipologia avançada	14,50	73,10	17,40	8,20	155,08	
Paraná	F. Atlântida	Tipologia inicial	2,51	7,34	24,08	8,88	59,99	Souza e Marques, 2010
		Tipologia média	5,48	18,48	24,04	10,64	82,99	
		Tipologia avançada	5,93	20,37	30,10	17,16	61,07	

FMS: Floresta Mesófila Secundária; nd: não determinado; FS: Floresta secundária; FODSM: Floresta Ombrófila Densa Submontana. Fonte: Souza e Marques (2010).

Voigtlaender (2007) realizou caracterização da dinâmica hidrológica e biogeoquímica de duas microbacias cobertas por Mata Atlântica e *Pinus taeda* L, respectivamente, e verificou que as duas microbacias apresentaram características semelhantes. A Tabela 2.2 relaciona os resultados do balanço geoquímico dos nutrientes obtidos pelo autor, onde é possível visualizar a semelhança na saída de N, P, Ca e Mg entre a microbacia com vegetação nativa (Mortandade) e a microbacia com plantio de pinus (Colônia). Apenas para o potássio foi registrado diferença nas taxas de exportação via deflúvio.

Ainda segundo Voigtlaender (2007), a saída dos nutrientes na microbacia com pinus foi semelhante ao verificado por diversos estudos em outras microbacias. As maiores saídas de nutrientes da microbacia com floresta nativa estão relacionadas com maiores taxas de decomposição e menor consumo de nutrientes pela vegetação nativa comparada à microbacia com pinus (idade entre 4 e 8 anos).

Tabela 2.2 Balanço geoquímico dos nutrientes ( $\text{Kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) nas microbacias mortandade e Colônia para um ano hídrico (ago/05 – jul/06).

	Microbacia Mortandade					Microbacia Colônia				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
<b>ENTRADA</b>										
Precipitação	10,7	0,40	3,7	3,3	1,0	10,7	0,40	3,7	3,3	1,0
<b>SAÍDA</b>										
Deflúvio	2,7	0,1	3,7	4,9	2,5	1,3	0,05	2,1	4,5	2,0
<b>BALANÇO</b>	<b>8,0</b>	<b>0,30</b>	<b>0,0</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,5</b>	<b>9,4</b>	<b>0,35</b>	<b>1,6</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,0</b>

Microbacia Mortandade: Transição de Florestal Ombrófila Aberta Submontana para Floresta Estacional Semidecidual Submontana. Microbacia Colônia: *Pinus taeda* 4 a 8 anos (70%), *Eucalyptus grandis* (8%) e APP (22%). Fonte: Voigtlaender (2007).

Portanto, uma bacia, seja em condições naturais ou em plantações florestais, apresenta, normalmente, um efetivo controle sobre os processos envolvidos na ciclagem geoquímica de nutrientes.

Em comparação com uma bacia revestida com gramíneas, a bacia florestada deve, normalmente, apresentar uma ciclagem de nutrientes mais eficaz e conservadora, resultando em um deflúvio com concentrações baixas de nutrientes.

Oki (2002), avaliando o efeito do corte raso de uma microbacia com 66,5 ha coberta com *Pinus taeda* (26 anos) verificou que a exportação de nutrientes via deflúvio após ao corte apresentou um incremento de, 260% para N, 78,2% para Mg, 183,3 para P, 166,2% para K e -13,38% para Ca. Após o corte, o balanço geoquímico foi negativo apenas para o Mg.

Oki (2002) observou que a concentração dos nutrientes N, K, Mg, Ca e Fe no deflúvio apresentaram picos elevados logo após o início do corte raso da floresta. A concentração de nutrientes N, K e Mg só retornaram as condições normais (encontradas antes do corte) depois de 6 meses da execução do corte. O P apresentou maiores saídas durante a atividade de enleiramento e plantio na área (5 meses após o corte).

Guimarães *et al.* (2010), avaliando a qualidade de água na bacia hidrográfica do rio Campinas em dois pontos distintos, um a montante com influência apenas de Floresta Atlântica, e o outro a justante de uma área reflorestada, verificaram que o rio Campinas apresentou tendência de aumento na DBO, turbidez, pH e nitrato após percorrer a área reflorestada com *Pinus taeda*, porém essas elevações não foram suficientes para extrapolar os Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05. Em contrapartida, os parâmetros de nitrito e potássio apresentaram-se

menores na saída do reflorestamento. Conforme aumenta a idade dos pinus, ocorre uma estabilização na quantidade de nutrientes presentes nas águas superficiais.

O cultivo de pinus em microbacias com relevo acentuado proporciona maior perda de sedimentos e nutrientes do solo e demanda maiores cuidados no manejo florestal (GUIMARÃES *et al.*, 2010).

Donadio *et al.* (2005) realizaram uma avaliação de qualidade de água de nascentes com influências de floresta nativa e de nascentes com influência de atividades agrícolas na BH Córrego Rico, nordeste de São Paulo, e observaram que, nas nascentes com vegetação natural remanescente, a qualidade da água mostrou-se melhor que nas nascentes com uso agrícola, sendo as variáveis cor, turbidez, alcalinidade e nitrogênio total as que mais explicaram essas diferenças.

A qualidade de água superficial sofre influência de outros fatores como a topografia, a geologia, o tipo de solo e regime pluviométrico ocorrente na bacia hidrográfica (DONADIO *et al.*, 2005).

Em bacias com solos bastante permeáveis, a qualidade da água superficial varia muito pouco com a vazão. Em condições de solos menos permeáveis, todavia, a qualidade da água do deflúvio altera-se de acordo com a variação da descarga da bacia (LIMA *et al.*, 2004).

De um modo geral, o ecossistema florestal desenvolve rapidamente uma capacidade efetiva de retenção de nutrientes, apresentando, em condições não perturbadas, perdas naturais relativamente baixas.

Para um eficiente planejamento de uso e ocupação do solo de uma região é necessário o conhecimento do regime hídrico das bacias hidrográficas relacionadas, da geomorfologia, da geologia e tipo de solo para inibir os efeitos da exportação de nutrientes (e de sedimentos) pelo escoamento superficial, evitando a degradação e infertilização dos solos e deterioração dos cursos de água.

## 2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

A Análise Multivariada é um conjunto de técnicas estatísticas que tratam dos dados correspondentes às medidas de muitas variáveis simultaneamente.

Basicamente, a Análise Multivariada consiste no estudo estatístico dos problemas relacionados com (NETO, 2010):

- Inferências sobre médias multivariadas;
- Análise da estrutura de covariâncias de uma matriz de dados;
- Técnicas de reconhecimento de padrão, classificação e agrupamento.

Em linhas gerais, os métodos de estatística multivariada são utilizados com o propósito de simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno em estudo através da construção de índices ou variáveis alternativas que sintetizem a informação original dos dados; construir grupos de elementos amostrais que apresentem similaridade entre si, possibilitando a segmentação do conjunto de dados original; investigar as relações de dependência entre as variáveis respostas associadas ao fenômeno e outros fatores (variáveis explicativas), muitas vezes, com objetivos de predição; e, comparar populações ou validar suposições de testes de hipóteses (MINGOTI, 2005).

De acordo com Hair Jr *et al.* (2009), o caráter multivariado consiste nas múltiplas variáveis estatísticas (combinações múltiplas de variáveis) e não apenas no número de variáveis e observações. Assim, para uma amostra ser considerada realmente multivariada, todas as variáveis devem ser aleatórias que se inter-relacionam de tal modo que seus diferentes efeitos não podem ser interpretados separadamente.

A análise de múltiplas variáveis é comumente realizada com base em notações matriciais, e seus dados primários constituem as estatísticas descritivas dos vetores aleatórios. No estudo de  $p \geq 1$  variáveis, geralmente, toma-se  $n$  observações de cada variável para obter informações sobre parâmetros, relacionamentos entre variáveis, comparações, etc. Assim, as medidas registradas são  $x_{ij}$  com  $i = 1, 2, \dots, n$  (observações) e  $j = 1, 2, \dots, p$  (variáveis) que podem ser agrupadas na matriz de dados  ${}_nX_p$ , com  $n$  linhas e  $p$  colunas (NETO, 2010):

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{np} \end{bmatrix}$$

A matriz de dados  ${}_nX_p$  contém  $n$  observações do vetor aleatório  $p$ -dimensional  $X' = [X_1, X_2, \dots, X_p]$ . As estatísticas descritivas dos vetores aleatórios

empregadas como dados primários de análises multivariadas são o vetor médio amostral, matriz de covariância amostral e matriz de correlação amostral.

De acordo com Hair *et al.* (2009), as técnicas de análise multivariada podem ser divididas em técnicas de dependência e de interdependência. Uma técnica de dependência pode ser definida como uma análise em que uma variável ou conjunto de variáveis é identificada como variável dependente a ser prevista ou explicada por outras variáveis conhecidas como variáveis independentes. As técnicas de análise multivariadas de dependência são: análise de correlação canônica, análise multivariada de variância, análise de regressão múltipla, análise conjunta, análise discriminante múltipla, modelos lineares de probabilidade e modelos de equações estruturais.

As técnicas de análise multivariada de interdependência são aquelas em que nenhuma variável ou grupo de variáveis é definida como sendo independente ou dependente. Ao invés disso, o procedimento envolve a análise simultânea de todas as variáveis no conjunto. Dentre as técnicas de análise de interdependência, destacam-se: análise de componentes principais, análise fatorial, análise de agrupamentos, escalonamento multidimensional e análise de correspondência.

Nesta pesquisa, utilizou-se a técnica de interdependência análise fatorial.

#### 2.4.1. Suposições estatísticas da análise multivariada

Todas as técnicas multivariadas têm suposições inerentes, tanto estatísticas quanto conceituais, que influenciam muito suas habilidades para representar relações multivariadas. As suposições de normalidade multivariada, linearidade, independência de termos de erro e igualdade de variâncias em uma relação de dependência devem ser todas atendidas (Hair *et al.*, 2009).

A suposição mais fundamental em análise multivariada é a **normalidade**, a qual se refere à forma da distribuição de dados para uma variável métrica individual e sua correspondência com a **distribuição normal**. Se a variação em relação à distribuição normal é suficientemente grande, todos os testes estatísticos resultantes são inválidos (Hair *et al.*, 2009).

O teste diagnóstico de normalidade mais simples é a verificação visual do histograma que compara os valores de dados observados com uma distribuição aproximadamente normal (Figura 2.3). A distribuição normal forma uma reta diagonal, e os dados do gráfico são comparados com a diagonal. Se uma distribuição é normal, a dispersão dos pontos que representa a distribuição real dos dados segue muito próxima à diagonal.

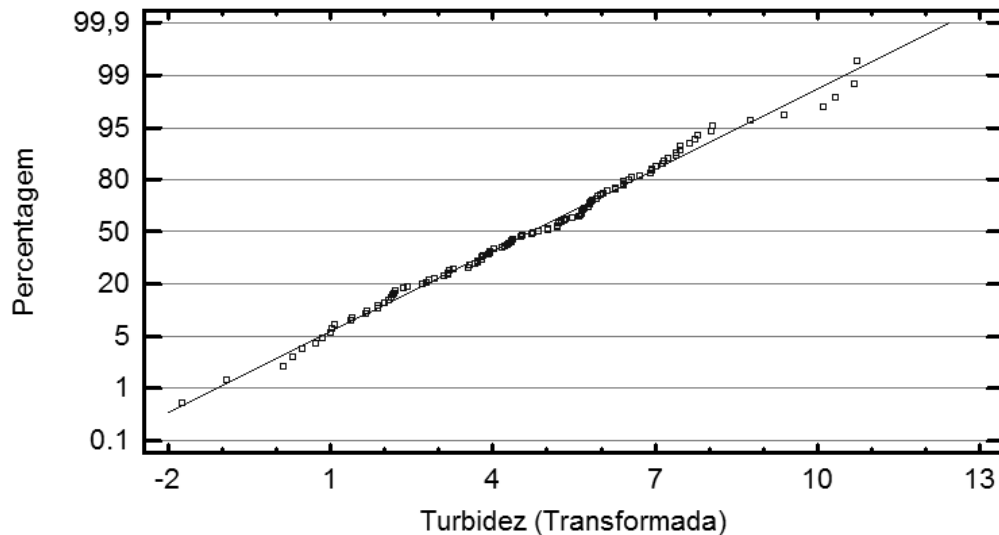


Figura 2.3: Exemplo de teste gráfico de normalidade da distribuição dos dados. (Fonte: autor)

Além de examinar os gráficos de probabilidade normal, pode-se usar de testes estatísticos para avaliar a normalidade. Um teste acessível é uma regra básica baseada nos valores de assimetria e curtose, e suas estatísticas “z”. Se o valor z calculado exceder o valor crítico especificado, então a distribuição é não-normal. Os valores críticos mais comumente usados são  $\pm 2,58$  (nível de significância de 0,01) e  $\pm 1,96$ , que corresponde a um nível de erro de 0,05.

Quando uma variável aleatória não apresenta distribuição normal, pode-se utilizar de diversos métodos de transformações de dados para adequar a sua distribuição. As transformações de dados fornecem um meio para (1) corrigir violações das suposições estatísticas inerentes às técnicas multivariadas, ou (2) para melhorar a relação (correlação) entre variáveis. As transformações mais empregadas são: termo ao quadrado, termo ao cubo, logarítmica, raiz quadrada, raiz cúbica e a transformação inversa ( $1/x$ ).

Algumas técnicas de análises multivariadas possuem testes específicos que, quando atendidos, garantem a confiabilidade nos resultados obtidos. Dentre os testes que avaliam o grau de confiabilidade probabilística da **análise fatorial** em

relação a diferentes bases de dados, destacam-se o teste de esfericidade de Bartlett e a medida de adequacidade da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin ou KMO (MINGOTI, 2005), que analisam se a estrutura de dados condiz com a análise fatorial e gerará então resultados mais confiáveis.

O teste de esfericidade de Bartlett testa a hipótese de que as variáveis não são correlacionadas na população. A hipótese básica (H0) diz que a matriz de correlação da população é uma matriz identidade a qual indica que o modelo fatorial é inapropriado. A estatística do teste é dada por:

$$\chi^2 = \left[ (n - 1) - \frac{2p+5}{6} \right] \ln|R| \quad (2.1)$$

Que tem distribuição qui-quadrado com graus de liberdade  $\nu = \frac{p(p-1)}{2}$ ,

onde: n = tamanho da amostra

p = número de variáveis

|R|= determinante da matriz de correlação

O critério de Kaiser-Meyer-Olkin – KMO é outra forma de identificar se o modelo de análise fatorial que está sendo utilizado está adequadamente ajustado aos dados, isto se dá testando a consistência geral dos dados. O método verifica se a matriz de correlação inversa é próxima a matriz diagonal, consiste em comparar os valores dos coeficientes de correlação linear observados com os valores dos coeficientes de correlação parcial (NETO, 2010). A medida de adequacidade que fundamenta esse princípio é dada pela seguinte expressão:

$$KMO = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_{ij}^2} \quad (2.2)$$

em que  $r_{ij}$  é o coeficiente de correlação simples entre as variáveis  $X_i$  e  $X_j$ , e  $a_{ij}$  é o coeficiente de correlação parcial entre  $X_i$  e  $X_j$ , dados os outros  $X^s$ .

Para interpretação do critério de KMO, os valores vão variar de 0 a 1, pois, pequenos valores de KMO indicam que o uso da análise fatorial não é adequada, e quanto mais próximo de 1, mais adequada é a aplicação da análise fatorial nos dados.

### 2.4.2. Análise Fatorial

A análise fatorial é uma técnica de interdependência cujo propósito é definir a estrutura inerente entre as variáveis na análise. Em outras palavras, a análise fatorial fornece as ferramentas para analisar a estrutura das inter-relações (correlações) em um grande número de variáveis, definindo conjuntos de variáveis que são fortemente inter-relacionadas, conhecidos como **fatores**. Esses grupos de variáveis (fatores), que são por definição altamente intercorrelacionadas, são considerados como representantes de dimensões dentro dos dados (HAIR *et al.*, 2009).

Portanto, o objetivo da análise fatorial é agrupar as informações contidas em um grande número de variáveis originais, em um conjunto menor de fatores com o mínimo de perda de informação. Em Gontijo e Aguirre (1988) encontram-se descritos os seguintes objetivos da análise fatorial:

1. Harmonizar ou condensar um grande número de observações em grupos;
2. Obter o menor número de variáveis a partir do material original e reproduzir toda a informação de forma resumida;
3. Obter os fatores que reproduzam um padrão separado de relações entre as variáveis;
4. Interpretar de forma lógica o padrão de relações entre as variáveis;
5. Identificar as variáveis apropriadas para uma posterior análise de regressão e correlação ou análise discriminante.

Segundo os mesmos autores, a análise fatorial pode encontrar uma forma resumida das informações contidas na matriz de dados, transformando muitas variáveis originais em um conjunto menor de novas variáveis estatísticas (fatores) com perda mínima de informações.

A análise fatorial é uma das técnicas mais usuais do que se convencionou chamar de análise multivariada. Quando se emprega este tipo de análise se esta frequentemente conceitua o comportamento de uma variável ou grupos de variáveis em covariação com outras.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

As bacias hidrográficas experimentais utilizadas neste estudo estão localizadas na região nordeste de Santa Catarina, no município de Joinville, com altitude média de 800 metros. São sub-bacias pertencentes à Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Norte (BHRCN). A Figura 3.1 demonstra a localização da BHRCN no contexto nacional, estadual e regional. Nesta figura está destacada a BHRCN, em tonalidade salmão, com sua hidrografia e em cinza é apresentada, de forma aproximada, a área onde se localizam os plantios de pinus, objeto de estudo desta pesquisa.

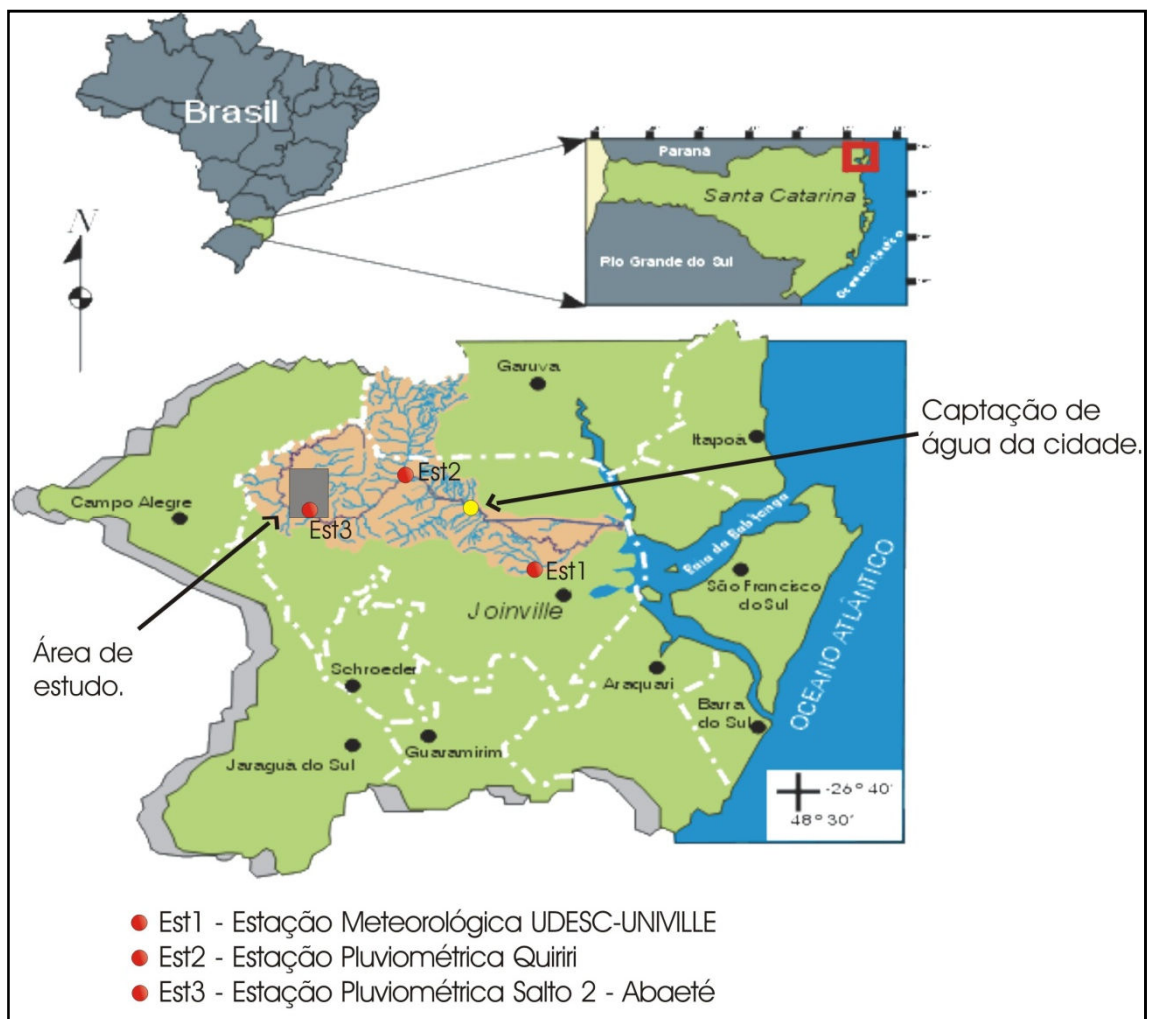


Figura 3.1. Localização da área de estudo a nível nacional, estadual e regional, destacada a BHRCN, as estações meteorológicas e o ponto de captação de água do município.

Segundo a divisão atualmente adotada pela Agência Nacional de Águas – ANA, os rios que drenam o território estadual de Santa Catarina integram três grandes Regiões Hidrográficas: a Região Hidrográfica do Paraná, a Região Hidrográfica do Uruguai e a Região Hidrográfica Atlântico Sul (ANA, 2002).

A rede hidrográfica catarinense tem na Serra Geral o Principal divisor de águas que forma os dois sistemas independentes de drenagem do território estadual: o sistema integrado da Vertente do Interior, compreendendo 11 bacias que integram a bacia Paraná-Uruguai, e o sistema da Vertente Atlântica, formado por um conjunto de 12 bacias isoladas que fluem para leste, desaguando diretamente no Atlântico (SDS, 2005).

Para efeito de gerenciamento dos recursos hídricos, o Estado de Santa Catarina foi subdividido em 10 Regiões Hidrográficas (RH) através da Lei 10.949 de 09 de novembro de 1998 (Figura 3.2):

RH 1 - Extremo Oeste (Bacias do rio Peperi-Guaçú e Antas) (5.962 Km<sup>2</sup>);

RH 2 - Meio Oeste (Bacias do rio Chapecó e Irani) (11.064 Km<sup>2</sup>);

RH 3 - Vale do Rio do Peixe (Bacias do rio do Peixe e Jacutinga) (8.189 Km<sup>2</sup>);

RH 4 - Planalto de Lages (Bacias do rio Canoas e Pelotas) (22.808 Km<sup>2</sup>);

RH 5 - Planalto de Canoinhas (Bacias do rio Iguaçú, Negro e Canoinhas) (11.058 Km<sup>2</sup>);

RH 6 - Baixada Norte (Bacias do rio Cubatão e Itapocú) (5.138 Km<sup>2</sup>);

RH 7 - Vale do Itajaí (Bacia do rio Itajaí-Açú) (15.111 Km<sup>2</sup>);

RH 8 - Litoral Centro (Bacias do rio Tijucas, Biguaçú, Cubatão do Sul e Madre) (5.824 Km<sup>2</sup>);

RH 9 - Sul Catarinense (Bacias do rio Tubarão e D' Una) (5.991 Km<sup>2</sup>);

RH10 - Extremo Sul Catarinense (Bacias do Araranguá, Urussanga e Mampituba) (4.849 Km<sup>2</sup>).

A bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte (BHRCN), bem como as bacias experimentais utilizadas nesta pesquisa, localizam-se na Região hidrográfica Baixada Norte (RH6), conforme demonstra Figura 3.2, que pertence ao sistema da Vertente Atlântica, conforme divisão a nível estadual, e a Região Hidrográfica Atlântico Sul, no contexto nacional. A BHRCN possui área total de 492 km<sup>2</sup>, com 80% de sua área inserida no município de Joinville, e 20% em Garuva. É considerado o principal contribuinte do complexo estuarino da Baía da Babitonga (Gonçalves, *et al.*, 2006).

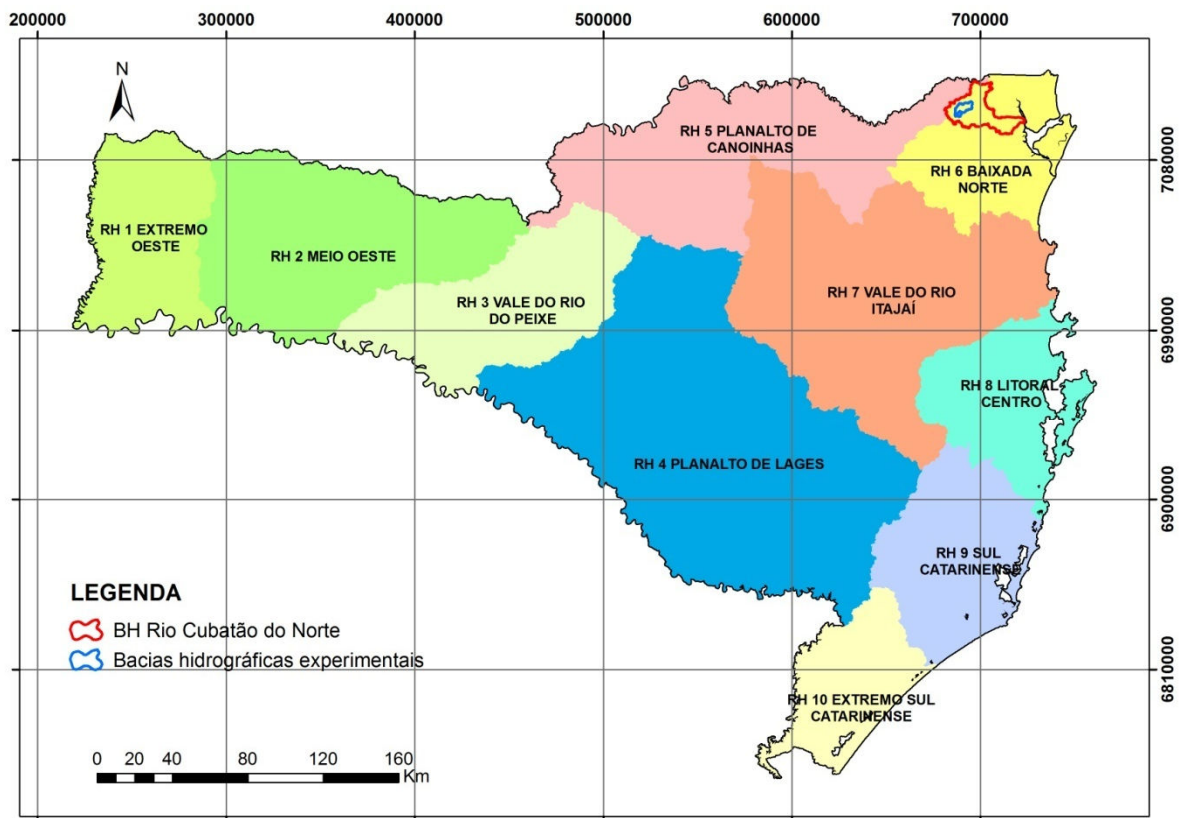


Figura 3.2: Localização das bacias experimentais no contexto das Regiões Hidrográficas de Santa Catarina.

A BHRCN é considerada uma das principais bacias hidrográficas da região nordeste de Santa Catarina, devido à importância para o abastecimento de água do município de Joinville, maior cidade do estado, que corresponde a cerca de 70% de sua demanda, e também contribui com 50% no abastecimento do município de Araquari (GONÇALVES *et al.*, 2006).

Além da importância para o abastecimento público, a BHRCN possui relevante riqueza ecológica para a região. As nascentes do rio Cubatão do Norte localizam-se na Serra do Mar, em altitudes variando entre 900 a 1300 metros, e desemboca no Canal do Palmital, com altitudes próximas ao nível do mar, no complexo estuarino da Baía da Babitonga (Figura 3.3). Neste percurso, das nascentes a foz, o rio Cubatão do Norte e seus tributários drenam diferentes ambientes que variam desde formações pioneiras de campos de altitude, Floresta Ombrófila Densa Altomontana, Montana, Submontana, aluvial, de terras baixas, áreas de manguezais, além de uma região de transição entre Floresta Ombrófila Densa Montana e Floresta Ombrófila Mista (FATMA/GTZ, 2002).

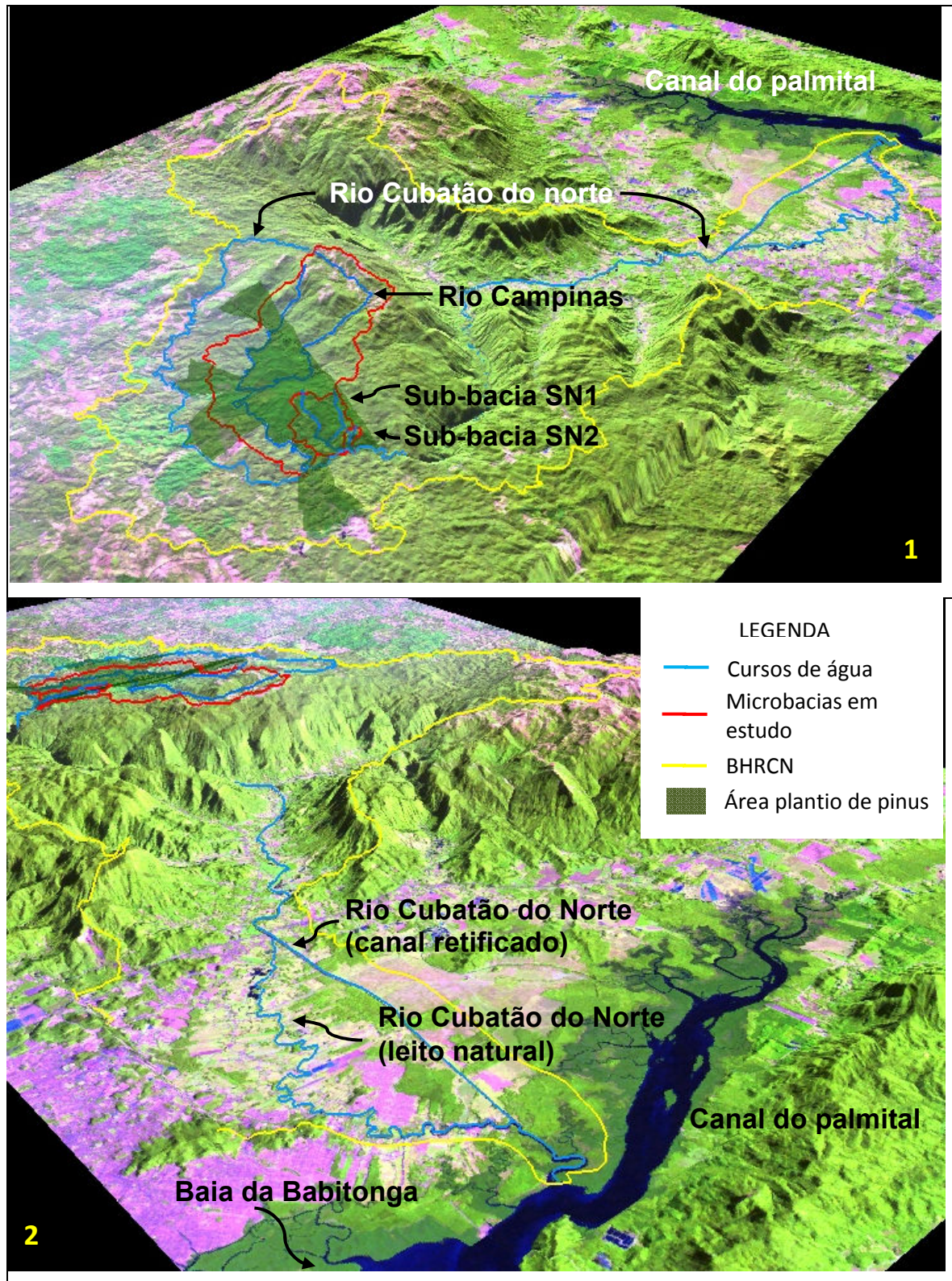


Figura 3.3. Modelo digital do terreno com sobreposição de imagem Landsat ETM7 em composição RGB das bandas 5, 4 e 3, de 02/09/2005. (1) Vista SW-NE com destaque a área em estudo. (2) Vista SE-NW com destaque a Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Norte (BHRCN).  
Org.: R.Z. Guimarães, 2012.

A BHRCN apresenta três compartimentos topográficos principais: a planície costeira, a leste, a escarpa da Serra do Mar, na porção central e o planalto, a oeste

(OLIVEIRA, 2006). O reflorestamento de pinus localiza-se no alto curso do rio Cubatão do Norte, a oeste da escarpa da Serra do Mar (Reversos da Serra do Mar), em altitude média de 800 metros, inserida principalmente na bacia do Rio Campinas, e outros dois tributários diretos do rio Cubatão do Norte, denominados bacia do rio Sem Nome 1 (SN1) e bacia do rio Sem Nome 2 (SN2) (Figura 3.3). A bacia hidrográfica do rio Campinas possui área total de 3716,76 ha, cobertas principalmente por floresta e plantio de pinus. As outras duas bacias, apresentam área de 400,98 ha e 28,062 ha.

### 3.1.1. Aspectos Climáticos

De acordo com Gonçalves *et al.*, (2006), na região do alto curso do rio Cubatão do Norte ocorrem dois tipos climáticos segundo a classificação de Köppen: o clima temperado chuvoso e moderadamente quente, úmido em todas as estações, com verão quente (Cfa), e o clima chuvoso e moderadamente quente, úmido em todas as estações, com verão moderadamente quente (Cfb). Na área das bacias do rio Campinas, rio SN 1 e SN 2, o tipo climático pode ser caracterizado como uma transição entre Cfa e Cfb no sentido sudeste a noroeste. A temperatura média anual varia entre 15 e 18°C na área em estudo, conforme mapa de temperaturas da região nordeste do estado de Santa Catarina (EPAGRI, 2002, GONÇALVES, *et al.*, 2006).

Oliveira (2006) elaborou o mapa de distribuição pluviométrica anual a partir dos totais anuais de precipitação de 19 estações pluviométricas com registro de dados na região nordeste de Santa Catarina, entre o período 1940 a 2005, investigando o melhor método de interpolação disponível para representação da espacialização das chuvas para a região. O mapa final obtido pelo autor é apresentado na Figura 3.4, de forma adaptada por meio do recorte para a bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte (BHRCN). Com base neste mapeamento, observa-se que nas bacias em estudo ocorrem duas faixas distintas de precipitação total anual: (1) 1900 a 2100 mm anuais na porção noroeste da bacia hidrográfica do rio Campinas e, (2) 2100 a 2300mm anuais em grande parte da Bacia do rio Campinas e na totalidade das bacias dos rios SN1 e SN2.

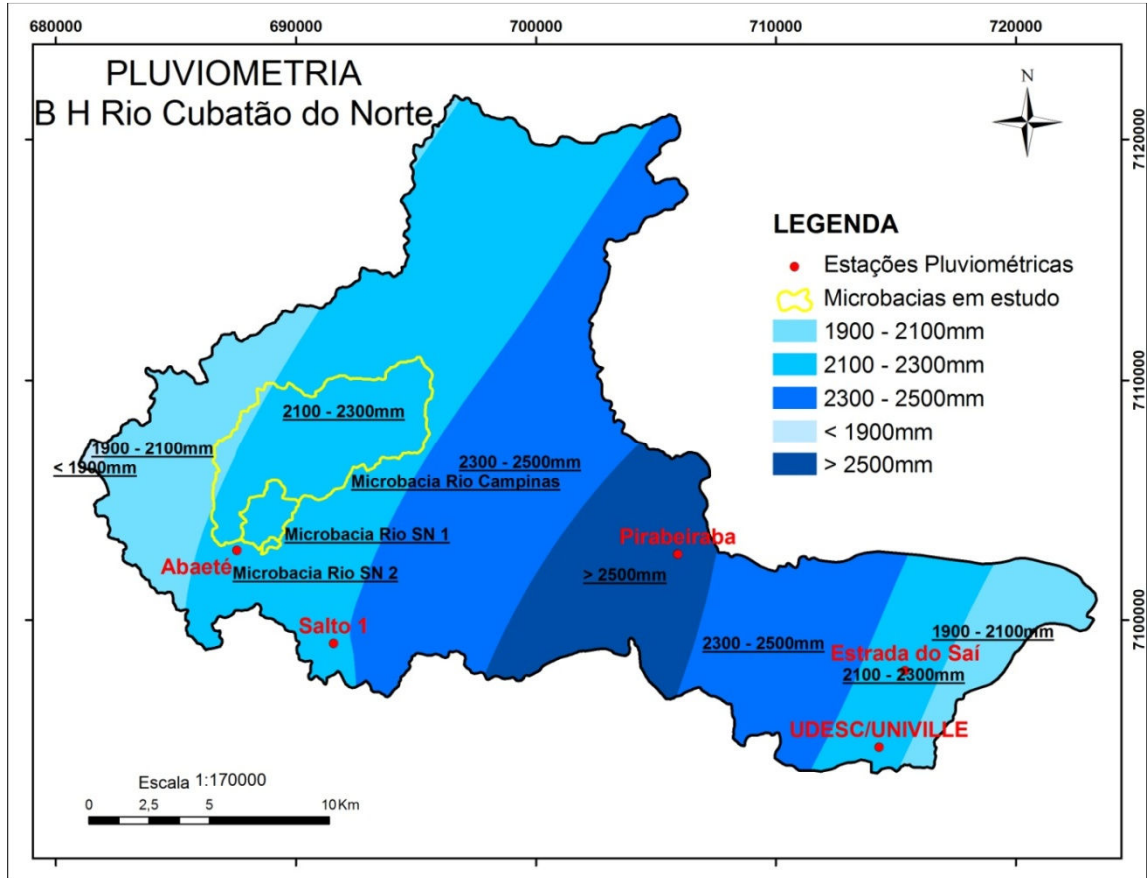


Figura 3.4. Distribuição pluviométrica anual na Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Norte (BHRCN), com destaque para a área em estudo. Fonte: F.A. Oliveira (2006). Org.: R.Z. Guimarães (2012).

As médias mensais de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão indicam uma variação sazonal, com períodos mais chuvosos na primavera e verão e máximas nos meses de janeiro e fevereiro, e menor pluviosidade no outono e inverno, com mínimas em junho e julho (Figura 3.5). Porém esta variação não é acentuada entre estes períodos, podendo ocorrer precipitações intensas em qualquer época do ano (GONÇALVES, *et al.*, 2006).

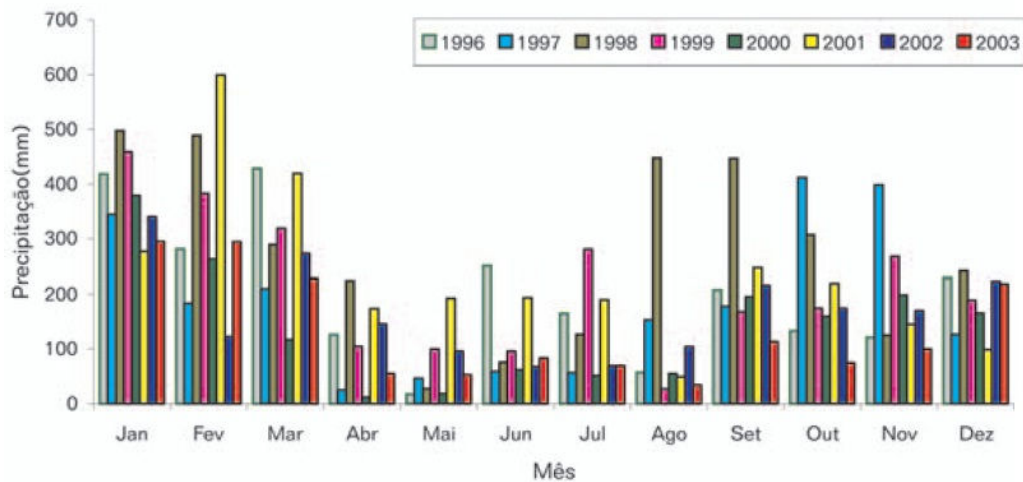


Figura 3.5. Precipitações pluviométricas de 1996 a 2003, registradas na Estação Meteorológica UDESC-UNIVILLE. Fonte: Gonçalves *et al.*, 2006.

### 3.1.2. Geologia e Solos

Conforme Oliveira (2006), a região do alto curso do rio Cubatão contém as unidades litoestratigráficas do Complexo Luis Alves, com presença de rochas metamórficas da fácies granulítico (gnaisses enderbíticos, gnaisses cálcicos-silicáticos, quartzos e ultramáfitos), e unidade Suíte Intrusiva Serra do Mar, com ocorrência de biotita granitos, granitos cataclásticos e sienitos, entre outros. No contexto pedológico, há predominância de cambissolos segundo os grandes grupos alumínico, distrófico, eutrófico e húmico, e os argissolos da subordem vermelho-amarelos.

Para a caracterização litológica e pedológica ocorrente na área em estudo, utilizou-se como base os arquivos digitais em formato *shape* do mapa geológico elaborado em 2001, e do mapa de reconhecimento de solo, de 2002, ambos elaborados na escala 1:100.000 pela Divisão de Geociências do Sul (DIGEO/SUL), correspondente à folha SG-22-Z-B-II (São Miguel) (IBGE, 2001; IBGE, 2002). Realizou-se o recorte dos arquivos digitais da folha São Miguel tendo como delimitação as áreas das bacias rio Campinas, rio SN1 e rio SN2.

A atribuição das cores para caracterização das litologias e das tipologias de solo foi realizada com base nas cores utilizadas por Oliveira (2006), que por sua vez, embasou-se no mapeamento geológico publicado no Atlas Ambiental de Joinville (FATMA, 2002) e no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

Na área em estudo há ocorrência de granitos do Proterozóico superior na porção mais elevada da bacia do rio Campinas, à nordeste, onde se localizam suas nascentes, em patamares altimétricos de 900 a 1320 metros. Nas demais áreas da bacia do rio Campinas, e sobre toda área das bacias do rio SN1 e SN2, há presença de gnaisses granulíticos do Complexo Luis Alves, do período Arqueano (Figura 3.6).

A Figura 3.7 demonstra ocorrência de duas tipologias de solo para a área em estudo. O cambissolo háplico alumínico, com menos expressividade em área, ocupando a porção nordeste da bacia do rio Campinas e na região da foz dos rio Campinas, SN1 e SN2, onde deságuam no rio Cubatão do Norte. O argissolo amarelo distrófico distribui-se na maior parte da área, a partir do terço superior do rio Campinas em direção à sua foz.

Bacias hidrográficas com predominância de substrato rochoso de granitos e gnaisses apresentam menores saídas de nutrientes pelo escoamento superficial em

função da resistência ao intemperismo (ARCOVA e CICCIO, 1999).

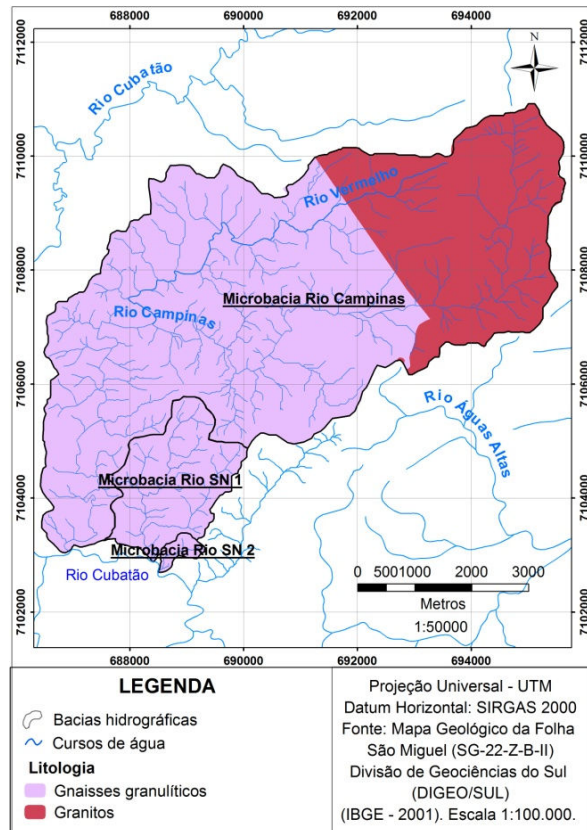


Figura 3.6. Mapa litológico da área em estudo.  
Fonte: IBGE, 2001.

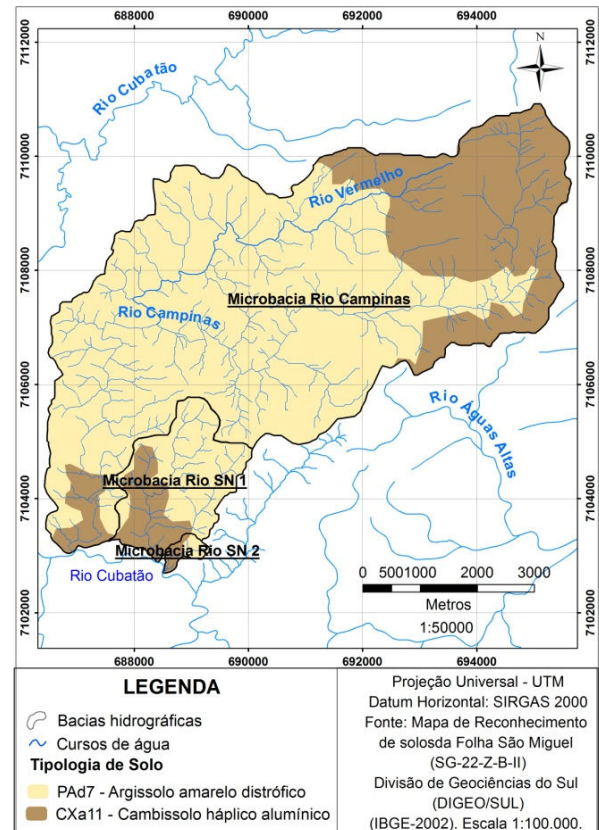


Figura 3.7. Mapeamento pedológico da área em estudo. Fonte: IBGE, 2002.

### 3.1.3. Vegetação

A BHRCN situa-se em área de domínio do Bioma Mata Atlântica, com ocorrência das variações de Floresta Ombrófila Densa, e da Floresta Ombrófila Mista, além das formações pioneiras de influência marinha, fluvial e fluviomarina, e campos de altitude (TREIN, 2002). Especificamente nas bacias do rio Campinas, rio SN1 e SN2, cujos patamares altimétricos variam de 720 metros (foz dos rios SN1 e SN2) a 1320 metros (região de cabeceira do rio Campinas), há ocorrência das formações Floresta Ombrófila Densa Montana, Floresta Ombrófila Densa Altomontana e campos de altitude, alternando essas formações, na sequência descrita, de acordo com a elevação da altitude.

Verifica-se, em alguns pontos da área em estudo, sobretudo na porção oeste da bacia do Rio Campinas, a ocorrência de formações vegetais com características de Floresta Ombrófila Mista, marcada pela presença de araucárias (*Araucaria*

*angustifolia*). Desta forma, a vegetação natural das bacias do rio Campinas, rio SN1 e rio SN2 é caracterizada por ecótonos entre as formações da Floresta Ombrófila Densa (Montana e altomontana), campos de altitude e Floresta Ombrófila Mista.

Nas classificações de uso do solo e cobertura vegetal da área em estudo foram identificadas 10 tipologias de uso e cobertura vegetal (Figura 3.8), caracterizados conforme segue:

- Campos de altitude – vegetação típica de ambientes montano e alto-montano, com estrutura herbácea ou herbáceo/arbustiva, que ocorre geralmente nas serras de altitudes elevadas e nos planaltos, sob clima tropical, subtropical ou temperado, caracterizando-se por comunidades florísticas próprias (SANTA CATARINA, 2008, Art. 2º - III);
- Floresta Nativa – vegetação primária ou secundária em estágio médio a avançado de regeneração das formações Floresta Ombrófila Densa Montana, Floresta Ombrófila Densa Altomontana e Floresta Ombrófila Mista.
- Pinus comercial – área de reflorestamento com plantio regular, ou seja, desenvolvidos em áreas permitidas por lei, podendo ser exploradas normalmente para fins comerciais;
- Pinus (APP) – plantios de pinus irregulares em áreas de preservação permanente (APP) no entorno de nascentes e cursos de água;
- APP Preservada: áreas de preservação permanentes no entorno de nascentes e cursos de água mantidas com formações vegetais nativas primárias ou secundárias em estágios de regeneração inicial avançado (próximos ao estágio médio de sucessão), médio ou avançado.
- Área em Recuperação (APP): antigas áreas de plantios de pinus irregulares em áreas de preservação permanente, em que foram implantadas as técnicas de recuperação do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD).
- Solo exposto/pouco coberto: áreas que possuíam plantio de Pinus comercial e passaram por etapa de corte raso recentemente, predominando áreas de solo exposto ou com baixa densidade de cobertura vegetal herbácea, ou mesmo com resíduos da colheita.
- Capoeirinha: áreas em recuperação, com processo de sucessão vegetal classificado como segunda fase pelo Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992). Foi classificada com base em aspectos visuais nas imagens de fotoaéreas e visitas a campo, identificados por apresentar cobertura vegetal predominantemente herbácea e arbustiva, com recobrimento total do solo (ou próximo a esta condição), geralmente com presença de espécies arbóreas pioneiras pouco desenvolvidas.
- Estradas: áreas de estradas florestais não pavimentadas;

- Banhado: áreas alagadas (várzeas).

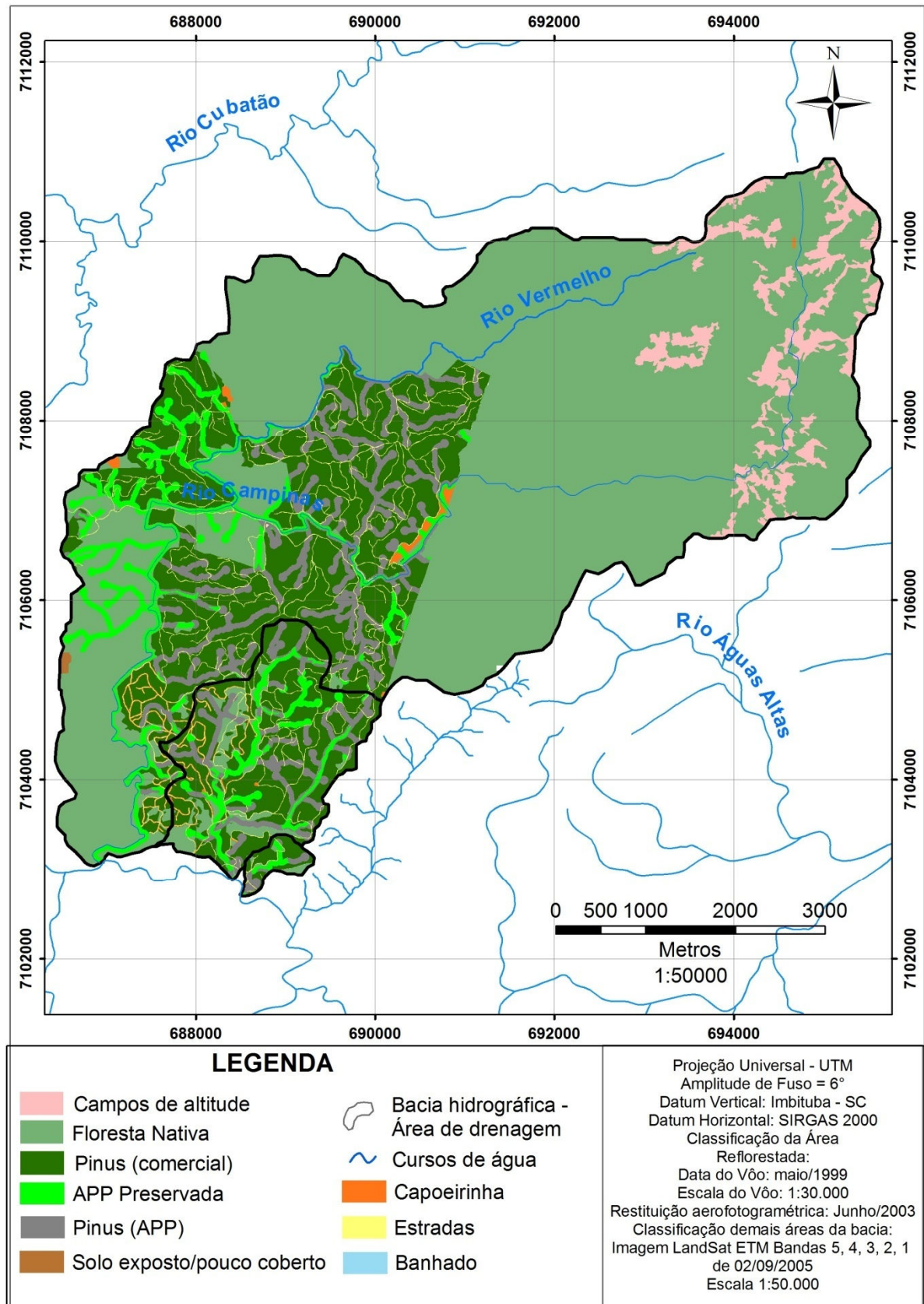


Figura 3.8: Cobertura vegetal da área em estudo (período anterior ao corte).

### 3.2. PONTOS DE AMOSTRAGEM E MODELO COMPARATIVO

Para avaliar a influência sobre a qualidade de água superficial da atividade de corte raso de pinus plantados em Áreas de Preservação Permanente (APP), e do processo de recuperação dessas áreas, foram utilizados os mesmos pontos de monitoramento adotados por Guimarães *et al.* (2010), como também os mesmos parâmetros, modificando apenas o modelo de comparação dos dados.

Guimarães *et al.* (2010) tiveram como objetivo avaliar se a atividade de silvicultura apresentava riscos à qualidade de água do rio Cubatão do Norte, visto que a atividade localiza-se a montante do ponto de coleta de água para abastecimento público dos municípios de Joinville e Araquari. Desta forma, a estratégia de amostragem, coleta de dados e análise dos resultados foram direcionadas para um modelo comparativo entre áreas de drenagem com influência de reflorestamento de pinus e áreas sob influência apenas de floresta nativa.

A partir deste modelo de avaliação, os autores definiram os pontos de monitoramento. Identificaram que o principal curso de água que atravessa a área de reflorestamento, o rio Campinas, em sua porção a montante da fazenda, é ocupado apenas por vegetação nativa preservada. Estabeleceu-se então dois pontos de monitoramento no rio Campinas, o Ponto 1 (P1), a montante da área de reflorestamento, e o Ponto 2 (P2), a jusante (Quadro 3.1, Figura 3.9).

Em seguida foram definidas quatro microbacias experimentais que possuem suas nascentes e foz no interior da fazenda com manejo florestal (Figura 3.9). Três delas foram definidas de acordo com o tempo de plantio dos projetos de reflorestamento: projeto de *Pinus taeda* plantados em 1999 (Ponto 3); *Pinus taeda* plantados em 1991 (Ponto 4 – M4); *Pinus taeda e elliottii* plantados no início da década de 70 (Ponto 5 – M5). A quarta microbacia experimental foi definida como padrão para o comparativo com as demais, sendo ocupada por floresta nativa (Ponto 6 – M6). Em todos os seis pontos de coleta de água superficial foram tomadas as coordenadas métricas (UTM) com o auxílio do aparelho receptor do Sistema de Posicionamento Global – GPS conforme a Quadro 3.1.

Quadro 3.1. Localização geográfica dos pontos de monitoramento

Pontos	Bacia/microbacia	Uso do Solo predominante	Coordenadas UTM (Fuso 22S)	
			X	Y
P1	Rio Campinas	Floresta Nativa - Montante Reflorestamento	690913,157	71073331,99
P2	Rio Campinas	Jusante do Reflorestamento	687445,972	7105444,779
M3	Afluente rio Campinas	<i>Pinus taeda</i> de 1999	689775,697	7106677,227
M4	Rio SN1	<i>Pinus taeda</i> de 1991	688778,578	7104534,784
M5	Rio SN2	<i>Pinus taeda</i> e <i>elliottii</i> de 1971	0688833,956	7103034,956
M6	Afluente rio Campinas	Floresta nativa	688483,318	7106969,286

Visando diferenciar os pontos de monitoramento sobre o rio Campinas dos pontos de monitoramento nas microbacias experimentais e facilitar a identificação destes no decorrer do texto, optou-se por utilizar o código “P” para os pontos localizados no rio Campinas e “M” para as microbacias, conforme demonstra a Quadro 3.1.

Guimarães *et al.* (2010) executaram o plano de monitoramento entre o período de setembro de 2005 a dezembro de 2009, com periodicidade de coletas mensal. A partir de janeiro de 2010, o enfoque da pesquisa foi modificado para atender os objetivos propostos no presente trabalho, devido à execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), que teve início em agosto de 2008, visando à remoção da vegetação exótica das APP e recuperação ambiental destas áreas. Conforme dito anteriormente, os trabalhos de campo e as análises de qualidade de água, que serão detalhados na sequência, foram mantidos com a periodicidade mensal e nos mesmos 6 pontos de monitoramento até junho de 2011; todavia, a forma de comparação e discussão dos resultados foram modificadas.

Para avaliar o efeito da execução do PRAD em APP's realizou-se a comparação dos dados do monitoramento nos períodos anterior e posterior ao corte dos pinus, visando identificar diferença nos padrões de comportamento entre os parâmetros de qualidade de água e vazão antes e depois do corte, com auxílio de técnicas de análise multivariada dos dados.

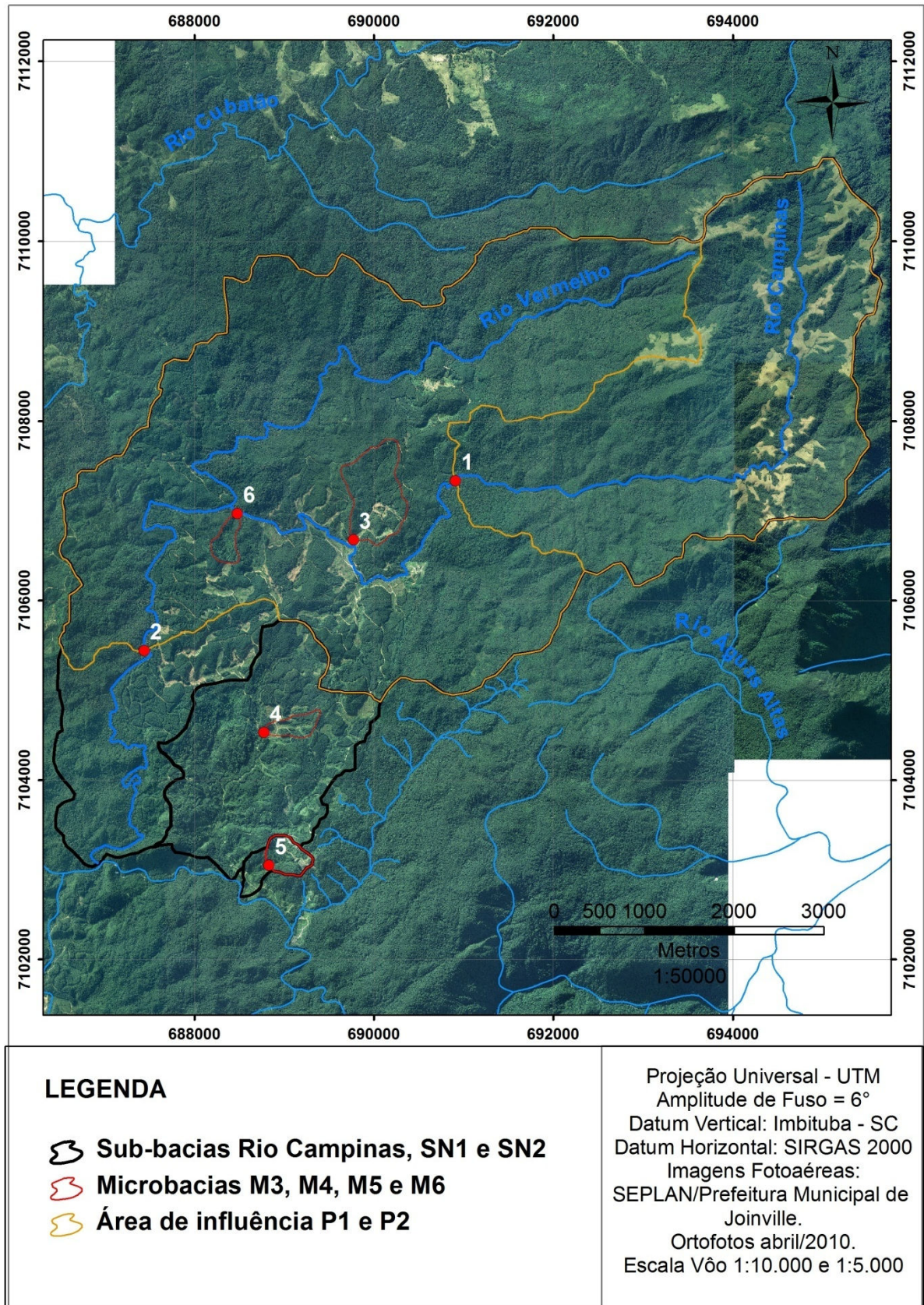


Figura 3.9 Localização dos pontos de monitoramento de qualidade de água.

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL DO USO DO SOLO

Foram realizadas duas classificações de uso e ocupação de solo representando dois momentos distintos da fase de monitoramento de qualidade de água nas microbacias experimentais. Classificação para o ano de 2005, caracterizando o período anterior ao processo de conversão dos pinus em APP para vegetação nativa, e 2011, referente ao período posterior. O início das atividades do Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), cuja primeira etapa foi a remoção das espécies exóticas plantadas em APP, deu-se em agosto de 2008.

A empresa responsável pelo manejo do reflorestamento faz a gestão de suas áreas com ferramentas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e executa periódicas atualizações em sua base cartográfica, geralmente logo após o desenvolvimento de atividade silviculturais ou de manutenção em suas fazendas. Desta forma, dentro dos limites da área de reflorestamento, a classificação de uso do solo para os dois períodos foi obtida com facilidade. Todavia, a área em estudo não se limita a propriedade da empresa, como pode ser observado na Figura 3.10.

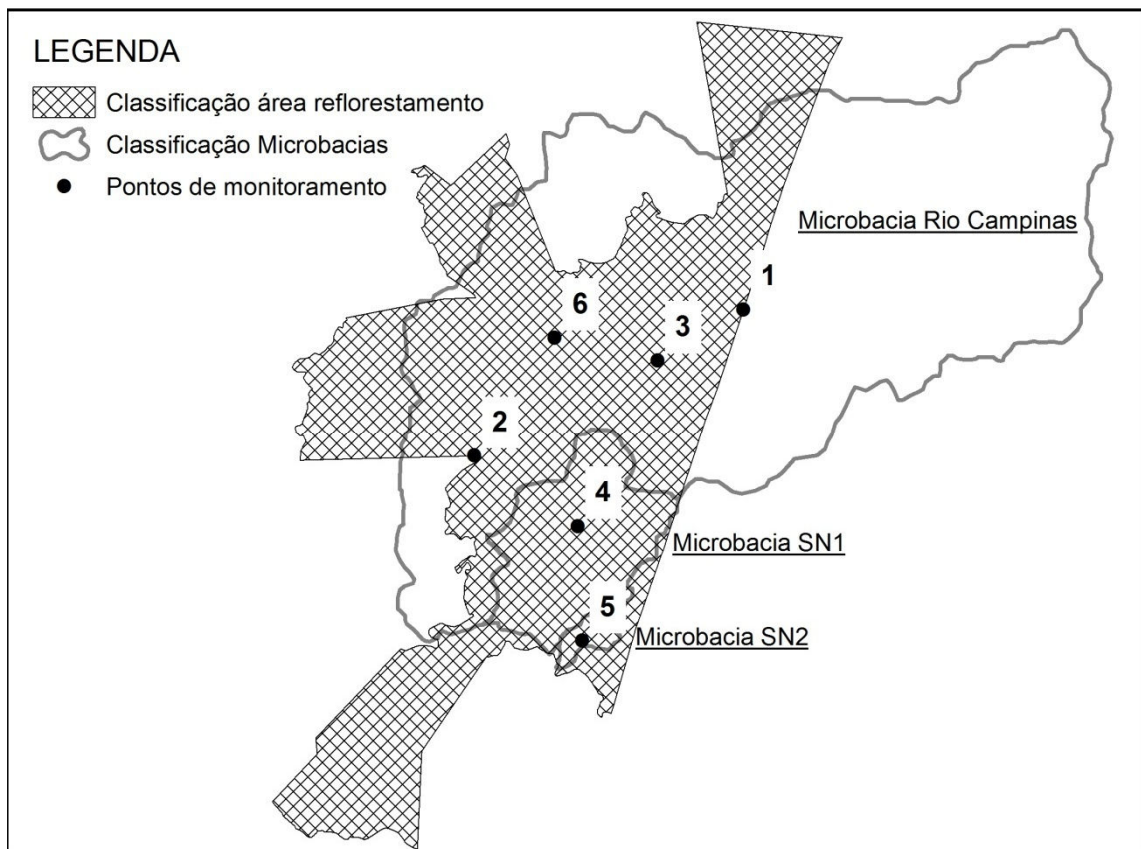


Figura 3.10. Bases cartográficas para classificação dos mapas de uso do solo. Fonte: Guimarães

Em vista disso, a classificação do uso do solo procedeu-se em duas etapas: (1) Utilização de imagens de satélite ou fotoaéreas ortorretificadas para classificação do uso do solo da bacia do rio Campinas, bacia SN1 e bacia SN2; (2) Compilação das informações do mapa de uso do solo disponibilizado pela empresa no mapa classificado na primeira etapa, através da ferramenta *union* do ArcMap 9.3, mantendo as informações do mapa da empresa nos polígonos unificados. Este procedimento foi executado tanto para classificação para a classificação de 2005 quanto para a classificação de 2011. A articulação das duas bases cartográficas consta na Figura 3.10.

A determinação do ano de 2005 para representar a condição de uso e ocupação de solo no período anterior ao evento do corte de pinus em APP, e 2011 para o período posterior deu-se em função da disponibilidade de imagens para a classificação das bacias e microbacias, e da atualização da base cartográfica da área de reflorestamento.

A classificação das bacias no período anterior ao corte foi realizada com imagem de satélite Landsat ETM, bandas 5, 4, 3, 2 e 1 de 02/09/2005, com resolução espacial de 30 metros. Apesar da resolução espacial da Landsat não ser a mais adequada para a escala empregada na caracterização de uso de solo, que foi de 1:50.000, pode ser empregada nesta classificação tendo em vista que a bacia do rio Campinas se mantém preservada fora dos limite da fazenda reflorestada, ou seja, possui apenas vegetação nativa e não demanda maior detalhamento.

A base cartográfica da área do reflorestamento, disponibilizada pela empresa, foi obtida com a classificação das ortofotos pancromáticas (preto e branco), do levantamento aéreo executado em 1999, escala do vôo de 1:30.000, com restituição aerofotogramétrica realizada em junho de 2003. Ou seja, representa a condição de uso e ocupação de solo em 2003. Entre 2003 e 2008, não foram realizadas atividades silviculturais na área do reflorestamento, sendo representativa, portanto, do período anterior ao corte dos pinus em APP.

A classificação das bacias de 2005 e a classificação da área do reflorestamento de 2003 foram unificadas para representar o mapa de uso de solo de 2005.

A classificação da área em estudo no período posterior ao corte foi executada com ortofotos coloridas de abril de 2010, disponibilizada pela Secretaria de Planejamento e Gestão (SEPLAN) do município de Joinville, em escalas de vôo 1:5.000 e 1:10.000 (SEPLAN, 2010). Estas imagens classificam a área da bacia do rio Campinas que não compreende a área do reflorestamento, como pode ser visualizado na Figura 3.10.

Para representar o uso do solo do período posterior ao corte referente à área do reflorestamento, foi utilizada a base cartográfica executada a partir de ortofotos coloridas do levantamento fotoaéreo de maio de 2010, escala 1:30.000, atualizada em junho de 2011. As duas classificações foram unificadas para formar o mapa de uso do solo de 2011, período posterior ao corte dos pinus em APP.

### 3.3.1. Histórico das atividades silviculturais

O histórico das atividades silviculturais desenvolvidas no período do monitoramento de qualidade de água foi disponibilizado pela empresa que administra o reflorestamento, em arquivos vetoriais, com a identificação da atividade realizada, área, data de início, data de conclusão, e a localização dos talhões.

O acompanhamento das atividades desenvolvidas na área reflorestada é necessário para subsidiar as discussões dos resultados do monitoramento de qualidade de água, avaliando o comportamento dos parâmetros em eventos de corte raso, desbastes, manutenção de estradas, e demais atividades.

Com intuito de concentrar as informações levantadas na análise temporal de uso do solo e no histórico das atividades silviculturais, confeccionou-se o gráfico que relaciona as atividades de corte e implementação do processo de recuperação das áreas de preservação permanente, utilizando como escala de tempo as coletas realizadas no período (Figura 3.11). Os períodos em que não houve atividades nas áreas de influência direta de cada ponto de monitoramento (área de drenagem) foram caracterizados como “sem perturbação”. Representam o período Anterior ao Corte.

Foram identificadas as atividades de corte de pinus em APP, corte de pinus comercial e o período de recuperação destas áreas. Com base na síntese das atividades silviculturais realizadas durante o período de monitoramento foram definidas as coletas pertencentes ao período anterior e posterior ao corte dos pinus em APP para cada ponto de monitoramento ou microbacia experimental.

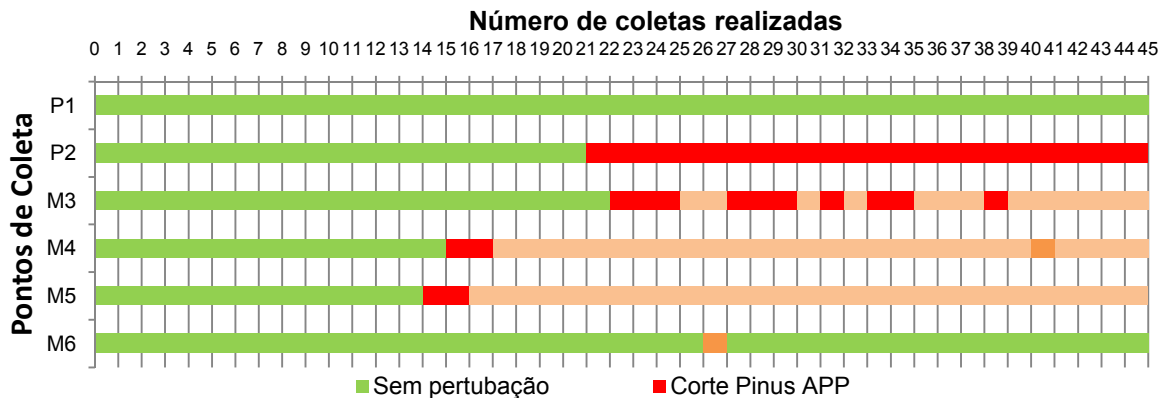


Figura 3.11. Atividades silviculturais realizadas durante o período de monitoramento.

### 3.4. PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS (PRAD)

O plano de recuperação de áreas degradadas executado na área em estudo visando à conversão das áreas de preservação permanente com plantio de pinus, para vegetação nativa, está sintetizado no Quadro 3.2 e na Figura 3.12.

Quadro 3.2. Síntese das técnicas e atividades empregadas no PRAD.

Atividades	Objetivos e Metas
Demarcação áreas de Preservação Permanente	Demarcar as áreas para a retirada de Pinus da APP e restauração das mesmas através de técnicas combinadas de Plantio, poleiros e serapilheiras
Retirada de Espécie Exótica da APP	Remover as espécies exóticas presentes nas APP's de forma planejada e com técnicas apropriadas para minimizar as perturbações nestas áreas de fragilidade natural.
Seleção das Espécies Vegetais de Maior Interesse	Escolha de espécies vegetais de ocorrência regional, principalmente as espécies pioneiras e colonizadoras de novas áreas.
Plantio de Espécies nativas	Aceleração do processo de restauração de Áreas Degradadas, com a manutenção da diversidade florestal.
Poleiros	Implantação de poleiros artificiais visando atrair a avifauna local, que possui papel importante na recuperação de áreas degradadas através da dispersão de sementes.
Poleiros e plantio de nativas	Combinação de poleiro e plantio de espécies nativas, com o objetivo de acelerar o processo de restauração nas áreas mais críticas.
Transposição de serapilheira	Compreende o material de origem vegetal (folhas, flores, ramos, cascas, frutos e sementes) e, em menor proporção, o de origem animal (restos animais e material fecal) depositado na superfície do solo de uma floresta. Constitui fonte de nutrientes e matéria orgânica para fertilização do solo e banco de sementes
Manutenção das áreas já recuperadas	Após implantação das técnicas de Recuperação de Área Degradada, estas requerem procedimentos operacionais de manutenção, que tem a finalidade de criar um habitat propício para o desenvolvimento das espécies plantadas, eliminando todo e qualquer impedimento ao desenvolvimento das mudas.



Figura 3.12. Execução do PRAD em APP. (1 e 2) Supressão das espécies exóticas situadas em APP's; (3) Transposição do resíduo em curvas de nível para contenção da água da chuva evitando o processo erosivo e possibilitando a recuperação da área. (4) Limpeza do resíduo florestal através da implantação da técnica "transposição de galhadas" para facilitar a recuperação com plantio de nativas. (5) Alinhamento, identificação e Plantio de Nativas; (6) Plantio de Nativas – Aroeira - *Schinus terebinthifolius*. Fonte: PRAD – Comfloresta, 2008.

### 3.4.1. Demarcação das Áreas de Recuperação

A definição das faixas de área de preservação permanente baseou-se na determinação do Artigo 2 da Lei Federal 4771, de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965), alterada pela lei Federal nº 7.803 de 18 de julho de 1989 (BRASIL, 1989), onde constam:

“Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) Ao longo dos rios ou de qualquer curso d’água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:

1 – de 30 (trinta) metros para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura;

2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

3 - de 100 (cem) metros para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d’água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

(...)

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados “olhos d’água”, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

(...)”

Na área em estudo há ocorrência de cursos de água somente com largura até 10 metros de largura, com exceção do rio Campinas, nas proximidades de sua foz. A demarcação consistiu em delimitar topograficamente as faixas de 30,00 metros para corpos d’água com largura de até 10,00 metros, e 50,00 metros ao redor das nascentes e vertentes. Esta atividade foi realizada com apoio de aparelho GPS, trena e fitas ou marcadores de madeira para identificação dos limites externos destas áreas nos talhões.

### 3.4.2. Técnicas empregadas na remoção das espécies exóticas

Visando a minimização dos impactos negativos ao ambiente na etapa de remoção das espécies exóticas das APP’s, o processo de colheita dos pinus foi realizado da seguinte maneira:

- a) Planejamento da colheita: antes do início da operação de corte foram verificados os procedimentos operacionais para cada situação, principalmente em relação à inclinação do terreno, presença de vegetação nativa remanescente, posicionamento de rios e nascentes, tipo de solo e condições climáticas (chuva, vento) no momento da derrubada;
- b) Corte da vegetação de pinus nas áreas de APP foi realizado com motosserra. Através da utilização de diversas técnicas de derrubada (Técnicas de Segurança) é realizado o direcionamento das árvores a serem cortadas preferencialmente para o lado oposto aos corpos d'água e nascentes bem como de árvores nativas.
- c) Arraste da madeira: devido à inclinação do terreno, distância até o estaleiro, tipo de solo e situação do plantio (idade, galhada, etc) é necessária à utilização de tração mecânica e/ou animal para causar o menor impacto possível. Os tratores tem guincho com cabo de aço acoplado para que se reduza o acesso a estas áreas minimize o impacto ambiental neste processo de adequação.

### 3.4.3. Técnicas de recuperação

O PRAD executado na área em estudo é composto por combinações de técnicas de recuperação de áreas degradadas, compreendendo plantio de espécies nativas da região, instalação de poleiros artificiais, enleiramento de resíduos para abrigo de fauna e transposição de serapilheira.

#### 3.4.3.1. Poleiros

Aves e morcegos são os animais mais efetivos na dispersão de sementes, principalmente quando se trata de transporte entre fragmentos de vegetação. Propiciar ambientes para que estes animais possam pousar, constitui uma das

formas mais eficientes para aumentar o aporte de sementes em áreas degradadas (Reis *et al.* 2003). Holl (1999) considera as baixas taxas de chegada de sementes como o principal fator limitante da regeneração de áreas degradadas.

McClanahan & Wolfe (1993) verificaram que em área altamente fragmentada, os poleiros para avifauna (árvores mortas erguidas) aceleraram a sucessão inicial, aumentando a diversidade de espécies e a quantidade de sementes em 150 vezes, principalmente de espécies pioneiras.

Esta técnica potencializa a regeneração natural da vegetação que ocorre de maneira espontânea e em grande intensidade.

### 3.4.3.2. Plantio de espécies nativas

O plantio foi realizado com espaçamento irregular, mas com densidade de ocupação espacial de 500 mudas por hectare. O coveamento foi realizado nas áreas já limpas (coroadas). A dimensão da cova variou conforme o tamanho da parte radicular. As espécies e quantidades efetivamente plantadas, considerando a área total em recuperação na fazenda, estão relacionadas no Quadro 3.3.

Quadro 3.3. Espécies selecionadas para recuperação ambiental.

NOME VULGAR	NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA	Hábito	Quantidade
Araçá	<i>Psidium catlenianum</i>	Myrtaceae	ST	3.500
Araucaria	<i>Araucaria angustifolia</i>	Araucariaceae	CL	2.600
Aroeira	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anarcadiaceae	PI	3.400
Canela	<i>Nectandra lanceolata</i>	Lauraceae	ST	600
Canela guaicá	<i>Ocotea puberula</i>	Lauraceae	SI	2.700
Canela amarela	<i>Nectandra megapotamica</i>	Lauraceae	SI	300
Canela de porco	<i>Cryptocarya maschata</i>	Lauraceae	ST	400
Cedro-rosa	<i>Cedrela fissilis</i>	Meliaceae	PI	500
Corticeira	<i>Erythrina falcata</i>	Papilionaceae	PI	400
Camboatá	<i>Matayba elaeagnoides</i>	Sapindaceae		500
Bracatinga	<i>Mimosa scabrella</i>	Mimosaceae	PI	4.730
Miguel pintado	<i>Matayba spp</i>	Sapindaceae		400
Ariticum	<i>Rollinia silvatica</i>	Annonaceae	SI	3.500
Erva mate	<i>Ilex paraguariensis</i>	Aquifoliaceae	ST	2.500
Pessegueiro Bravo	<i>Prunus sellowii</i>	Rosaceae	PI	3.500
Tucaneiro	<i>Cytarexylum myrianthum</i>	Verbenaceae	PI	400
Total para plantio em 40,66 ha				29.930

PI = Pioneira SI = Secundária Inicial ST = Secundária Tardia CL = Climax

A seleção e o agrupamento de espécies, para a composição das Linhas de plantio, ficaram condicionados à disponibilidade de mudas. As espécies selecionadas possuem características diversas, desde pioneiras até com características de espécies clímax, visto que serão plantadas em condições internas de uma formação secundária, parcialmente alterada ou entre vegetação rasteira, herbáceas, gramíneas e ruderais.

As variações na composição das linhas de plantio visam tentar estabelecer uma quebra de padrão para buscar a similaridade e o equilíbrio fitossociológico, estabelecendo diversas relações entre as espécies eleitas para recompor a área em questão. Trata-se de uma tentativa de aproximação ao “mix” natural, intensificando a participação de espécies pioneiras para garantir a formação de um primeiro estágio na sucessão de espécies.

#### 3.4.3.3. Uso de serapilheira

A utilização desse material proporciona a entrada de sementes, através do banco de germoplasma e também de Carbono orgânico, nutrientes, microfauna e microorganismos imprescindíveis para que uma área volte ao estado de maior semelhança aos encontrados originalmente.

Para a coleta da serapilheira nos segmentos florestais fonte retira-se apenas uma percentagem do material já que o objetivo não é degradar um local em detrimento de outro. A área a ser aplicada a serapilheira deve apresentar características com a maior semelhança possível com o fragmento fonte, quanto à altitude, exposição solar e posição topográfica no relevo.

O uso da serapilheira não foi adotado em toda área em recuperação, pois sua função é criar pequenas ilhas, procurando formar uma vegetação com espécies encontradas na flora local, buscando uma harmonia paisagística.

#### 3.4.3.4. Transposição de galhadas

Esta técnica busca conciliar o uso dos resíduos disponibilizados na área, provenientes da colheita floresta e a preparação da área para a implantação de outras técnicas como o plantio de espécies nativas. Para a recuperação de uma área degradada qualquer fonte de matéria orgânica disponível é de excelente uso.

Nessa técnica a galhada restante da exploração florestal é agrupada, formando núcleos de biodiversidade básicos para o processo da recuperação. Estes núcleos no campo além de fornecer matéria orgânica ao solo, servem de abrigo, gerando microclima apropriado a diversos animais. Roedores, cobras e avifauna podem, ainda, utilizá-las para alimentação devido à presença de coleópteros (REIS, 2006).

#### 3.4.3.5. Manutenção das áreas de recuperação ambiental

As manutenções são realizadas devido ao desenvolvimento de ervas daninhas que vem a prejudicar o crescimento das mudas implantadas no processo de recuperação.

Para as áreas de plantio são realizados leve coroamento, diminuindo assim a competição por água, luz e nutrientes, garantindo o desenvolvimento e a eficiência do plantio na recuperação da área.

As áreas onde foram inseridas outras técnicas são feitas processos de controle de dispersão de exóticas.

Juntamente com a primeira manutenção é realizado o Replantio, dando preferência a espécies secundária, que tem melhor desenvolvimento no ambiente formado pelas espécies pioneiras.

### 3.5. COLETA DE DADOS DE ÁGUA

Foram realizadas 47 campanhas de campo para coleta de dados de vazão e amostragens de água para análise dos parâmetros físicos e químicos no período compreendido entre fevereiro de 2007 e junho de 2011 (12 parâmetros de qualidade de água por ponto amostral). As amostragens dos cursos de água superficiais monitorados foram realizadas conforme as técnicas dispostas na NBR 9898 de 1987 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1987a; ABNT 1987b).

Não foram utilizados os dados levantados entre setembro de 2005 e dezembro de 2006, porque não contemplavam as análises de Nitrogênio total, nitrato, fósforo total e potássio. Estes parâmetros foram incluídos ao monitoramento em 2007.

#### 3.5.1. Parâmetros de qualidade de água

Os parâmetros temperatura (TC), oxigênio dissolvido (OD), pH e condutividade elétrica (CE) foram analisados *in situ* através de um aparelho multiparâmetro. Em laboratório, analisaram-se os parâmetros físicos turbidez (TB), sólidos dissolvidos totais (SD), sólidos suspensos totais (SS) e os parâmetros químicos demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (NT) nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), fósforo total (PT) e potássio (K).

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Meio Ambiente da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE. A escolha do laboratório da Univille se baseou na proximidade com a área de coleta, cerca de 120 km mais próximo quando comparado aos laboratórios da Universidade Federal do Paraná - UFPR, de modo a garantir a preservação das amostras.

As metodologias das análises seguiram as técnicas referenciadas no Standard Methods conforme descreve a Tabela 3.1. Os parâmetros  $\text{NO}_3^-$ , N, K, P totais foram quantificados por espectrofotometria.

Tabela 3.1. Métodos empregados nas análises dos parâmetros.

Parâmetro	Método	Referência	Faixa de Detecção
Temperatura da água (T)	Medição <i>in situ</i> – Oxímetro digital	-	0,0 - 50,0 °C
pH	Medição <i>in situ</i> – pH de campo	-	0,0 – 14,0
Condutividade Elétrica (CE)	Medição <i>in situ</i> – Condutímetro	-	0,0 – 1990 $\mu\text{S.cm}^{-1}$
Oxigênio Dissolvido (OD)	Medição <i>in situ</i> – Oxímetro digital	-	0,00 – 45,00 $\text{mg.L}^{-1}$
DBO	Winkler, incubação por 5 dias a 20°C; Determinação do OD por oxímetro, com agitação de 2m/s	4500 – O C e 5210 B Standard Methods (APHA, 1998)	> 1,0 $\text{mg.L}^{-1}$
Turbidez (TB)	Turbidímetro portátil 2100P (HACH) (Nephelometric Method)	Method 214A (APHA, 1998)	0,1 – 800 NTU
Sólidos Dissolvidos Totais (SD)	Método de secagem a 180 °C	2540 C Standard Methods (APHA, 1998)	< 200mg de resíduos
Sólidos Suspensos Totais (SS)	Método de secagem a 103 – 105 °C	2540 D Standard Methods (APHA, 1998)	< 200mg de resíduos
Nitrogênio Total (NT)	Método digestão Persulfato - Colorimétrico (HACH DR4000)	4500-N Nitrogen Standard Methods (APHA, 1998)	0 a 25 $\text{mg.L}^{-1}$ N
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Método Redução de Cadmio – Colorimétrico (HACH DR4000)	4500 - NO3 - E Standard Methods (APHA, 1998)	0 a 30,0 $\text{mg.L}^{-1}$ N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Fósforo Total (P)	Método ácido ascórbico - Colorimétrico (HACH DR4000)	4500-P E. Standard Methods (APHA, 1998)	0 a 3,5 $\text{mg.L}^{-1}$ P
Potássio (K)	Tetrafenilborato de sódio - Colorimétrico (HACH DR4000)	PFLAUM & HOWICK (1956)	0 a 7,0 $\text{mg.L}^{-1}$ K

Fonte: Adaptado de França (2009).

### 3.5.2. Medição de vazão

Para avaliar a vazão em cada ponto de monitoramento, empregou-se o método de meia seção proposto por Santos *et al.* (2001), por meio de um perfil transversal dos canais fluviais a serem monitorados. Neste método, a medição da vazão (Q) é dada pela tomada da largura do rio, assim como de suas profundidades em intervalos regulares (verticais) estabelecidos segundo sua largura (Tabela 3.2). Nas mesmas verticais são

medidas as velocidades médias ( $V_m$ ) do fluxo hídrico em toda a coluna d'água. Calculam-se as áreas dos segmentos ( $A$ ) correspondentes às adjacências das verticais, que são multiplicadas pelos valores de velocidade média de cada vertical, obtendo-se vazões parciais ( $Q_p = A \times V_m$ ). A vazão total é obtida pela soma das vazões parciais ( $Q_t = Q_{p1} + Q_{p2} + \dots + Q_{pn}$ ). Figura 3.13 apresenta o esquema de cálculo do método da meia seção.

Para medição da largura dos cursos de água foi utilizada fita métrica com 30 metros de extensão, e a altura das seções e a velocidade média do fluxo hídrico foi obtida com auxílio do correntômetro (molinete) (Figura 3.14).

Para o cálculo da vazão no córrego do ponto de monitoramento 6 – Floresta Nativa aproveitou-se de um vertedouro natural existente em seu leito, conforme demonstra item 3 da Figura 3.14, que concentrava o fluxo de água do córrego em uma pequena seção. A largura média da seção durante o período de monitoramento, considerando o perímetro molhado, foi 0,16 metros. O cálculo da vazão ( $Q$ ) foi obtido através do produto da largura da seção do perímetro molhado ( $L$ ), a altura da lâmina de água ( $H$ ) e a velocidade média do fluxo hídrico ( $V_m$ ).

Tabela 3.2. Distâncias entre verticais utilizadas em cada ponto de monitoramento.

Ponto de Monitoramento	Largura média do curso de água (m)	Distâncias entre verticais (m)
P1	5,13	0,75
P2	8,84	1,00
M3	1,02	0,20
M4	1,12	0,20
M5	0,67	0,15
M6*	-	-

\*Medição efetuada em uma seção única, com largura média de 0,16m.

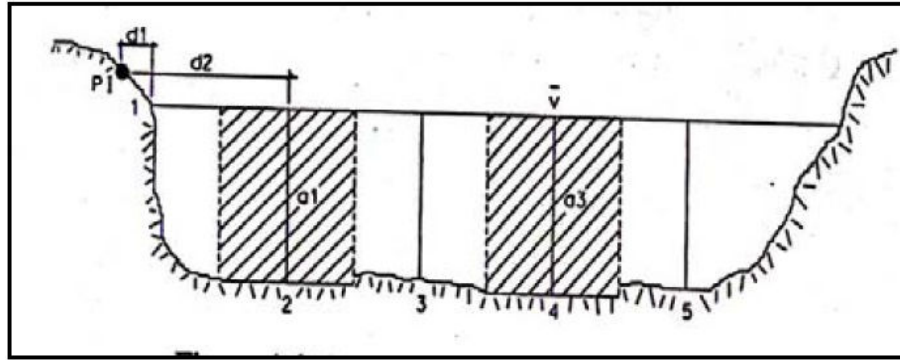


Figura 3.13. Esquema de cálculo da meia secção. Fonte: Santos *et al.* 2001.



Figura 3.14: Coleta de dados primários para cálculo de vazão. (1) Medição da velocidade média ( $v_m$ ) do fluxo hídrico em uma determinada vertical em córregos pequenos (Ponto 5); (2) Identificação do espaçamento regular entre verticais (0,75cm para este caso – Ponto 1), para posterior medição da altura ( $a_n$ ) e  $v_m$  da vertical subsequente; (3) Coleta de dados no vertedor natural, córrego Ponto 6.

### 3.5.3. Obtenção de dados pluviométricos

A precipitação pluviométrica desempenha papel fundamental na variação temporal dos aspectos físicos e químicos das águas superficiais, principalmente em microbacias com uso do solo predominantemente agroflorestais. O evento da precipitação desencadeia processos de dissolução, lixiviação e carreamento de substâncias químicas, dissolvidas ou em suspensão, desde o início de sua formação e queda na atmosfera até o escoamento superficial, incorporando as características dos diversos componentes do uso do solo submetidos ao contato com a água da chuva.

Evidentemente, para a precipitação pluviométrica influenciar na composição química da água fluvial é necessário alcançar um volume que resulte em escoamento superficial, superando os volumes retidos pela interceptação, retenção na serapilheira, infiltração, acúmulo em depressões, entre outros. Desta forma, o monitoramento de dados pluviométricos é essencial para os estudos de qualidade de água.

O acompanhamento dos volumes precipitados durante a execução do monitoramento de qualidade de água foi realizado com intuito de subsidiar a análise dos resultados. Utilizou-se os dados de precipitação mensal e precipitação 48 horas anteriores de cada campanha de campo da Estação Pluvio-fluviométrica Abaeté que se localiza próximo à foz dos rios Campinas, SN1 e SN2 (Figura 3.15).

Nos meses de março e abril de 2007, abril e maio de 2009, e entre abril e dezembro de 2010, a estação Abaeté apresentou problemas na coleta de dados de precipitação, e foi necessário utilizar informações de outras estações da região. Foram consultadas 6 estações pluviométricas do entorno da área em estudo, para identificar a fonte de dados com maior semelhança com aqueles registrados na estação Abaeté. A estação Salto 1, era a mais indicada por estar situada no mesmo setor topográfico que a Abaeté, porém não apresentou registros de dados no período desejado.

A Estação Quiriri – CCJ, localizada nas proximidades das escarpas da Serra do Mar, apresentou volumes de precipitação muito superiores ao registrado na fazenda Abaeté e não pode ser utilizada para substituir os eventos sem registros de dados.

As estações Pirabeiraba, Estrada do Saí e UDESC/UNIVILLE também apresentaram discrepância entre os registros de dados comparados ao Abaeté, como era esperado, já que estão dispostas na região de planície litorânea (Figura 3.15).

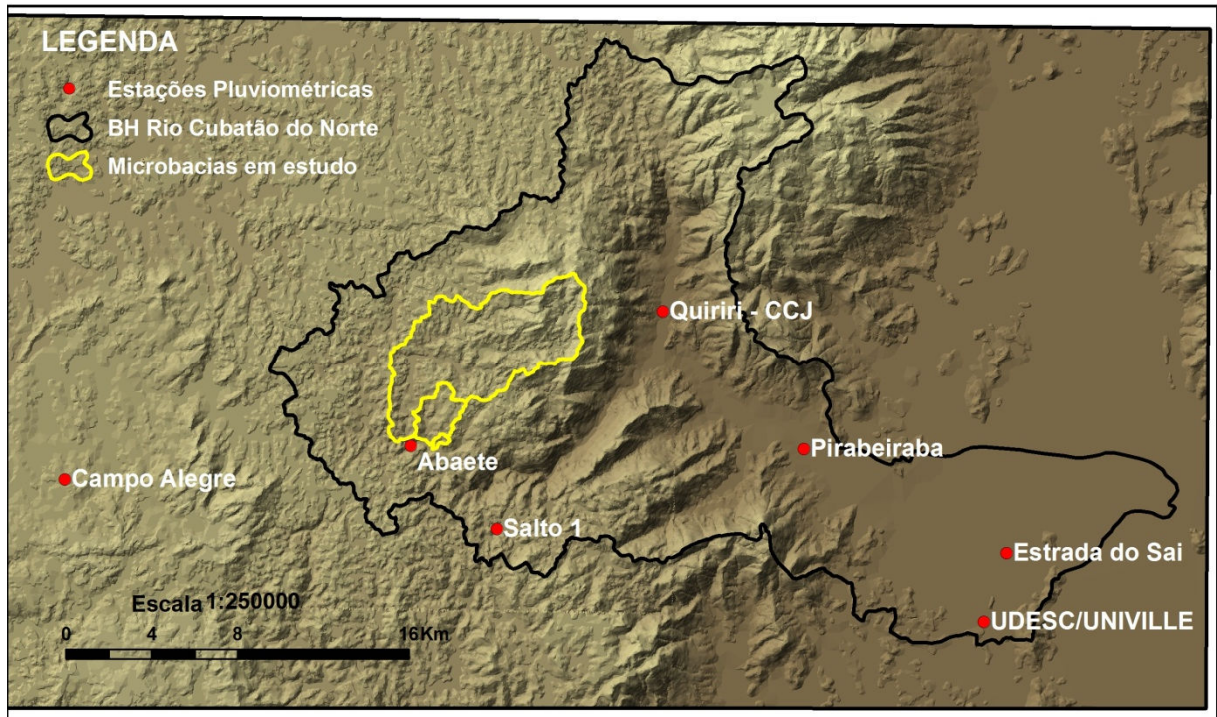


Figura 3.15. Localização das estações pluviométricas.

A estação pluviométrica que apresentou maior semelhança entre os dados de precipitação registrado na estação Abaeté foi a Campo alegre, localizada na região do planalto. Sendo assim, a estação pluviométrica Campo Alegre foi utilizada como fonte de dados adicionais para suprir os eventos sem registros de dados da estação Abaeté.

### 3.6. ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS

O monitoramento de qualidade de água desenvolvido entre fevereiro de 2007 a junho de 2011 gerou 6 matrizes de dados (ou vetores aleatórios) compostas, inicialmente, por 47 coletas (linhas) e 15 parâmetros (colunas), ou seja, 705 elementos por ponto de coleta, o que resulta em uma base de dados de 4230 elementos no total. Estas matrizes de dados se referem a 6 pontos amostrais, cada um com 12 parâmetros de qualidade de água, além de vazão, precipitação acumulada mensal e precipitação de 48 horas anteriores às campanhas de campo.

Devido ao tamanho dos vetores aleatórios buscaram-se na análise estatística multivariada ferramentas para avaliar os dados de qualidade de água, e investigar a influência da atividade do corte sobre os recursos hídricos superficiais.

Outro fator que conduziu à escolha da análise multivariada dos dados para avaliar a influência da implementação do PRAD na área em estudo é a característica dos parâmetros de qualidade de água de apresentar variação temporal, em geral, vinculada ao regime pluviométrico que, se não incorporado na análise, pode conduzir a erros graves na interpretação dos resultados.

Dentre as técnicas de análise estatística multivariada disponíveis, a análise de componentes principais, análise fatorial, análise de agrupamentos e análise discriminante estão sendo amplamente utilizados em estudos hidrológicos de instituições de pesquisas nacionais e internacionais nas duas últimas décadas (MAZLUM, *et al.*, 1999; PARINET *et al.*, 2004; SERAFIM *et al.*, 2006; FRANÇA, 2009; GARIZI, *et al.*, 2011).

Para esta pesquisa, utilizou-se a análise fatorial em função do potencial de simplificação da matriz de dados e a capacidade de identificar a relação entre os parâmetros de qualidade de água.

A análise fatorial foi aplicada com objetivo de identificar quais os parâmetros de qualidade de água sofreram maiores variações no decorrer do monitoramento e reconhecer o padrão de comportamento entre as variáveis, e correlacionar com as atividades desenvolvidas na área em estudo, cuja percepção é dispendiosa em uma análise estatística univariada e em análise gráfica de variação temporal.

### 3.6.1. Preparação para Análise Fatorial

A etapa de preparação dos dados para análise fatorial baseou-se na metodologia proposta por Hair *et al.* (2009), capítulo 2, onde os autores propõem os passos básicos para examinar a matriz de dados e ajustá-la para atender as suposições inerentes à maioria das técnicas multivariadas.

Foram realizados 5 passos nesta etapa de preparação dos dados, sendo eles: (1) avaliação e tratamento dos dados perdidos; (2) teste de normalidade; (3) transformação dos dados para alcançar normalidade (4) teste de esfericidade de Bartlett e (5) teste de adequacidade da amostra de Kaiser-Meyer-Okin (KMO).

### 3.6.1.1. Tratamento dos dados perdidos

Dados perdidos ou inconsistentes são corriqueiros em estudos de qualidade de água que envolve séries históricas extensas. Uma série de normatizações e procedimentos preventivos relacionados ao planejamento, preparação do material de coleta, calibração dos equipamentos, execução de amostragens de água e preservação das amostras são rigorosamente seguidos para evitar este tipo de problema. No entanto, monitoramentos de qualidade de água estão sujeitos a eventualidades de difícil previsão que acarretam na perda de dados.

Hair *et al.* (2009) estabeleceram 4 passos para minimizar os impactos dos dados perdidos: (1) determinar o tipo de dados perdidos; (2) determinar a extensão dos dados perdidos; (3) diagnosticar a aleatoriedade dos processos de perda de dados e (4) selecionar o método de atribuição dos dados perdidos.

Com relação ao tipo de dados perdidos, os autores classificam os dados perdidos em duas classes: dados perdidos ignoráveis e dados perdidos não-ignoráveis. Os dados perdidos ignoráveis são aqueles esperados e fazem parte do planejamento da pesquisa, e não afetam o resultado da análise dos dados. Os dados perdidos não-ignoráveis são aqueles gerados de forma inesperada, através de problemas de procedimentos ou processos desconhecidos, o que influencia, de alguma forma, os resultados da análise dos dados (HAIR *et al.*, 2009).

Para este caso, os dados perdidos foram classificados como não-ignoráveis, pois foram gerados por imprevistos durante as campanhas de campo ou procedimentos laboratoriais. O diagnóstico da condição qualitativa da água superficial é realizado através do conjunto dos parâmetros analisados em uma determinada coleta, e a ausência de registro de dados de algum parâmetro dificulta esta caracterização. Desta forma, dados perdidos em estudo de qualidade de água dificilmente podem ser considerados como ignoráveis.

A avaliação da extensão dos dados perdidos foi realizada em planilha de Excel, contabilizando o percentual de variáveis com dados perdidos para cada coleta e o percentual de coletas com dados perdidos para cada variável. Em função do percentual de dados perdidos para cada situação, determinou-se critério de corte de variáveis ou de casos (coletas) cuja extensão dos dados perdidos comprometeria a etapa de atribuição de dados.

A Tabela 3.3 apresenta um exemplo da metodologia de avaliação da extensão dos dados perdidos com a matriz de dados do Ponto 1, rio Campinas montante do reflorestamento, para o período posterior ao corte.

Para o número de coletas com dados perdidos para cada variável, que são contabilizados nas colunas, foi estabelecido critério de corte para variáveis com 40% ou mais de casos ausentes, os quais foram eliminados da matriz de dados (Tabela 3.4). Este critério foi definido tomando como base um valor mínimo de 60% de casos com dados válidos para possibilitar atribuição de dados nos casos ausentes.

A variável que apresentou valor acima de 40% de dados perdidos em todos os pontos de monitoramento, tanto no período anterior como posterior ao corte, foi o Nitrogênio Total (Tabela 3.3). A faixa de detecção da metodologia analítica utilizada para este parâmetro não foi adequada frente aos baixos níveis de concentração de nitrogênio total na área em estudo, o que proporcionou este nível de perda de dados. Desta forma, a variável nitrogênio total foi excluída para evitar a introdução de vieses na análise multivariada.

Para o número de variáveis com dados perdidos para cada caso (coleta), que são contabilizados nas linhas, utilizou-se o critério de corte para os casos com dados perdidos com percentual igual ou superior a 25, o que representa 4 ou mais variáveis sem registro de dados. Este critério mais rigoroso foi determinado em função da exigência da metodologia de atribuição dos dados perdidos, que necessita de maior número de variáveis com dados válidos para cada caso.

Tabela 3.3. Determinação da extensão de dados perdidos (exemplo dados Ponto 1 – Posterior ao Corte).

Observação	Data coleta	TC (°C)	pH	CE ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	TB (NTU)	SDT ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	SST ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	NO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	NT ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	PT ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	K ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Q ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )	Pp (mm)	Pp <sub>48</sub> (mm)	N° dados perdidos	Percentual amostra
1	fev/09	18,2	6,3	13	7,1	*	1,95	8	*	1,0	*	0,02	1,1	0,401	146,8	4,0	3	20%
2	mar/09	*	*	*	*	*	1,56	38	*	*	2,8	0,04	0,6	0,643	110,5	13,0	7	47%
3	abr/09	15,8	6,91	11	8,0	1,9	0,92	26	*	1,3	*	0,03	0,8	1,035	14,4	0,0	2	13%
4	mai/09	14,1	6,42	10	9,1	3,0	0,72	22	*	1,1	*	0,09	0,7	0,370	52,5	0,0	2	13%
5	jun/09	12,8	*	9	8,7	3,1	0,99	38	1,6	0,9	0,9	0,03	0,8	0,298	58,6	10,7	1	7%
6	jul/09	13	6,4	8	8,5	2,7	0,97	25	8,4	0,9	*	0,03	0,9	0,264	215,7	0,0	1	7%
7	ago/09	12,4	6,38	7	9,1	3,0	2,63	21	1,2	0,6	*	0,03	0,6	0,758	144,1	63,6	1	7%
8	set/09	13,68	*	7	8,4	1,7	1,39	39	0,8	0,8	*	0,05	0,6	0,687	343,4	2,0	2	13%
9	nov/09	17,49	6,1	8	8,5	2,9	1,22	49	0,4	0,8	*	0,04	0,6	0,527	115,1	8,3	1	7%
10	dez/09	16,12	6,14	8	7,9	2,3	1,60	21	0,4	2,3	*	0,05	0,5	0,614	159,9	10,0	1	7%
11	jan/10	18,79	7,2	9	7,7	*	1,72	24	1,6	1,1	*	0,11	0,6	*	238,2	0,0	3	20%
12	fev/10	18,31	*	10	8,4	3,1	5,42	39	4,8	0,8	*	0,13	0,5	*	277,2	21,2	3	20%
13	mar/10	17,58	5,19	30	6,2	*	1,10	19	1,2	1,0	*	0,06	0,7	1,029	201,2	32,8	2	13%
14	mai/10	14,84	5,84	20	*	*	1,25	33	2	1,1	*	*	0,6	0,677	140,4	5,0	4	27%
15	jun/10	14,5	6,6	14	8,6	*	1,02	34	2	1,2	*	0,04	0,7	0,756	90,6	0,0	2	13%
16	jul/10	14,3	6,9	15	8,1	1,3	1,08	7	0,4	0,8	1,6	0,04	0,7	0,506	125,4	0,0	0	0%
17	ago/10	13,71	*	15	9,5	1,8	1,26	30	3,2	1,0	*	0,04	0,7	0,461	65,2	0,0	2	13%
18	set/10	12,9	6,8	15	9,0	*	1,21	31	6,8	1,1	0,8	0,04	0,9	0,329	46,3	0,0	1	7%
19	out/10	15,1	5,7	15	9,4	0,5	1,16	8	2	0,8	*	0,09	0,6	0,312	191,1	0,0	1	7%
20	nov/10	18,7	6,9	13	8,4	2,9	1,58	3	2	1,0	7,8	0,3	0,7	0,352	142,6	7,2	0	0%
21	dez/10	15,7	6,5	14	8,9	1,1	2,00	23	2,8	0,8	0,4	0,22	0,2	2,175	248,4	15,0	0	0%
22	jan/11	18,3	6,5	14	8,1	0,8	1,24	4	2	0,9	0,3	0,07	0,6	0,730	191	3,0	0	0%
23	fev/11	17,8	6,02	13	9,4	2,0	5,09	51	6,4	0,7	0,5	0,1	0,3	5,772	235,8	82,0	0	0%
24	mar/11	18,5	6,24	12	8,6	2,4	1,64	13	5,2	0,9	0,3	0,1	*	1,850	359,4	48,0	1	7%
25	abr/11	15,2	6,34	13	8,9	2,5	2,47	34	5,4	1,1	0,4	0,1	*	0,759	29,8	2,0	1	7%
26	mai/11	13,8	6,2	14	9,1	*	1,10	47	2	0,8	2,6	0,13	*	0,396	30,8	12,0	2	13%
27	jun/11	13,7	*	15	8,9	1,9	1,40	39	4	1,4	*	0,09	*	0,287	80,2	0,0	3	20%
N° de dados perdidos		1	6	1	2	8	0	0	4	1	16	1	4	2	0	0		
Percentual da amostra		4%	22%	4%	7%	30%	0%	0%	15%	4%	59%	4%	15%	7%	0%	0%		

Os casos que apresentaram percentual de dados perdidos acima de 25 foram as coletas realizadas em março de 2009 e maio de 2010, ambas para o período posterior ao corte, e foram eliminadas da matriz de dados. O período anterior ao corte não apresentou casos com este percentual de dados perdidos.

Conforme descrito no item 3.5, foram realizadas 47 campanhas de campo entre 2007 e 2011, e 15 variáveis eram consideradas para aplicação da análise estatística multivariada, sendo 12 parâmetros de qualidade de água, somadas a vazão dos cursos de água, a precipitação total mensal e a precipitação ocorrida 48 horas antes das coletas. Com a aplicação dos critérios de corte de variáveis e casos, resultaram em 14 variáveis e 45 coletas (casos).

Dentre as 45 coletas de campo, 20 delas ocorreram no período anterior ao corte dos pinus em APP, e 25 no período posterior, com exceção do ponto 5 em que as atividades de corte tiveram início em junho de 2008. Para o ponto 5 foram 13 campanhas no período anterior ao corte, e 31 no período posterior. O ponto 5 teve uma coleta a mais eliminada da matriz dos dados, a coleta do mês de maio de 2008, evento em que ocorreu a quebra da vidraria com as amostras durante o transporte até o laboratório.

Com a eliminação da variável e dos casos com maiores ocorrências de dados ausentes, os percentuais de dados perdidos para toda a matriz diminuíram de forma expressiva, mas não completamente.

Seguiu-se, portanto, com o tratamento dos dados ausentes, diagnosticando a aleatoriedade dos processos de perda de dados para subsidiar a tomada de decisão da etapa de atribuição de dados.

Os processos que induziram perda de dados durante o monitoramento de qualidade de água ocorreram de forma aleatória, sem tendências ou padrões de falhas na obtenção dos dados, exceto para o parâmetro Nitrogênio total, que já foi eliminado no passo 2. Em alguns casos foi por danificação de equipamento ou quebra de vidraria durante a campanha de campo, reagentes que não chegaram no prazo descrito, perda de amostra por queda de energia no laboratório, entre outros. Foram eventualidades que proporcionaram a ausência de dados, e não possuem relação com outra variável da matriz de dados. Desta forma, enquadram-se como dados completamente perdidos ao acaso (MCAR).

A partir da identificação da aleatoriedade dos processos de perda de dados, definiu-se o método de atribuição dos casos com ausência de dados. Os dados

perdidos foram estimados a partir de dois métodos: (1) Substituição pela média para variáveis com até 15% de dados perdidos; e (2) Método da regressão linear múltipla, utilizado por Mazlum *et al.* (1999) e proposto por Buck (1960<sup>3</sup>). Este método é baseado no uso de equação de regressão linear múltipla, definindo a variável com dados perdidos como a variável dependente da equação.

As equações de regressão linear múltipla para estimação dos dados ausentes foram obtidas através da função *multiple regression* do programa *Statgraphics Centurion XV.II*. Para cada variável com dados perdidos (variável dependente), foram realizados diversos testes de regressão múltipla visando identificar quais variáveis independentes melhor explicavam a variância dos dados da variável dependente. Para isto, foi monitorado o  $R^2$ , o  $R^2$  ajustado e o desvio padrão do erro das equações, bem como os *p-values* da Análise de Variância.

Os métodos empregados para atribuição dos dados para as coletas realizadas no período anterior e posterior ao corte estão relacionados na tabela do Apêndice I.

#### 3.6.1.2. Teste de normalidade

A avaliação de normalidade das variáveis aleatórias foi realizada através do cálculo de assimetria e curtose, que são medidas empíricas da forma de distribuição dos dados da variável aleatória. Valores de assimetria e curtose maiores que 2,0 ou menores que -2,0 indicam que a distribuição dos dados difere de uma distribuição normal a um nível de significância de 0,05 (Hair *et al.*, 2009, pg. 83).

As variáveis que apresentaram desvios de normalidade foram transformadas conforme descrito no item seguinte.

---

<sup>3</sup> Buck, S.F. A method of estimation of missing values in multivariate data suitable for use with an electronic computer. **The Journal of the Royal Statistics Society**, Vol.22, No.2, 302-306, 1960.

### 3.6.1.3. Transformações dos dados

Após a constatação de não-normalidade da forma de distribuição das variáveis aleatórias, procedeu-se a etapa de transformações de dados para atendimento desta suposição da análise estatística multivariada.

Para facilitar a identificação do melhor método de transformação de dados para cada variável aleatória não-normal, utilizou-se a função *power transformation* do software *Statgraphics Centurion XV.II*. Esta função baseia-se no método de *Box-cox transformation*, proposto por Box e Cox (1964<sup>4</sup>). É um processo que determina automaticamente a melhor transformação, encontrando o valor de  $\lambda_1$  que minimiza o desvio padrão das observações quando transformados de acordo com a transformação Box-Cox a seguir:

$$Y_t^\lambda = \frac{(Y^\lambda - 1)}{\lambda} \quad \text{quando } \lambda \neq 0 \quad 3.1$$

$$Y_t^\lambda = \log_e(Y) \quad \text{quando } \lambda = 0 \quad 3.2$$

Alguns valores de  $\lambda_1$  resultam em transformações comumente utilizadas, conforme descreve a Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Transformações usuais de acordo com os valores de  $\lambda$ .

Valores potência ( $\lambda_1$ )	Transformação
-2,0	Termo ao quadrado inverso
-1,0	Inversa
-0,5	Raiz quadrada inversa
-0,3333	Raiz cúbica inversa
0	Logaritmo
0,3333	Raiz cúbica
0,5	Raiz quadrada
1,0	Nenhuma
2,0	Termo ao quadrado

Fonte: Adaptado de StatPoint, Inc (2005).

<sup>4</sup> Box, G. E. P., & Cox, D. R.. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society, B*, 26(211-234). 1964

Depois de identificados os melhores métodos de transformações para cada variável, os dados foram transformados e em seguida foi aplicado novo teste de normalidade, para confirmar que o ajuste das variáveis.

#### 3.6.1.4. Teste esfericidade de Bartlett

O teste de esfericidade de Bartlett foi realizado com o *software R*, versão 2.14.0, através da função programada ***cortest.bartlett***, descrito no Anexo I. O princípio do teste de esfericidade de Bartlett está descrito no Item 2.4.1.

#### 3.6.1.5. Teste adequacidade Kaiser-Meyer-Olkin

A medida de adequacidade da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) foi realizada com o *software R*, versão 2.14.0, através da função programada ***kmo***, descrito no Anexo II. O princípio do teste de KMO está descrito no Item 2.4.1.

### 3.6.2. Análise Fatorial

Foram consideradas duas abordagens na análise fatorial para identificar a influência do processo de recuperação das áreas de preservação permanente com plantio de pinus: análise do rio Campinas e análise de microbacias.

A análise fatorial Rio Campinas (AFC) se refere aos parâmetros do monitoramento dos pontos amostrais P1 e P2 situados no rio Campinas, que tem como objetivo básico avaliar a entrada (P1) na área de estudo e a influência após percurso interno até o ponto P2. O P1, cuja área de influência é ocupada por floresta nativa, é utilizado como testemunho.

A análise fatorial microbacias (AFM) se refere às microbacias totalmente inseridas na fazenda com plantio florestal, ou seja, possuem as nascentes e a foz no

interior da propriedade. Para facilitar a exposição dos resultados, adotou-se a letra “M” na nomenclatura dos pontos relativos às microbacias. Assim, por similaridade a microbacia M3 se refere aos parâmetros relativos ao Ponto 3 e conseqüentemente, por similaridade, M4 (Ponto 4), M5 (Ponto 5) e M6 (Ponto 6). Esta abordagem busca avaliar a influência da extração dos pinus plantados em APP e parte do processo de recuperação em unidades territoriais menores, nas microbacias com manejo florestal (M3, M4 e M5), permitindo correlacionar às alterações impostas ao uso do solo e cobertura vegetal com as alterações nos parâmetros de qualidade de água. A microbacia M6 é utilizada como testemunha na análise AFM.

A Tabela 3.5 apresenta os tamanhos (ordem) dos vetores aleatórios utilizados na análise fatorial para cada ponto amostral.

Tabela 3.5. Tamanho dos vetores aleatórios aplicados na Análise Fatorial.

Pontos de Coleta	N° de parâmetros (colunas)	N° de casos (linhas)
P1	14	45
P2	14	45
P3 ↔ M3	14	45
P4 ↔ M4	14	44
P5 ↔ M5	14	45
P6 ↔ M6	14	45

A análise fatorial foi executada com a função *factor analysis* do *software Statgraphics Centurion XV.II*.

### 3.7. ANÁLISE GRÁFICA TEMPORAL DOS DADOS

Após a identificação dos padrões de comportamento dos parâmetros nos períodos anterior e posterior ao corte dos pinus em APP, realizou-se uma análise gráfica da variação temporal dos parâmetros de qualidade de água que se destacaram na análise fatorial, com objetivo de avaliar a resposta aos eventos do PRAD executado nas áreas de preservação permanente.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo resultados e discussões foi dividido em 3 seções principais: (1) Análise temporal do uso e cobertura do solo e áreas de conversão; (2) Análise multivariada dos dados através da técnica Análise Fatorial; e (3) Síntese dos resultados.

Análise temporal de uso do solo e áreas de conversão faz um diagnóstico da evolução das condições de cobertura vegetal nas bacias do rio Campinas, rio SN1 e rio SN2 entre 2005 e 2011, representando o período anterior e posterior ao início das atividades do PRAD. O objetivo principal foi mapear e quantificar as áreas de conversão de plantio de pinus comercial e de pinus em APP no contexto geral da área em estudo, bem como nas áreas de influência direta dos pontos de monitoramento, para subsidiar a análise dos resultados de qualidade de água.

A análise multivariada dos dados foi empregada com objetivo de comparar as microbacias experimentais e áreas de drenagem, e avaliar a diferença entre o comportamento dos parâmetros de qualidade de água entre o período anterior e posterior ao corte dos pinus em APP e implementação das técnicas de recuperação.

### 4.1. ANÁLISE TEMPORAL DE USO DO SOLO E ÁREAS DE CONVERSÃO

As características qualitativas da água superficial em uma microbacia refletem as condições geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climáticas e de uso do solo e cobertura vegetal (LIMA e ZAIKA, 1998; OKI, 2002; Lima, 2008). Dentre estes aspectos que compõem uma microbacia, o uso do solo é o que pode ser alterado em uma escala temporal muito menor comparado aos demais. Em outras palavras, o processo de degradação dos recursos hídricos tem profunda relação com as alterações na forma de uso do solo e de cobertura vegetal, pois é o primeiro componente de uma bacia hidrográfica a ser modificado pelas atividades antrópicas ou eventos naturais extremos.

Neste sentido, fica evidente a necessidade de uma caracterização detalhada dos componentes do meio físico e biótico da bacia hidrográfica em estudos de

hidrologia voltados ao diagnóstico de qualidade de água, sobretudo, a respeito da evolução do uso do solo.

Conforme descrito no item 3.3, foram realizadas duas classificações de uso e ocupação de solo representando dois momentos distintos da fase de monitoramento de qualidade de água nas microbacias experimentais. Classificação para o ano de 2005, caracterizando o período anterior ao processo de conversão dos pinus em APP para vegetação nativa, e 2011, referente ao período posterior.

A tabela 4.1 apresenta as áreas das tipologias de uso do solo para a classificação de 2005 e 2011, e as figuras 4.1 e 4.2 representam a espacialização destas informações. Observa-se que as bacias hidrográficas do rio Campinas, rio SN1 e do rio SN2 possuem expressiva área com cobertura vegetal nativa, correspondendo a 60% de sua área em 2005, e 61,8% para o ano de 2011. Grande parte da floresta localiza-se na bacia hidrográfica do rio Campinas, na região das nascentes até o seu terço médio, onde se inicia a área reflorestada, e segue contornando a fazenda no sentido norte, noroeste, leste e sudoeste (Figura 4.1 e Figura 4.2).

A segunda tipologia de uso do solo com maior extensão em área é o pinus comercial, caracterizado como área de plantio legal. Em 2005 o pinus comercial ocupava 21,2% da área total das bacias hidrográficas, e atualmente, em 2011, 16,2%.

Tabela 4.1. Comparativo das classes de uso e ocupação de solo na área de estudo, abrangendo bacia do rio Campinas, rio SN1 e rio SN2.

Classes	Antes (2005)		Depois (2011)	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Floresta Nativa	2488,47	60,0	2563,60	61,8
Banhado	0,16	0,004	0,12	0,003
Campos de altitude	166,54	4,0	166,54	4,0
Estradas	73,94	1,8	65,29	1,6
Pinus (comercial)	879,34	21,2	671,34	16,2
Pinus (APP)	294,61	7,1	69,92	1,7
Solo exposto/pouco coberto	2,50	0,1	80,47	1,9
Capoeirinha	23,81	0,6	66,54	1,6
Área em recuperação (APP)	-	-	177,12	4,3
APP Preservada	216,52	5,2	284,97	6,9
<b>Total</b>	<b>4145,89</b>	<b>100,0</b>	<b>4145,89</b>	<b>100,0</b>

\* abr/2009 a jun/2011: remoção das espécies exóticas das APP's.

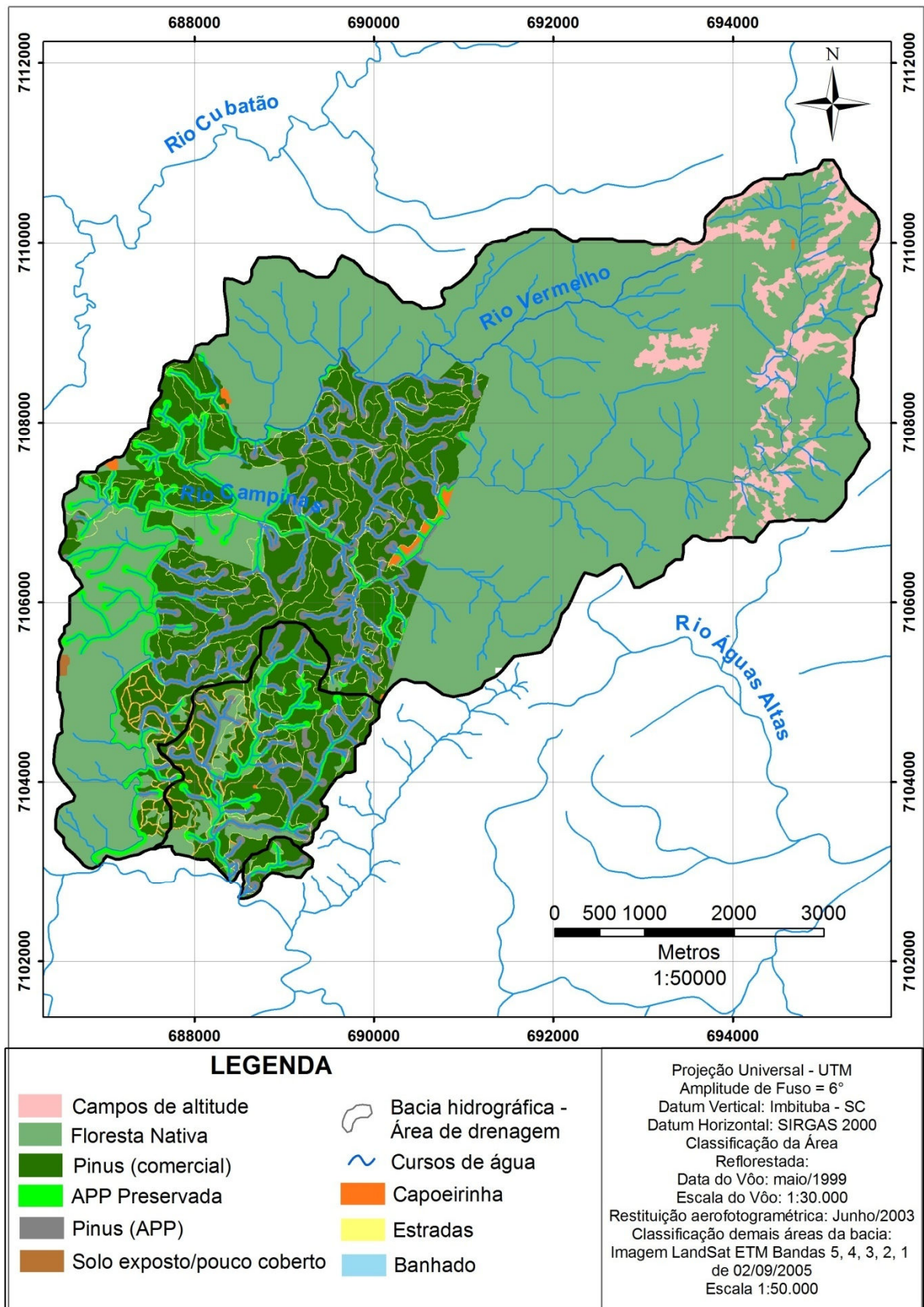


Figura 4.1. Classificação de uso do solo e cobertura vegetal das bacias do rio Campinas, rio SN1 e rio SN2, para o ano de 2005.

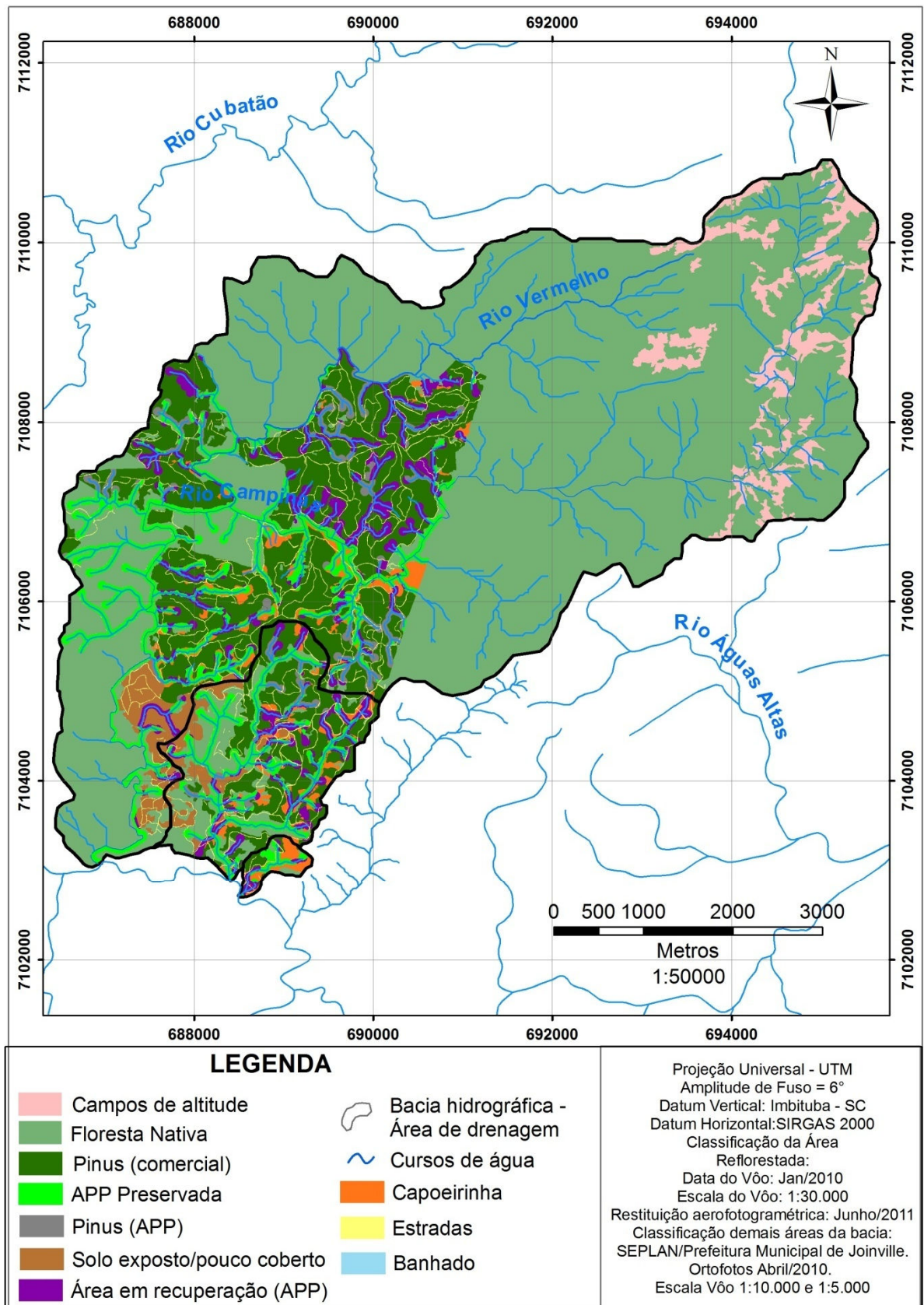


Figura 4.2. Classificação de uso do solo e cobertura vegetal das bacias do rio Campinas, rio SN1 e rio SN2, para o ano de 2011.

Entre o período de 2005 e 2011, 208 ha de área de pinus comercial passaram por processo de corte raso, bem como 224,69 ha de pinus plantados em APP. As áreas de pinus comercial que foram suprimidas distribuíram-se nas classes solo exposto/pouco coberto, capoeirinha e floresta nativa no mapa de 2011, variando em função da época em que foi efetuado o corte. Já os 224,69 ha de pinus em APP foram transformados em APP Preservada ou Área em recuperação (APP), também definido pelo tempo em que foi executado o corte e evolução do processo de sucessão vegetal.

Devido ao processo de corte raso, as áreas com solo exposto/pouco coberto, capoeirinha e área em recuperação (APP) tiveram aumento de 77,97 ha, 42,73 ha e 177,12 ha respectivamente. Em conjunto, estas 3 tipologias que representavam 0,7% da área total da bacia em 2005, compreendem 7,8% em 2011.

A identificação da distribuição espacial destas alterações na cobertura vegetal é o objeto para subsidiar as discussões sobre a qualidade dos recursos hídricos superficiais, principalmente nos locais a montante de cada ponto de monitoramento. Para isto, realizou-se o mapeamento das áreas de drenagem com influência direta de cada ponto de coleta.

### **Área de influência do rio Campinas P1 (montante) e P2 (jusante)**

A tabela 4.2 apresenta o comparativo entre as classes de uso do solo de 2005 e 2011 entre o P1, rio Campinas a montante do reflorestamento, e o P2, rio Campinas a jusante do reflorestamento. Na Figura 4.3 é possível visualizar a evolução do uso do solo nas áreas de drenagem dos pontos de monitoramento 1 e 2.

A área de drenagem do P1 sofreu alterações mínimas na cobertura vegetal entre 2005 e 2011. 99,3% da superfície são cobertas por floresta nativa ou campos de altitude. Os 0,7% restante compreende área com plantio de pinus comercial, estradas, Pinus (APP), capoeirinha e APP Preservada, especificamente na área de cabeceira de um tributário da margem direita do rio Campinas, que desemboca próximo ao local de coleta. Nestes 0,7% de área foi que ocorreram algumas mudanças na tipologia de uso, com a supressão de 2,32 ha de pinus comercial e 0,36 ha de pinus em APP. Estas modificações podem promover alguma alteração na qualidade da água deste ponto de monitoramento devido à sua localização, e deve ser considerada na análise fatorial.

Na área de influência do P2 registraram-se as maiores modificações na composição da cobertura vegetal, todas elas a jusante do P1. Em 2005, as principais tipologias de solo registradas foram floresta nativa, com 67,2% em área, pinus comercial, com 16,5%, pinus em APP, com 5,4%, e campos de altitude, ocupando 5,0%. Em 2011, a floresta nativa manteve-se com maior expressividade, 68,2% do total, seguida por pinus comercial (14,5%), APP preservada (5,1%) e campos de altitude (5,0%).

Tabela 4.2. Comparativo das classes de uso e ocupação de solo na área de drenagem dos Pontos de Coleta sobre o rio Campinas, Ponto 1 e Ponto 2.

Classes	Ponto 1				Ponto 2*			
	2005		2011		2005		2011	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Floresta Nativa	1024,62	86,7	1026,34	86,8	2256,87	67,2	2290,03	68,2
Banhado	-	-	-	-	0,16	0,005	0,06	0,002
Campos de altitude	149,34	12,6	149,34	12,6	166,54	5,0	166,54	5,0
Estradas	0,24	0,02	0,27	0,02	44,17	1,3	40,79	1,2
Pinus (comercial)	5,89	0,5	3,57	0,3	552,18	16,5	486,71	14,5
Pinus (APP)	0,37	0,03	0,01	0,000	180,66	5,4	53,89	1,6
Solo exposto pouco coberto	-	-	0,05	0,004	0,29	0,009	0,05	0,001
Capoeirinha	0,36	0,03	1,18	0,1	9,39	0,3	31,44	0,9
Área em recuperação (APP)	-	-	0,96	0,1	-	-	113,88	3,4
APP Preservada	0,92	0,1	0,03	0,0	145,91	4,4	172,77	5,1
Total	1181,74	100,0	1181,74	100,0	3356,17	100,0	3356,17	100,0

\* abr/2009 a jun/2011: remoção das espécies exóticas das APP's;

De toda a área de preservação permanente existente na bacia de drenagem do P2, cerca de 50% estavam ocupadas por plantio de pinus irregular em 2005. Foram suprimidos 126,77 ha de pinus em APP entre 2005 e 2011, o que corresponde a 37,2% da área total de APP. Ou seja, mais de um terço das áreas de preservação permanente passaram pelo processo de corte e recuperação, ficando, portanto, vulneráveis.

É possível observar também, na Tabela 4.2, que 53,89 ha de APP ainda permanecem cobertos por plantio de pinus, os quais estão em processo de extração e implementação das atividades de recuperação.

Em 65,47 ha de área com plantio de pinus comercial foram realizadas as atividades de colheita, com corte raso, transformando-se em áreas de capoeirinha, floresta ou área em recuperação (APP) no mapeamento de 2011.

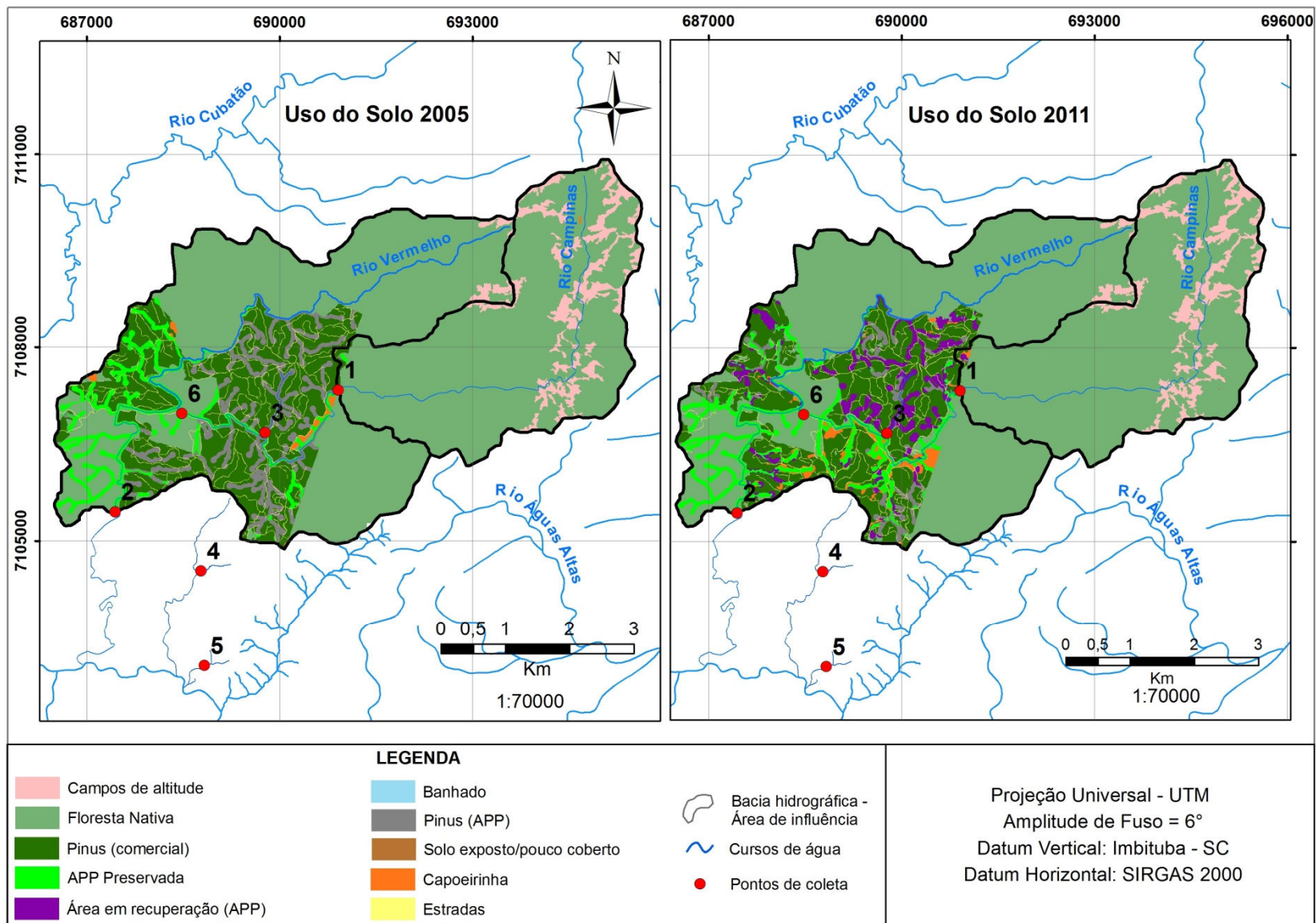


Figura 4.3. Classificação de uso do solo e cobertura vegetal de 2005 e 2011 nas áreas de drenagem (influência) dos Pontos de coleta 1 e 2.

### **Uso do solo na microbacia M3 correspondente ao P3**

A Tabela 4.3 relaciona as tipologias de uso do solo das microbacias experimentais localizadas no interior da fazenda reflorestada.

A microbacia do Ponto 3 (M3), *Pinus taeda* plantados em 1999, possui área total de 58,18 ha. Em 2005, a microbacia era ocupada exclusivamente por plantio de pinus, inclusive nas áreas de preservação permanente. A área de plantio abrange 94,3% da microbacia, e os demais 5,7% são áreas de estradas florestais. Na figura 4.4 é possível visualizar que houve diferença na delimitação das APPs, que em 2005 representa 18,60 ha e em 2011, 20,46 ha. Esse acréscimo de 1,86 ha ocorreu devido à metodologia de delimitação das APPs, que em 2005 foi realizada apenas por mapeamento, e na classificação atual foi aferida em campo. Portanto, a delimitação do mapa de 2011 é a mais correta.

A atividade de supressão dos pinus na M3 ocorreu apenas em áreas de preservação permanente. Foram suprimidos 16,64 ha com pinus plantados em APP, o que representa 81,33% do total de APP existente na microbacia experimental do Ponto 3. Estas áreas estão representadas como área em recuperação (APP) no mapeamento de 2011. Necessitam ainda serem removidos 3,82 ha de pinus (APP) (18,67% do total de APP), localizados na porção central da microbacia.

A atividade de corte raso na M3 foi realizada em 5 etapas: (1) período de maio a julho de 2009; (2) entre novembro de 2009 a janeiro de 2010; (3) março a maio de 2010; (4) julho e agosto de 2010; e (5) dezembro de 2010. A supressão da vegetação exótica em APP foi iniciada na região próxima ao exutório, seguindo em direção às nascentes.

### **Uso do solo na microbacia M4 correspondente ao P4**

A Figura 4.5 apresenta os mapas de classificação de uso do solo da microbacia do Ponto 4 (M4), *Pinus taeda* plantados em 1991. Esta microbacia possui área total é de 11,46 ha que, em 2005, era ocupada principalmente por plantio de pinus, sendo 63,5% de plantio comercial e 20,5% de plantio em área de preservação (Tabela 4.3). As demais áreas correspondem à APP preservada (8,7%) e estradas florestais (7,3%).

Tabela 4.3. Comparativo das classes de uso e ocupação de solo na área de drenagem das microbacias dos Pontos 3, 4, 5 e 6.

Classes	Ponto 3*				Ponto 4**				Ponto 5***				Ponto 6****			
	2005		2011		2005		2011		2005		2011		2005		2011	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Floresta Nativa	-	-	-	-	-	-	-	-	1,80	10,8	3,72	22,4	8,29	72,3	8,30	72,3
Banhado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campos de altitude	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estradas	3,33	5,7	3,38	5,8	0,84	7,3	0,93	8,1	0,39	2,3	0,41	2,5	0,14	1,2	0,14	1,2
Pinus (comercial)	36,25	62,3	34,35	59,0	7,28	63,5	3,69	32,2	9,98	60,1	1,30	7,8	0,57	5,0	0,52	4,5
Pinus (APP)	18,60	32,0	3,82	6,6	2,35	20,5	0,10	0,9	3,75	22,6	-	-	-	-	-	-
Solo exposto pouco coberto	-	-	-	-	-	-	1,38	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Capoeirinha	-	-	-	-	-	-	1,58	13,8	-	-	6,77	40,8	-	-	0,05	0,4
Área em recuperação (APP)	-	-	16,64	28,6	-	-	2,87	25,0	-	-	0,96	5,8	-	-	-	-
APP Preservada	-	-	-	-	1,00	8,7	0,91	8,0	0,69	4,2	3,45	20,7	2,47	21,5	2,47	21,5
<b>Total</b>	<b>58,18</b>	<b>100,0</b>	<b>58,18</b>	<b>100,0</b>	<b>11,46</b>	<b>100,0</b>	<b>11,46</b>	<b>100,0</b>	<b>16,61</b>	<b>100,0</b>	<b>16,61</b>	<b>100,0</b>	<b>11,47</b>	<b>100,0</b>	<b>11,47</b>	<b>100,0</b>

\* Etapas de remoção das espécies exóticas das APPs: mai – jun/2009, Nov/2009 – jan/2010, mar – mai/2010, jul – ago/2010 e dez/2010;

\*\* Etapa de remoção das espécies exóticas das APPs: ago – set/2008; Extração pinus comercial: fev – abr/2011;

\*\*\* Etapa de remoção das espécies exóticas das APPs: jun – ago/2008; Extração pinus comercial: jul – ago/2008;

\*\*\*\* Microbacia testemunha, não há pinus em APP. Registro de pequena área com pinus comercial extraído: data não identificada.

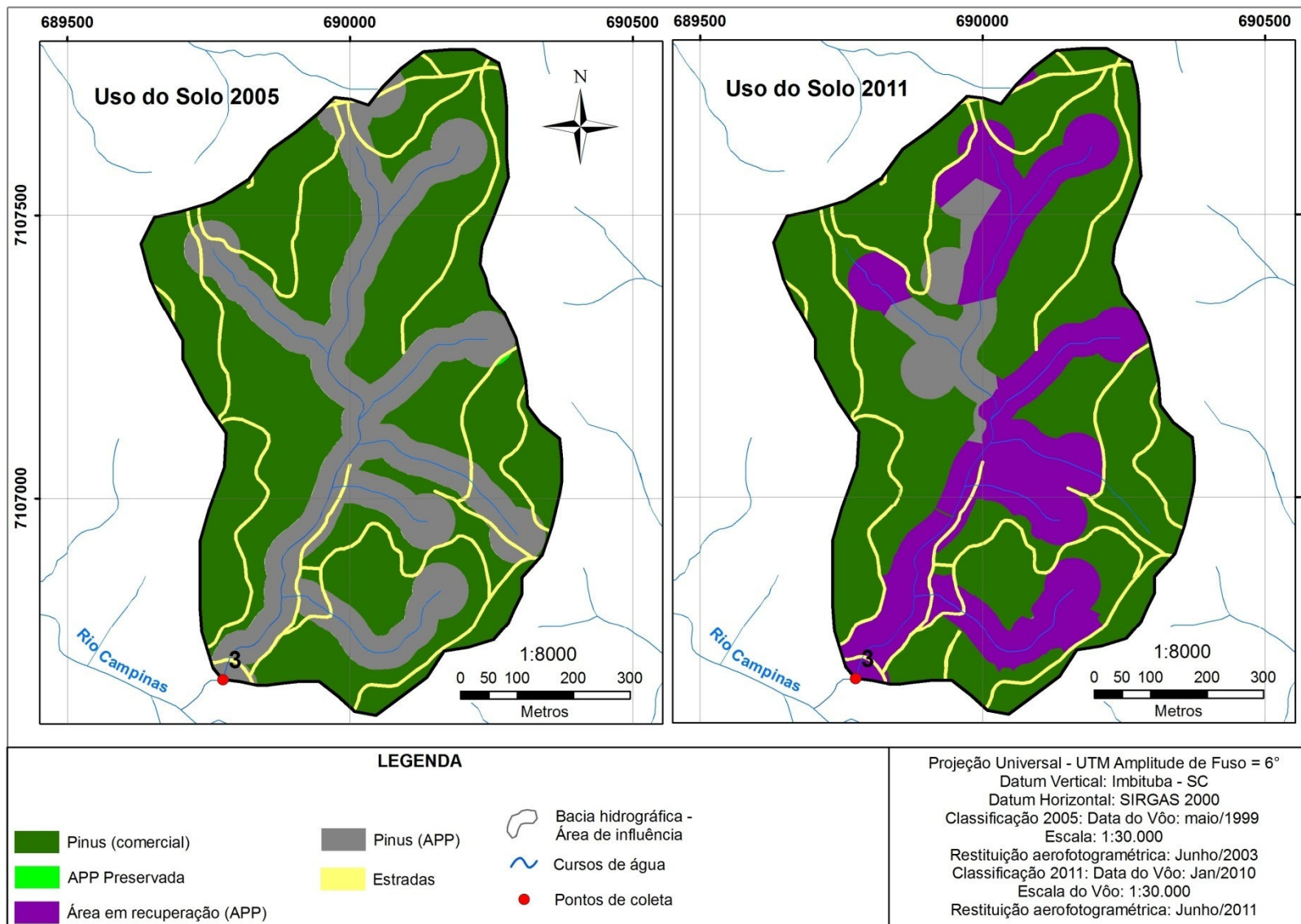


Figura 4.4. Classificação de uso do solo e cobertura vegetal de 2005 e 2011 na área a montante do ponto de coleta da microbacia M3.

A M4 possui 3,35 ha de área de preservação permanente, dentre elas, 1,0 ha localizados no terço superior do curso de água mantinham-se preservados (29,9%), e 2,35 ha possuíam vegetação exótica (70,1%) em 2005. Nos meses de agosto a setembro de 2008, realizou-se a extração dos pinus em APP em 2,25 ha, sendo convertidas em áreas de recuperação (APP), conforme demonstra mapa de 2011 (Figura 4.5).

As atividades de corte não se restringiram as áreas de preservação permanente nesta microbacia. Entre os meses de fevereiro e abril de 2011, 3,59 ha de área com pinus comercial foram convertidos em áreas com solo exposto/pouco coberto ou capoeirinha através do corte raso.

No total, 5,84 ha das tipologias pinus em APP e pinus comercial passaram pela atividade de corte raso, o que corresponde a 51% da área total da microbacia. Cabe ressaltar que os cortes foram realizados em períodos distintos, com intervalo de 2 anos e 5 meses em cada intervenção. Ou seja, a microbacia passou por duas perturbações com grande potencial de influenciar os processos hidrológicos e biogeoquímicos, o que provavelmente deverá ser detectado na análise de qualidade de água.

### **Uso do Solo na microbacia M5 correspondente ao P5**

Os mapas de classificação de uso do solo da microbacia do Ponto 5 (M5), *Pinus taeda* e *P. elliottii* plantados em 1971, podem ser visualizados na Figura 4.6. Com área total de 16,61 ha, a cobertura vegetal predominante no período inicial do monitoramento de qualidade de água era pinus comercial, com 60,1% da sua extensão, seguida por pinus em APP (22,6%), floresta nativa (10,8%), APP preservada (4,2%), e estradas (2,3%) (Tabela 4.3). Dentre as microbacias experimentais, esta possuía maior percentual de vegetação nativa na classificação de 2005, 15%. Contudo, foi também a região submetida ao maior percentual de áreas com corte raso, num total de 74,8%.

A M5 possui 4,44 ha de áreas de preservação permanente. Em 2005, 84,5% destas áreas apresentavam-se com plantio irregular de pinus, e os demais 15,5% preservadas (vegetação nativa).

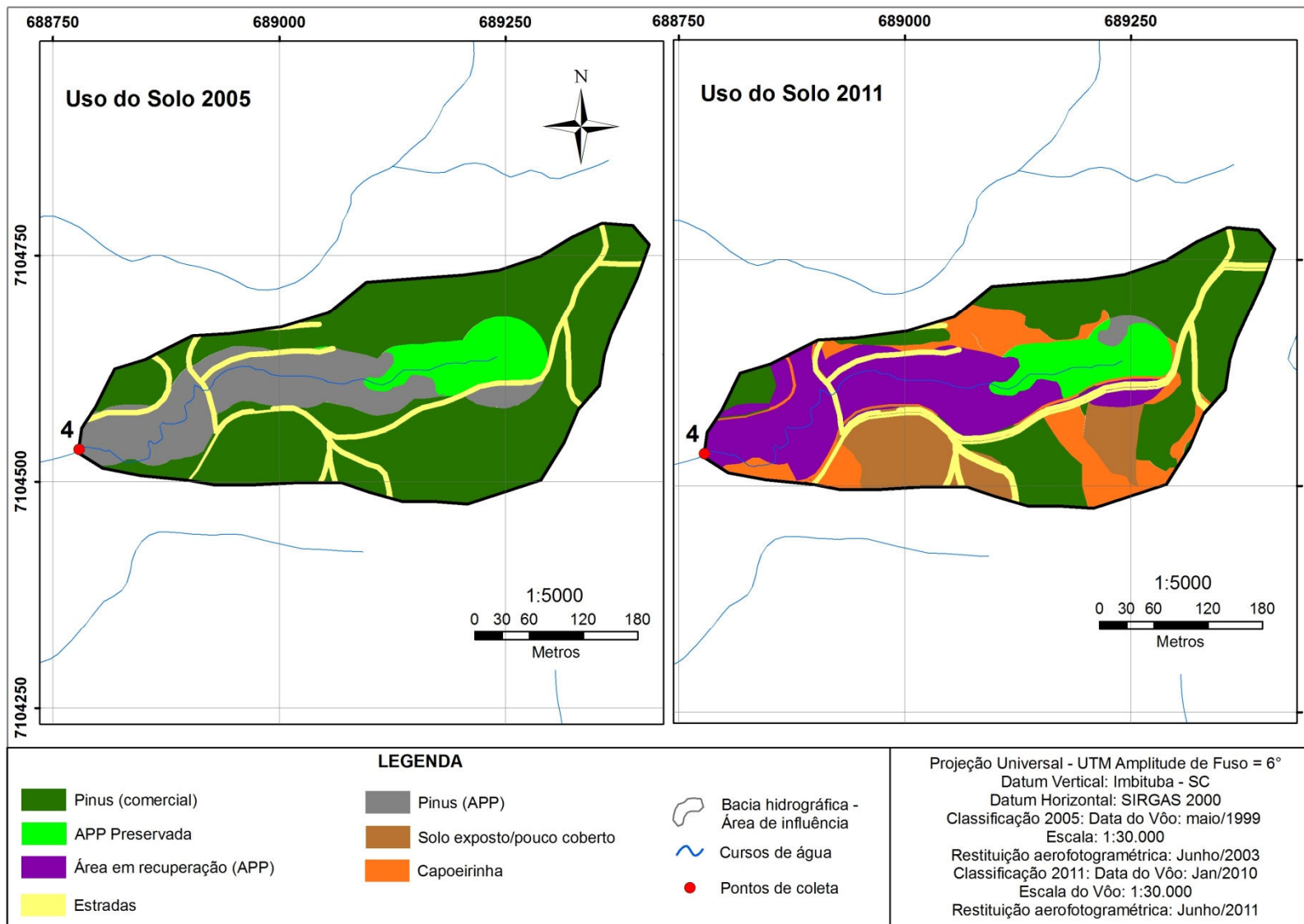


Figura 4.5. Classificação de uso do solo e cobertura vegetal de 2005 e 2011 na área a montante do ponto de coleta da microbacia M4.

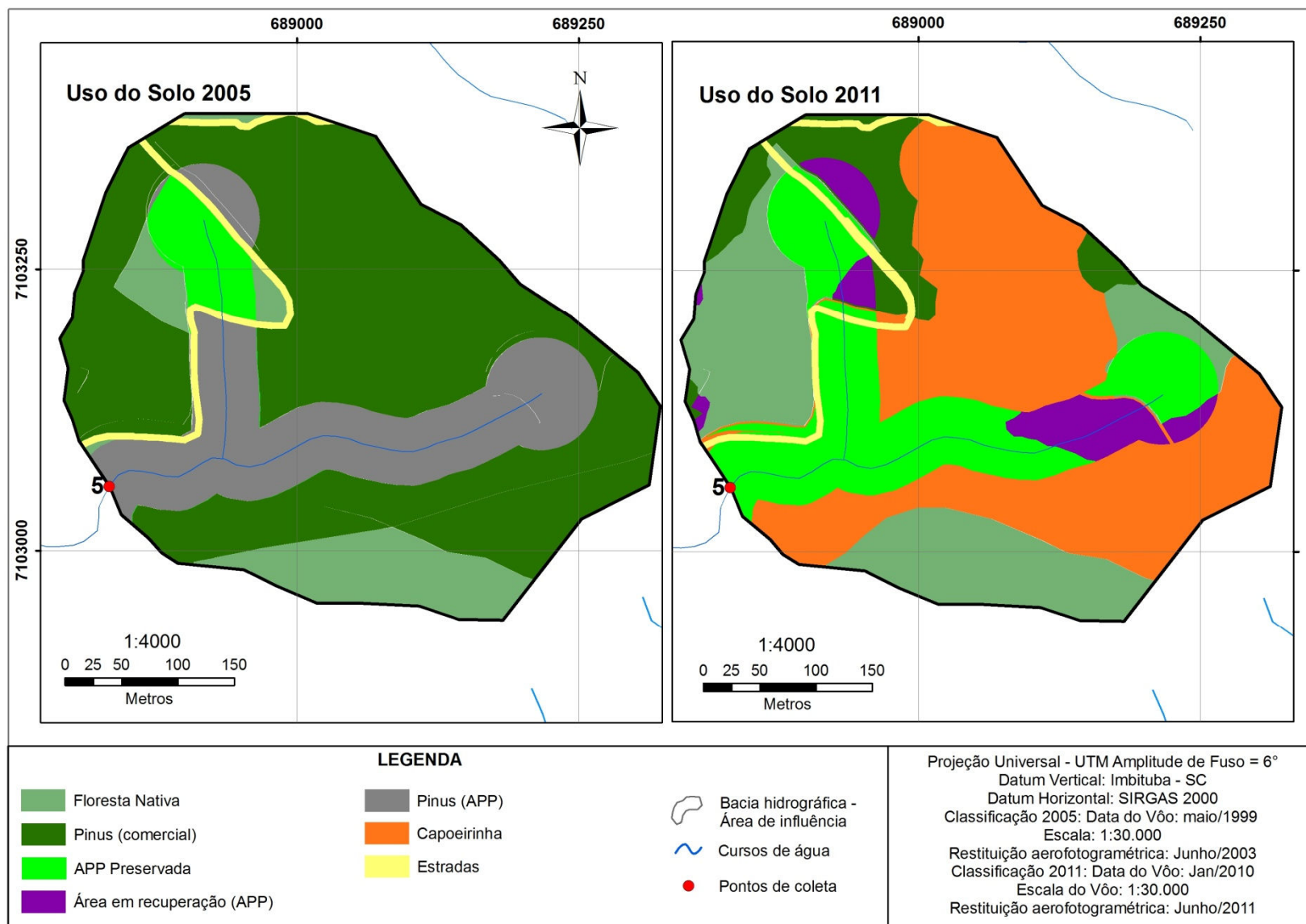


Figura 4.6. Classificação de uso do solo e cobertura vegetal de 2005 e 2011 na área a montante do ponto de coleta da microbacia M5.

Toda a área com pinus em APP, 3,75 ha, passou pela atividade de extração da vegetação exótica, que aconteceu entre junho a agosto de 2008. O plantio de pinus em APP na microbacia do Ponto 5 apresentava-se de forma bem espaçada, com espécies florestais nativas entre os indivíduos e com presença de sub-bosque. Este fato permitiu recuperação acelerada destas áreas, ocorrendo principalmente de forma natural, e pode ser percebido pelo acentuado aumento da tipologia APP preservada entre o período de 2005 a 2011.

Foram extraídos pinus comercial em uma área equivalente a 8,68 ha entre julho e agosto de 2008. Estas áreas estão representadas no mapa de uso do solo de 2011 pelas tipologias capoeirinha e, nas áreas onde a sucessão florestal foi mais acelerada, floresta nativa.

Em função das atividades de corte executadas na M5, a cobertura vegetal predominante em 2011 é a capoeirinha, ocupando 40,8% da área total. As tipologias com maior expressividade em área, depois da capoeirinha foram floresta nativa (22,4%), APP preservada (20,7%), pinus comercial (7,8%) área em recuperação (5,8%) e estradas florestais (2,5%) (Tabela 4.3).

### **Uso do solo na microbacia M6 correspondente ao P6**

A Figura 4.7 apresenta a classificação de uso de solo da microbacia do Ponto 6 (M6), floresta nativa. Com área total de 11,47 ha possui 93,8% de sua área coberta por vegetação nativa, tanto em 2005 quanto 2011. Na extremidade sul da área da microbacia, em sua porção mais elevada, a ocorrência de um talhão com plantio de pinus comercial, recortado por duas estradas florestais. No mapa de uso do solo de 2005, a área com pinus comercial ocupava 5,0% da área da microbacia, e as estradas florestais 1,2%.

Durante o monitoramento de qualidade de água, entre 2007 e 2011, foram suprimidos 0,05 ha de pinus comercial da M6, representados pela tipologia de uso do solo capoeirinha no mapeamento de 2011. Isto representa 0,4% da extensão da área de drenagem, o que provavelmente não deve promover alterações significativas na qualidade da água superficial, mas demanda atenção na análise dos resultados.

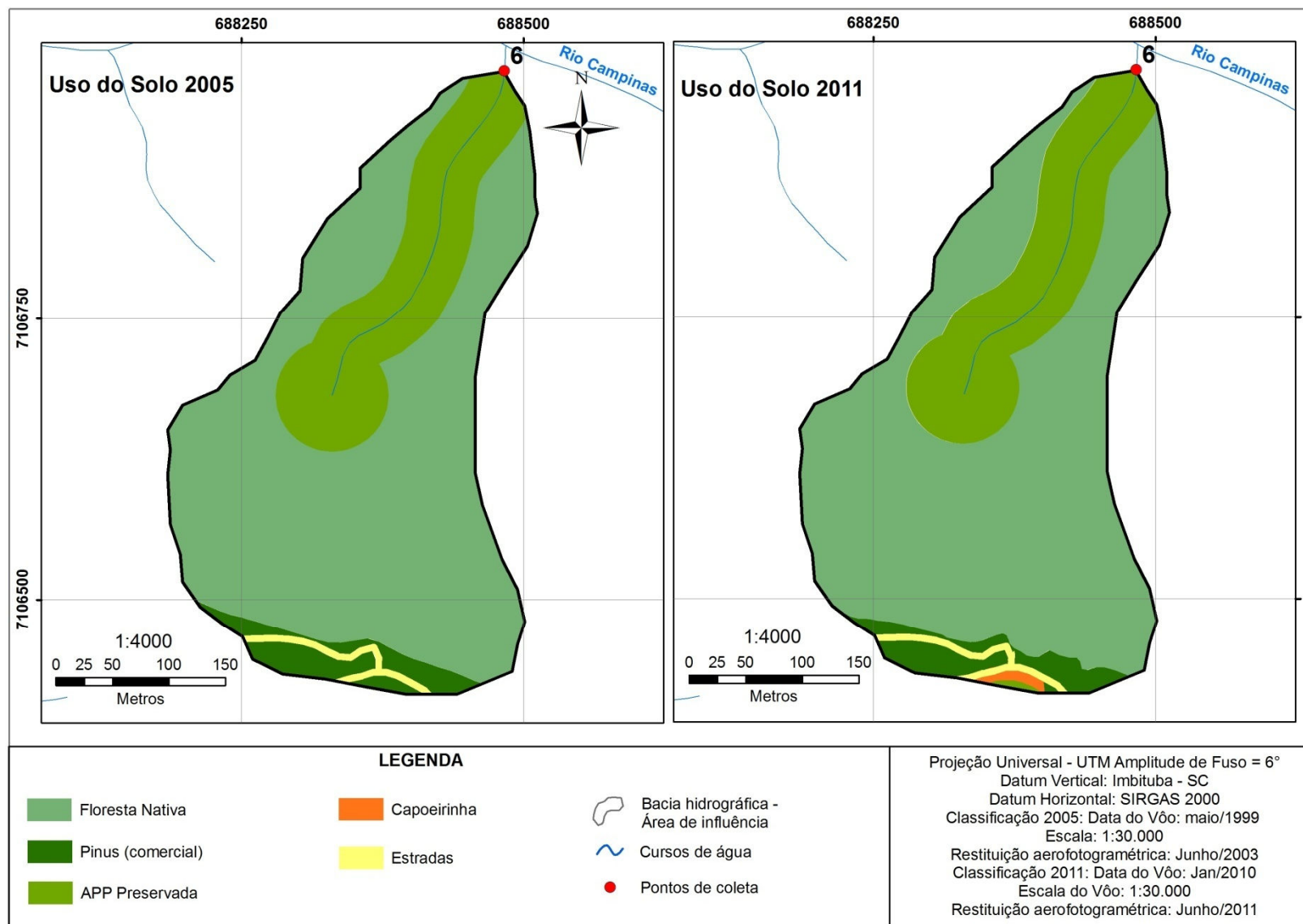


Figura 4.7. Classificação de uso do solo e cobertura vegetal de 2005 e 2011 na área a montante do ponto de coleta da microbacia M6.

## 4.2. ANÁLISE FATORIAL

Na Análise Fatorial rio Campinas o P1, rio Campinas a montante do reflorestamento, foi mantido como padrão para comparar com o P2, rio Campinas a jusante do reflorestamento, por ser uma área com influência predominante de vegetação nativa preservada, como exposto no item 4.1. Na Análise Fatorial Microbacias, a microbacia mantida como padrão foi a M6, microbacia experimental floresta nativa.

A etapa de preparação dos dados para análise fatorial foi detalhada no item 3.6.2, onde foram apresentados os passos básicos para exame dos dados, realização dos testes das suposições estatísticas multivariadas e o tratamento dos dados. O tratamento dos dados perdidos, a verificação da normalidade e a transformação dos dados para alcançar a normalidade foram descritos na metodologia, e os métodos e cálculos utilizados encontram-se no Apêndice I.

Após a etapa de exame dos dados e verificação da normalidade, foram realizados os testes de Esfericidade de Bartlett e Medida de Adequacidade da Amostra de KMO. Estes dois testes foram realizados para verificar se a análise fatorial é apropriada para a cada matriz de dados empregados na AFC e AFM. Os resultados constam na Tabela 4.4.

O teste de esfericidade de Bartlett testa a hipótese de que as variáveis não são correlacionadas na população. A hipótese básica ( $H_0$ ) diz que a matriz de correlação da população é uma matriz identidade, a qual indica que o modelo fatorial é inapropriado. Quando o nível de significância (*p-value*) da estatística  $\chi^2$  (*qui-quadrado*) for menor que 0,05, a hipótese básica é rejeitada, e, portanto, os dados são adequados para a análise fatorial (MINGOTI, 2005). Observa-se, na Tabela 4.4, que as matrizes de dados dos 6 pontos de monitoramento obtiveram valores de  $\chi^2$  com níveis de significância menores que 0,05, o que permite a aplicabilidade dos dados na análise fatorial.

A medida de adequacidade da amostra de KMO testa se a matriz de correlação inversa  $R^{-1}_{p \times p}$  é próxima da matriz diagonal, consiste em comparar os valores dos coeficientes de correlação linear observados com os valores dos coeficientes de correlação parcial (HAIR, 2005). Valores de MSA acima de 0,5 indicam que a matriz de dados é adequada para a análise fatorial.

Com exceção da M6, todos os pontos de monitoramento obtiveram índices MSA igual ou superior a 0,5, podendo ser aplicadas na análise fatorial com segurança.

Depois de identificado que a matriz M6 não alcançou o índice desejado no teste KMO, aplicou-se algumas transformações de dados com objetivo de alcançar a homocedasticidade dos dados, e procedeu-se novamente o teste KMO. Os maiores valores de MSA após as transformações não diferiram muito de 0,48, e desta forma optou-se em trabalhar com a matriz proveniente da etapa de preparação dos dados, e não utilizar os dados com a nova transformação.

Tabela 4.4. Resultados dos testes esfericidade de Bartlett e adequacidade de KMO

Ponto de coleta	Teste Bartlett		Teste KMO
	$\chi^2$	P-value	MSA
P1	188,64	8,46615E-09	0,56
P2	243,72	0,00	0,68
M3	271,99	0,00	0,67
M4	284,63	8,39E-22	0,63
M5	168,90	0,000001	0,51
M6	196,28	1,05E-09	0,48

De acordo com França (2009), o não-atendimento a este requisito não implica no total impedimento do uso da análise fatorial, mas sim na possível perda de confiabilidade nos resultados obtidos.

#### 4.2.1. Análise Fatorial rio Campinas (AFC)

A Análise Fatorial rio Campinas abrange os dois pontos de monitoramento localizados no rio Campinas, o P1, situado a montante do reflorestamento e o P2, a jusante. Os vetores aleatórios (matriz de dados) utilizados na análise fatorial do P1 e P2 possuem 14 variáveis aleatórias (parâmetros) e 45 observações (coletas), resultado em duas matrizes de 45x14 (linhasxcolunas). Na AFC foram utilizados os dados de todo o período de monitoramento, realizando uma análise fatorial para cada ponto de monitoramento.

A Tabela 4.5 apresenta a média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis aleatórias originais utilizadas na matriz de dados de cada ponto de monitoramento sobre o rio Campinas. As 14 variáveis (parâmetros) possuem diferentes escalas e unidades, e também uma grande disparidade de coeficientes de variação. Se fossem aplicadas as variáveis originais na análise fatorial, estas diferenças entre as escalas e coeficientes de variação certamente influenciariam os resultados, destacando os parâmetros com maiores percentuais de variação. Conforme descrito no item anterior, foram realizadas transformações de dados nas variáveis originais para adequação às exigências estatísticas da análise multivariada.

Mesmo após a transformação de dados, as variáveis ainda apresentavam diferenças significativas no coeficiente de variação. Desta forma, optou-se por extrair os fatores diretamente da matriz de correlação dos vetores aleatórios com os dados transformados, evitando possíveis divergências em função da diferença de escalas e unidades.

Tabela 4.5. Estatística descritiva das 14 variáveis aleatórias originais de P1 e P2.

Pontos de coleta	P1				P2			
	Média	Mediana	Desvio Padrão	% variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	% variação
T (°C)	15,56	15,2	2,34	15,0%	16,49	16,4	2,62	15,9%
pH	6,73	6,73	0,48	7,2%	7,09	7,1	0,45	6,3%
CE ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	12,81	13	2,90	22,6%	24,09	23,93	6,41	26,6%
OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	8,92	8,9	1,28	14,3%	9,06	8,7	1,30	14,3%
DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	2,81	2,72	1,52	53,9%	3,03	2,6	1,37	45,2%
TB ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	1,54	1,24	0,97	62,8%	2,76	2,24	1,80	65,1%
SD ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	29,51	26	21,44	72,7%	43,64	41	20,97	48,1%
SS ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	2,85	2,47	1,84	64,4%	3,21	2,8	1,99	62,0%
NO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,92	0,9	0,32	34,4%	0,93	0,9	0,21	22,1%
PT ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,06	0,05	0,05	83,9%	0,06	0,042	0,05	76,2%
K ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,69	0,7	0,18	25,6%	0,81	0,8	0,31	37,9%
Q ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )	0,73	0,53	0,679	92,6%	1,54	1,107	1,160	75,5%
P <sub>b</sub> (mm)	171,48	144,1	120,36	70,2%	171,48	144,1	120,36	70,2%
P <sub>b48</sub> (mm)	14,16	3	23,10	163,1%	14,16	3	23,10	163,1%

O critério de estimação do número de fatores extraídos na análise fatorial foi o de Kaiser (KAISER, 1958), o qual sugere utilizar os fatores com autovalores iguais ou superiores a 1,0. O número de fatores e os respectivos carregamentos (pesos) de cada variável da AFC estão relacionados na Tabela 4.6. As variáveis consideradas de maior importância em cada fator foram aquelas que obtiveram pesos iguais a 10,51 (absolutos) ou superiores. Liu *et al.* (2003)<sup>5</sup> citado por Liu *et al.* (2011), classificam os pesos fatoriais como “fortes”, “moderados” e “fracos”, correspondendo aos valores absolutos dos carregamentos >0,75, 0,75-0,50, e 0,50-0,30, respectivamente. Portanto, foram considerados, neste trabalho, os carregamentos considerados moderados a fortes. Na Tabela 4.5, os pesos com valores absolutos acima de 0,5 estão destacados em negrito.

Para o P1 foram extraídos 5 fatores que em conjunto respondem por 70,4% da variabilidade total dos dados. Para o P2 também foram 5 fatores, explicando 73,0% da variância total. (Tabela 4.6).

As comunalidades mantiveram-se, em geral, acima de 0,6, indicando que grande parte da variância total de cada parâmetro foi explicada pelos fatores extraídos. Apenas a Condutividade elétrica (CE) e o nitrato (NO) obtiveram comunalidades menores no ponto P1, e o pH no P2. Para melhorar a comunalidade destes parâmetros, seria necessário aumentar o número de fatores extraídos da matriz de dados, todavia, como o critério de estimação do número de fatores foi determinado previamente, optou-se por manter os 5 fatores para evitar qualquer tipo de influência ou indução nos resultados da análise multivariada, visto que o acréscimo de fatores promove alteração nos carregamentos das variáveis nos fatores rotacionados previamente extraídos.

Com o objetivo de facilitar o comparativo entre os fatores extraídos nos dois pontos de monitoramento, os parâmetros com pesos absolutos foram reunidos na Tabela 4.7.

---

<sup>5</sup> Liu, C.W.; Lin, K.H.; Kuo, Y.M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan. *Sci. Total Environ.*, 313, 77-89. 2003

Tabela 4.6. Pesos fatoriais, autovalores, comunalidades e percentual da variância explicada dos fatores extraídos na AFC.

Ponto Coleta	Fatores	$\lambda$	T	pH	CE	OD	DBO	TB	SD	SS	NO	PT	K	Q	P <sub>p</sub>	P <sub>p48</sub>	VAR	VAR <sub>ACM</sub>
Rio Campinas montante reflorestamento (P1)	1	3,54	0,15	<b>-0,59</b>	<b>-0,71</b>	-0,10	-0,05	0,46	-0,09	-0,10	-0,07	-0,08	-0,45	<b>0,76</b>	<b>0,59</b>	<b>0,78</b>	25,3%	25,3%
	2	2,1	0,00	0,43	0,21	<b>0,65</b>	<b>0,88</b>	-0,01	-0,01	0,08	<b>-0,64</b>	-0,01	-0,03	0,01	0,32	0,21	15,0%	40,3%
	3	1,71	-0,18	0,24	-0,09	-0,13	0,15	-0,23	<b>0,69</b>	0,00	0,12	<b>-0,86</b>	<b>0,63</b>	-0,06	0,02	-0,15	12,2%	52,5%
	4	1,29	0,06	0,29	0,09	0,01	-0,12	<b>0,69</b>	0,30	<b>0,77</b>	-0,19	0,21	-0,32	0,25	-0,25	0,07	9,2%	61,7%
	5	1,22	<b>0,88</b>	0,13	-0,04	<b>-0,59</b>	-0,06	0,22	-0,24	-0,07	-0,11	0,03	0,15	0,11	0,49	0,21	8,7%	<b>70,4%</b>
			$h^2_i$	0,83	0,70	0,56	0,81	0,82	0,80	0,63	0,61	0,48	0,79	0,73	0,65	0,75	0,72	
Rio Campinas juzante reflorestamento (P2)	1	4,48	0,05	-0,44	<b>-0,70</b>	-0,07	-0,17	<b>0,82</b>	0,04	<b>0,79</b>	-0,04	0,22	<b>-0,59</b>	<b>0,73</b>	0,42	<b>0,62</b>	32,0%	32,0%
	2	2,18	-0,11	0,18	0,11	<b>0,87</b>	<b>0,83</b>	-0,20	0,26	-0,20	-0,01	<b>-0,53</b>	-0,14	-0,17	0,25	0,17	15,6%	47,6%
	3	1,42	<b>0,88</b>	-0,38	-0,01	-0,03	0,03	0,08	-0,14	-0,01	-0,19	0,25	0,00	0,36	<b>0,62</b>	0,29	10,1%	57,7%
	4	1,13	-0,01	0,13	<b>0,54</b>	0,23	-0,24	0,09	0,20	0,20	<b>0,75</b>	<b>0,50</b>	-0,13	-0,09	-0,32	-0,32	8,1%	65,8%
	5	1,01	-0,16	-0,22	0,17	0,10	0,01	-0,18	<b>0,82</b>	0,19	0,10	-0,20	<b>0,69</b>	-0,24	0,01	-0,07	7,2%	<b>73,0%</b>
			$h^2_i$	0,82	0,43	0,82	0,82	0,78	0,75	0,81	0,74	0,62	0,68	0,86	0,75	0,72	0,61	

$\lambda$ : Autovalor     $h^2_i$ : Comunalidade.    VAR: Variância total explicada pelo fator.    VAR<sub>acm</sub>: Variância total acumulada.

O fator de maior importância para P1, com autovalor igual a 3,54 e responsável por 25,3% da variância total, têm como principais parâmetros a vazão (Q), precipitação pluviométrica mensal (P<sub>p</sub>) e precipitação 48h antes das coletas (P<sub>p48</sub>), com pesos positivos, e pH e condutividade elétrica (CE) com carregamentos negativos. Este fator demonstra a relação de variação do pH e CE em função dos índices pluviométricos e a vazão do rio Campinas, apresentando-se mais elevados em períodos com menores volumes de precipitação e escoamento superficial, e menores conforme aumento da vazão. Para a CE, maiores incidências de chuva e conseqüente aumento no deflúvio implicam no efeito de diluição dos eletrólitos dissolvidos, e, conseqüentemente, diminui a condutividade elétrica da água. Este efeito de diluição é citado por Vega *et al.* (1998) e França (2009).

Já em relação ao pH, com o aumento da vazão, ocorre ligeira acidificação da água. Isto pode estar relacionado a dois fatores: (1) maior carregamento de ácidos orgânicos para os cursos de água em eventos pluviométricos, provenientes da matéria orgânica decomposta ou em decomposição durante o transporte pelo deflúvio, ou (2) diluição de compostos químicos que conferem características alcalinas à água.

Tabela 4.7. Síntese dos fatores extraídos de cada matriz de dados.

Fator	P1		P2	
	Variáveis com pesos > 10,5l	% VAR	Variáveis com pesos > 10,5l	% VAR
1	Q(+) P <sub>p</sub> (+) P <sub>p48</sub> (+) pH(-) CE(-)	25,3	TB(+) SS(+) Q(+)P <sub>p48</sub> (+) CE(-) K(-)	32
2	OD(+) DBO(+) NO(-)	15	OD(+) DBO(+) PT(-)	15,6
3	SD(+) K(+) PT(-)	12,2	T(+) P <sub>p</sub> (+)	10,1
4	TB(+) SS(+)	9,2	CE(+) NO(+) PT(+)	8,1
5	T(+) OD(-)	8,7	SD(+) K(+)	7,2

Observa-se, na Tabela 4.7, que o fator de maior importância para o P2, com percentual da variância de 32%, também relaciona o efeito de diluição da vazão e P<sub>p48</sub> sobre a condutividade elétrica, todavia, difere significativamente com a inclusão dos parâmetros turbidez (TB) e sólidos suspensos totais (SS), com correlações positivas com Q e P<sub>p48</sub>. Isto significa que o P2, rio Campinas a jusante do reflorestamento, esteve mais suscetível ao carregamento de sólidos suspensos para

os cursos de água em eventos pluviométricos se comparado ao P1. A turbidez e os sólidos suspensos totais aparecem apenas no 4º fator do P1.

O segundo fator de P1, responsável por 15% da variância total, relaciona o oxigênio dissolvido (OD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), com pesos positivos, e o nitrato (NO), com sinal contrário. Diferente do esperado, OD e DBO apresentaram correlações positivas neste fator. Em geral, com o aumento da DBO em um determinado ponto de um curso de água, a tendência é ocorrer maior consumo de oxigênio e consecutivamente diminuir sua concentração na água.

Mazlum *et al.* (1999) também obtiveram fator com correlações positivas para OD e DBO, sendo este o principal fator extraído (23,8% da variância total), relacionando também temperatura e condutividade, com pesos negativos. Os autores consideram que a DBO registrada na estação de monitoramento era muito baixa, próximo a 3 mg.L<sup>-1</sup>, o que explica a não diminuição nas concentrações de OD. De forma semelhante ocorreu nesta pesquisa, onde os valores de DBO variaram entre 0,8 a 5,89 mg.L<sup>-1</sup> no P1, não sendo suficiente para afetar as concentrações do oxigênio dissolvido. Soma-se a este fato, o elevado potencial de oxigenação dos cursos de água monitorados em virtude das condições naturais do relevo, proporcionando formação freqüente de corredeiras com fluxo hídrico turbulento.

O Fator 2 do P2, com autovalor de 2,18 e variância total de 15,6%, é semelhante ao segundo fator do P1, com pesos positivos para OD e DBO, e negativo para PT. Apenas NO foi substituído por PT no Fator 2 P2.

O Fator 3 do ponto 1, com variância de 12,2%, destacou os parâmetros sólidos dissolvidos totais (SD) e potássio (K) com pesos positivos, e o fósforo total (PT), no sentido contrário. No fator 4, sobressaíram a turbidez (TB) e o material em suspensão (SS) com carregamentos positivos. Já o Fator 5 demonstra a relação contrária da temperatura da água (T) com o OD.

O 3º fator de maior importância para o ponto 2 possui autovalor igual a 1,42 e explica 10,1% da variância total dos dados. Este fator relaciona a temperatura da água e a precipitação pluviométrica mensal, com pesos positivos. Este fator faz sentido quando se avalia o período com maiores índices pluviométricos, que ocorre, geralmente, no final da primavera durante o verão, quando a temperatura do ar é mais elevada, influenciando a temperatura da água. O Fator 4 relaciona a CE, NO e PT com pesos positivos. Como o Fator 1 demonstra que a condutividade elétrica no P2 apresenta valores mais elevados em períodos com menores precipitações

pluviométricas, é provável que o nitrato e o fósforo total também se elevam em época de estiagem. O fator 5 do P2 demonstra a relação positiva entre o SD e o K, representando 7,2% da variância.

Para melhor entendimento dos principais fatores extraídos em cada ponto de coleta, e avaliar a influência da atividade de corte dos pinus sobre os parâmetros de qualidade de água, foram calculados os escores fatoriais das campanhas de campo e plotados nos gráficos de dispersão (*scatterplots*).

A Figura 4.8 apresenta o gráfico dos carregamentos dos fatores 1 e 2 do P1 (*factor loadings plot*), e a Figura 4.9 os escores das coletas destes fatores (*scatterplots*). Observa-se, na Figura 4.9, a formação de 6 grupos de coletas com características semelhantes, e 5 pontos de *outliers*, que representam eventos extremos. De modo geral, o Fator 1 do P1, conforme descrito anteriormente, traduz o efeito de diluição da vazão do rio Campinas sobre os parâmetros CE e pH, concentrando as coletas com menores volumes de chuva e maiores valores de CE e pH no lado esquerdo do gráfico (Figura 4.9), com escores negativos, e o contrário, obtiveram escores positivos para o Fator 1. Para o Fator 2, as coletas com escores positivos apresentam maiores concentrações de OD e DBO, e menores de nitrato, já as coletas com escores negativos possuem valores menores de OD e DBO e maiores para NO.

O grupo I, formado pelas coletas 4 (jul/07), 5 (ago/07) e 14 (jun/08), representa momentos de intensa estiagem, com  $P_p$  entre 27 mm a 109 mm e  $P_{p48}$  entre 0,4 mm a 1,4 mm, registrando-se as menores vazões do rio Campinas no P1,  $0,198 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para a coleta 4,  $0,068 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para a coleta 5 e  $0,277 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na 14ª coleta. A média da vazão do P1 nas 45 coletas foi de  $0,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Tabela 4.5).

A redução na vazão promoveu a concentração de sais dissolvidos ionizados e, conseqüentemente, elevação na condutividade elétrica. Os valores registrados de condutividade elétrica foram  $17,5 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ,  $16,7 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  e  $16,5 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  para as coletas 4, 5 e 14, respectivamente. A maior condutividade registrada no P1 ocorreu em agosto de 2008 (coleta 16), alcançando  $17,9 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , após um período de 5 meses sucessivos de baixos índices pluviométricos. Destacou-se também neste grupo leve aumento no pH, com valores entre 7,1 e 7,7, sendo a média registrada durante o monitoramento de 6,73, e a máxima 7.8. Como estas coletas ocorreram no inverno, onde predominam as baixas temperaturas, a solubilidade do oxigênio prevalece e foram registradas concentrações elevadas de oxigênio dissolvido no P1

do rio Campinas. Contudo, a demanda bioquímica de oxigênio também apresentou valores altos (comparado aos valores obtidos neste monitoramento), provavelmente em função da concentração de substâncias orgânicas na água e pela baixa taxa de degradação de matéria orgânica devido a temperaturas amenas.

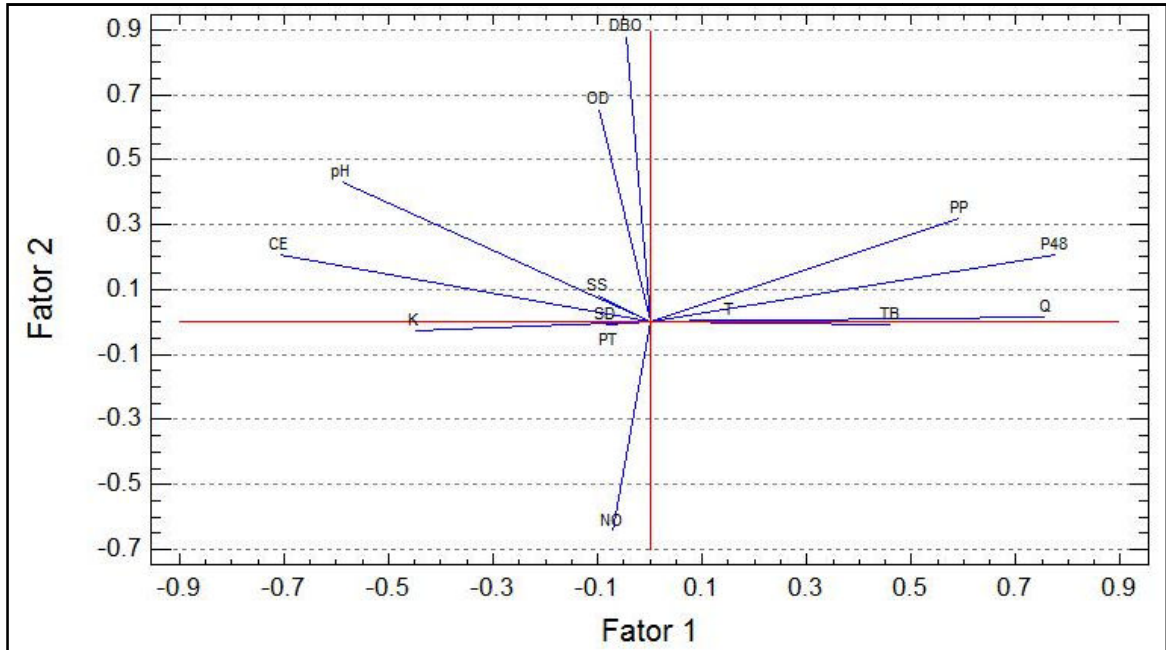


Figura 4.8. Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 do Ponto 1, responsáveis por 40,3% da variância total dos dados.

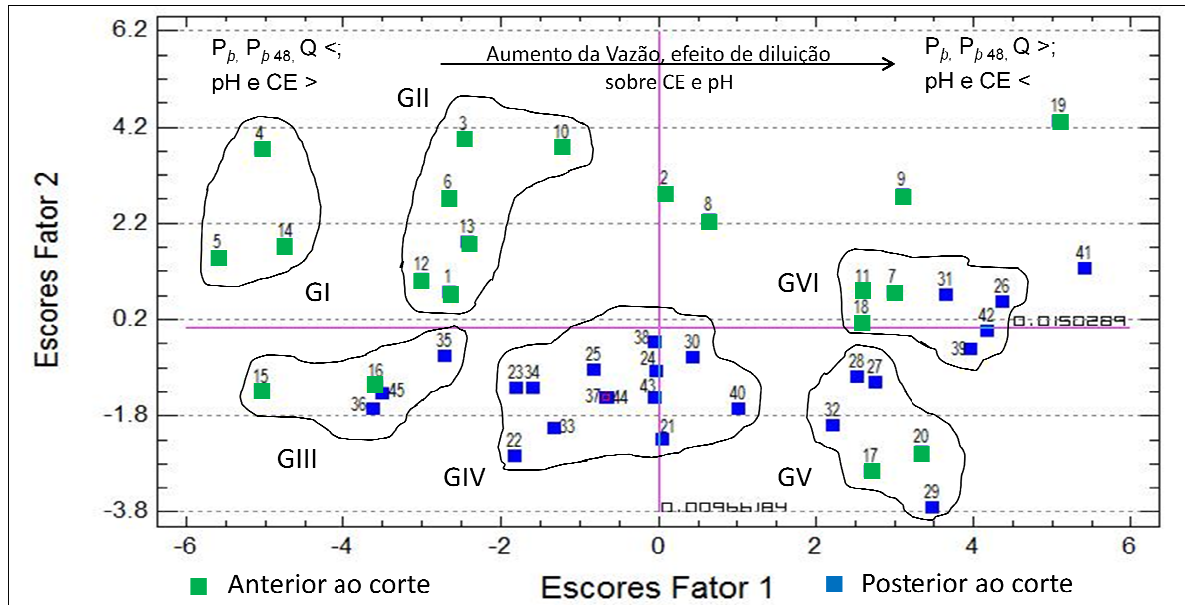


Figura 4.9: Escores das coletas para os fatores 1 e 2 do Ponto 1.

O Grupo II é formado pelas coletas 1, 3, 6, 10, 12 e 13, e possui características semelhantes ao grupo I, com valores elevados de CE, pH, OD e DBO, e baixos índices pluviométricos e de vazão, porém não tão reduzidos como o primeiro grupo. Compreende as coletas com registro de vazão entre  $0,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e

0,78  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , ou seja, variando entre baixa e média vazão. A precipitação pluviométrica mensal ( $P_b$ ) manteve-se baixa na maioria das coletas, mas também se registrou valores elevados para a coleta 1 (fev/07), com volume 203,74 mm, e para a coleta 10 (fev/08), com 281,4 mm. Entretanto, os volumes de chuva 48 horas antes de cada coleta ( $P_{b48}$ ) foram baixos em todas as campanhas de campo deste grupo, entre 0 a 6,2 mm.

O Grupo III compreende as coletas 15, 16, 35, 36 e 45, que ocorreram no inverno (junho a agosto) e início da primavera (setembro). É marcado por valores baixos de  $P_b$  (21,2mm a 118,26 mm) e precipitação 48h nula ou extremamente reduzida (até 0,2 mm), resultando em vazões abaixo da média, (0,16  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a 0,46  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). A CE manteve-se alta em todas as coletas deste grupo, com valores entre 15  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  a 17,9  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Nestes aspectos, o Grupo III é semelhante ao Grupo I, entretanto, diferem no comportamento de pH, OD, DBO e  $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ .

O pH das coletas que compõem o Grupo III manteve-se entre 6,7 e 7,1, próximos à sua média de 6,73, da mesma forma que o OD, cujos valores variaram entre 8,4  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  e 9,5  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . A média registrada de OD nas 45 coletas foi de 8,9  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (Tabela 4.5). Para a DBO foram registrados valores bem abaixo da média, entre 1,1  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  a 1,9  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , e valores elevados para nitrato, entre 1,0 a 1,4  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{N} \cdot \text{NO}_3^-$ , sendo e que as médias, foram 2,8  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  e 0,91  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{N} \cdot \text{NO}_3^-$  para a DBO e o nitrato, respectivamente. Este fato indica ocorrência de degradação de matéria orgânica, promovendo a diminuição da demanda bioquímica de oxigênio e elevação da concentração de nitrato, que é a forma de nitrogênio mais oxidada. Além disso, observa-se sutil redução do pH, comparado aos outros dois grupos anteriores que representam condições de estiagem, o que também pode estar associado com a degradação da matéria orgânica.

O Grupo IV reúne as coletas 21, 22, 23, 24, 25, 30, 33, 34, 37, 38, 40, 43 e 44, cuja composição dos parâmetros de qualidade de água não resultou em escores representativos para os dois fatores em questão.

O Grupo V, formado pelas coletas 17, 20, 27, 28, 29 e 32, tem como características valores elevados para  $P_b$ ,  $P_{b48}$  e NO, valores próximos a média ou baixos para CE, pH, OD e DBO, e condição de vazão média a elevada. A precipitação pluviométrica mensal ( $P_b$ ) variou entre 115,1 mm e 343,4 mm, e os volumes para  $P_{b48}$  foram de 2,0 mm a 36,4 mm. Apesar dos volumes elevados de chuva, a vazão manteve-se próximo aos valores médios (0,734  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), ou pouco

acima, com fluxos entre  $0,52$  e  $1,18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Se for considerada a mediana da vazão entre as 45 coletas, cujo valor obtido foi  $0,5272 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , o Grupo V representa coletas com vazões elevadas. As coletas do Grupo V foram realizadas na primavera (17, 27 e 28), início do verão (20 e 29) e início do outono (32).

As coletas 7, 11, 18, 26, 31, 39, 42, que compõem o grupo VI, representam momentos com elevados índices de  $Pp$ ,  $Pp_{48}$  e  $Q$ , valores médios para DBO, OD e NO, e baixos para CE e pH. A principal característica deste grupo são valores elevados de  $Q$ , variando de  $0,75$  a  $2,17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , o que se refletiu em baixos índices de CE e pH devido ao efeito de diluição.

As coletas 9, 19 e 41, são eventos extremos de precipitação pluviométrica e vazão. Na coleta 9, realizada em janeiro de 2008, registrou-se  $504,1$  mm de precipitação acumulada mensal ( $Pp$ ), sendo a maior registrada durante todo o período de monitoramento. Já na coleta 19, de novembro de 2008, houve o maior volume de chuva 48h antes da coleta,  $101,8$ mm, e na coleta 41 (fev/2010), registrou-se a vazão máxima do rio Campinas no P1, que foi  $4.09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

A Figura 4.10 apresenta os pesos dos fatores 1 e 2 do P2, que respondem, em conjunto, por 47,6% da variabilidade total dos dados, e a Figura 4.11 os escores das coletas para estes fatores. Observa-se, na Figura 4.11, a formação de 6 grupos de coletas com características semelhantes, e 2 pontos de *outliers*.

O Grupo I, formado pelas coletas 1, 3, 4, 5, 6, 12, 14, 15 e 16, é caracterizado por eventos com baixos volumes de  $Pp_{48}$  e  $Q$ , e concentrações baixas de TB, SS e PT. Em contrapartida, CE, OD, DBO e K apresentaram-se próximo aos valores médios ou elevados, com predominância de valores acima da média. Estas coletas ocorreram principalmente no inverno, como é o caso das coletas 3 a 6 (junho a setembro de 2007) e 14 a 16 (junho a agosto de 2008), que para a área de coleta coincide com o período de estiagem. A vazão do rio Campinas variou de  $0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a  $0,98 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , bem abaixo da média  $1,54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Tabela 4.5), e os volumes de  $Pp_{48}$  registrados foram até  $1,4$  mm.

O Grupo II abrange as coletas 2, 8, 9, 18, 19 e 20, e configura comportamento oposto ao Grupo I quanto aos volumes de precipitação pluviométrica e de escoamento superficial. Foram registradas vazões entre  $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $3,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $Pp_{48}$  entre  $6,8$  mm e  $101,8$  mm. Nestas condições, a condutividade elétrica apresentou baixos valores, bem como as concentrações de fósforo total. OD e DBO mantiveram-se elevados, com destaque para a DBO com concentrações entre  $3,9$

mg.L<sup>-1</sup> e 5,1 mg.L<sup>-1</sup>. Apesar dos grandes volumes de deflúvio, a TB, SS obtiveram valores medianos, da mesma forma para K.

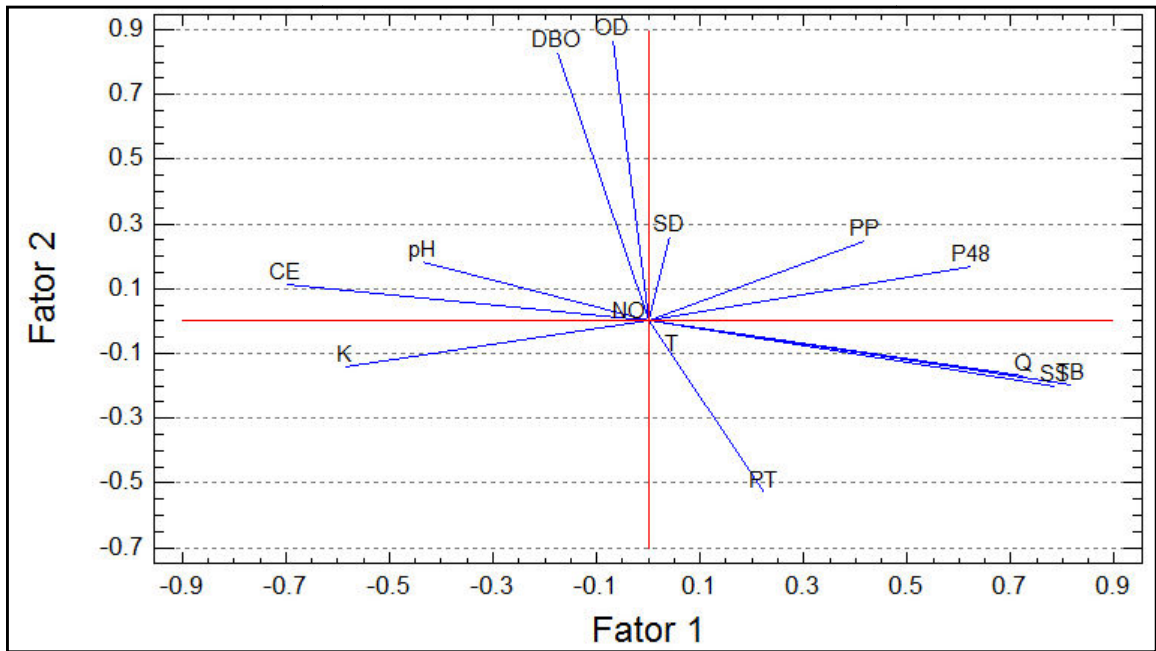


Figura 4.10: Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 do Ponto 2, responsáveis por 47,6% da variância total dos dados.

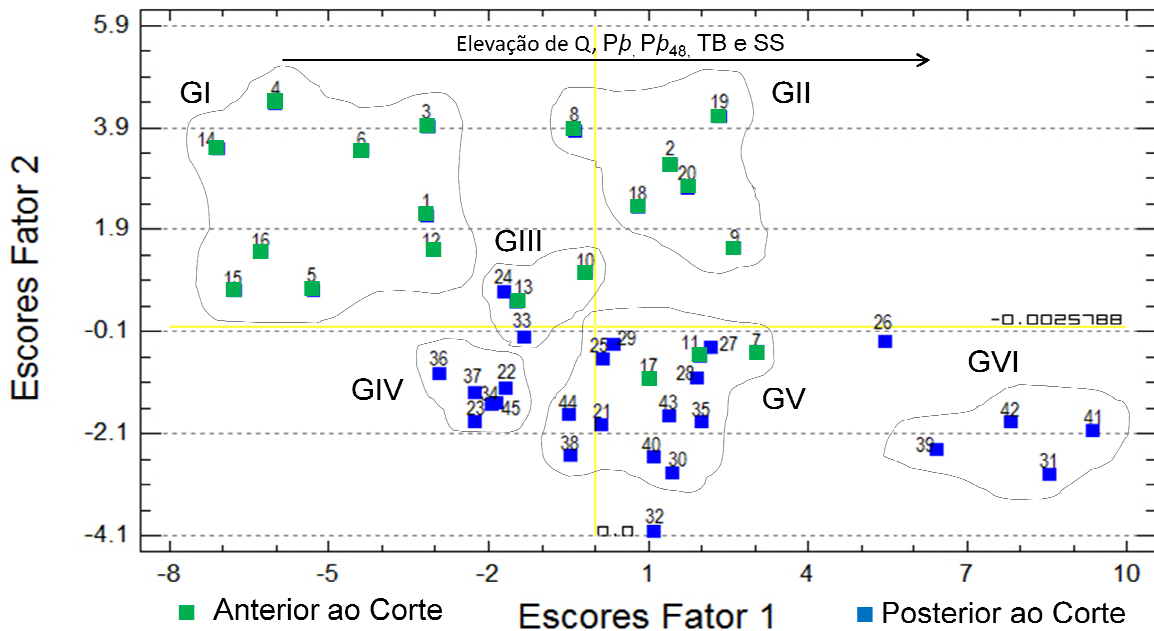


Figura 4.11: Escores das coletas para os fatores 1 e 2 do Ponto 2.

Todas as coletas dos grupos I e II foram realizadas no período anterior ao corte, entre fevereiro de 2007 a dezembro de 2008 (coletas 1 a 20). Apresentam nitidamente o efeito de diluição sobre a CE e K em eventos pluviométricos mais intensos, como descrito na Figura 4.11. O período anterior ao corte também é marcado por valores mais elevados de OD e DBO, e menores concentrações de

fósforo total, o que manteve estes dois grupos com escores positivos para o Fator 2, e por isso localizam-se na parte superior do gráfico.

As coletas 10, 13, 24 e 33 formam o Grupo III, e têm como características valores baixos para  $P_{b_{48}}$ , PT, TB e SS, médios para K e OD, e índices médios a elevados para CE e DBO. Apresentou amplitude grande para a vazão, variando desde  $0,47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (coleta 24) até  $2,24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (coleta 10). As coletas 10 e 13 foram realizadas no verão (fev/2008) e outono (mai/08), com condição de vazão e precipitação elevadas, enquanto que as coletas 24 e 33 foram executadas no inverno (jun de 2009 e 2010), com menores volumes de escoamento e precipitação. Este é um resultado interessante, pois o comportamento dos parâmetros de qualidade de água nas duas coletas realizadas no período anterior ao corte (10 e 13), com vazão elevada, foi semelhante ao comportamento dos parâmetros nas coletas realizadas após o corte (24 e 33), no período de estiagem.

O Grupo IV é formado pelas coletas 22, 23, 34, 36, 37 e 45, e expressa condição de estiagem do Período Posterior ao Corte. A amplitude da vazão neste grupo foi de  $0,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a  $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , e em todas as coletas a  $P_{b_{48}}$  foi nula (0,0 mm). Nesta condição, registraram-se valores elevados para CE, PT e K, baixos para OD e DBO e valores intermediários a reduzidos para TB e SS.

O Grupo V possui o maior número de coletas dentre os demais grupos, sendo 3 delas do período anterior ao corte (7, 11 e 17), e as demais do período posterior ao corte (21, 25, 27, 28, 29, 30, 35, 38, 40, 43 e 44). É um grupo que apresenta grande amplitude de valores para a maioria dos parâmetros relacionados nos fatores 1 e 2, mas a composição destes não resultou em escores expressivos para nenhum dos dois fatores. Em geral, as concentrações de OD e DBO apresentaram-se mais reduzidas, e concentrações de fósforo total mais elevadas. Os volumes de  $P_{b_{48}}$  variaram de 0,0 mm a 31 mm, e vazão entre  $0,78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a  $2,58 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Constituem, portanto, coletas com maiores volumes de precipitação e deflúvio comparados ao Grupo IV. Este grupo teve maior pronunciamento no Fator 2, alcançando escores entre 0 a -2,9, em função das menores concentrações de OD e DBO e maiores para PT.

O Grupo VI abrange as coletas 31 (fev/2010), 39 (dez/2010), 41 (fev/2011) e 42 (mar/2011), todas realizadas no período posterior ao corte, e na estação chuvosa. Registraram-se volumes de  $P_{b_{48}}$  entre 15 mm (coleta 39) a 82 mm (41), e vazão entre  $2,54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (31) e  $6,85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (41), ou seja, todas acima da média.

Turbidez, sólidos suspensos totais e fósforo total também se pronunciaram com índices elevados, variando, respectivamente, de 3,78 a 9,87 NTU, 6,8 a 8,4 mg.L<sup>-1</sup> e 0,11 a 0,16 mg.L<sup>-1</sup> P. Em contrapartida, CE, OD, DBO e K obtiveram valores abaixo da média, ou seja, menores que 24,1 µS.cm<sup>-1</sup>, 9,1 mg.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>, 3,02 mg.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> e 0,81 mg.L<sup>-1</sup> K, respectivamente.

Para o período posterior ao corte, o Fator 1 também demonstrou o efeito de diluição sobre CE e K, mas evidenciou, sobretudo, a influência das atividades de corte de pinus em APP e pinus comercial no aumento das taxas de erosão, proporcionando maior entrada de sedimentos e fósforo total para os cursos de água.

Guimarães *et al.* (2011), realizaram o mapeamento com as estimativas de perda de solo por erosão laminar para a classificação de uso de solo de 2005, e já alertavam sobre este possível aumento nas taxas de erosão. Os autores identificaram que as áreas com plantio de pinus comercial demonstravam potencial de perdas de solo entre 0 a 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, e pinus em APP entre 0 a 50 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, e que a exposição do solo nestas áreas em eventos de corte raso poderia elevar as taxas de erosão para 200 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ou até superiores.

Contudo, apesar de ficar evidente que no período posterior ao corte houve elevação da turbidez, sólidos suspensos totais e fósforo total no rio Campinas a jusante do reflorestamento, os valores máximos registrados para estes parâmetros foram 9,87 NTU, 8,4 mg.L<sup>-1</sup> e 0,26 mg.L<sup>-1</sup> P, respectivamente. Comparados aos limites estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005 para rios de Classe 1 (Brasil, 2005), classe de enquadramento dos rios monitorados, a turbidez ainda se encontra abaixo do limite de 40 NTU, mas o PT alcançou valor quase 3 vezes superior à faixa recomendada de 0,10 mg.L<sup>-1</sup> P.

#### 4.2.1.1. Síntese da Análise Fatorial Rio Campinas (AFC)

A análise fatorial foi aplicada com objetivo de sintetizar a matriz de dados, identificar os parâmetros que sofreram maiores variações durante o período de monitoramento, a relação entre as variáveis aleatórias, a influência do regime pluviométrico sobre a variação dos parâmetros e a influência da extração dos pinus das APPs sobre a qualidade de água.

O P1 é representativo de uma área sob influência de floresta nativa, enquanto que o P2 inclui em sua área de drenagem a fazenda com plantio de pinus que passou pela atividade de corte. No ponto de monitoramento P1, rio Campinas a montante do reflorestamento, foram extraídos 5 fatores da matriz de dados na análise fatorial que explicam 70,4% da variação total dos dados. Os parâmetros que se destacaram foram Q,  $P_b$ ,  $P_{p48}$ , pH, CE, OD, DBO e NO, extraídos nos dois principais fatores, que explicam em conjunto 40,3% da variância total.

O primeiro fator do Ponto 1 evidenciou o efeito de diluição sobre a condutividade elétrica e o pH em função das alterações dos índices pluviométricos e da vazão. Este fenômeno é comumente encontrado em ambientes lóticos naturais. O segundo fator de P1 demonstrou a tendência de redução do oxigênio dissolvido com o aumento da formação de nitrato, que é a forma mais oxidada do nitrogênio solubilizado, o que também configura um comportamento comum em ecossistemas aquáticos.

Para o P2, foram extraídos 5 fatores na análise fatorial que explicam 73,0% da variação total dos dados. Os parâmetros que se destacaram foram Q,  $P_b$ ,  $P_{p48}$ , K, CE, TB, SS, OD, DBO e PT, extraídos nos dois principais fatores, que explicam em conjunto 47,6% da variância total dos dados. O fator de maior importância para o P2 apresentou condição similar ao primeiro fator de P1, referente ao efeito de diluição sobre a condutividade elétrica em virtude das oscilações da vazão e índices pluviométricos, assim como sobre o potássio. Entretanto, também demonstrou que sólidos suspensos totais e a turbidez estão relacionados positivamente com os índices pluviométricos e a vazão, indicando condição de suscetibilidade a erosão.

Os dois principais fatores de cada ponto de monitoramento foram analisados em conjunto nos gráficos de dispersão dos escores fatoriais para aprofundamento sobre a variação da qualidade da água durante a fase de monitoramento, identificar a relação dos parâmetros com os índices pluviométricos, e realizar o comparativo entre as coletas do período anterior e posterior ao corte de pinus. Com base nestes gráficos de dispersão, ficou evidente que as maiores saídas de sedimentos em suspensão ocorreram a jusante do reflorestamento (P2) e no período posterior ao corte. Notou-se também que o fósforo total também demonstrou maiores concentrações no rio Campinas após a atividade de corte no P2.

Com relação ao oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio, tanto no ponto a montante (P1) como a jusante (P2) do reflorestamento, observou-se maiores concentrações no período anterior ao corte.

#### 4.2.1.2. Análise gráfica rio Campinas

Depois de identificados os principais fenômenos atuantes sobre o rio Campinas durante o período de monitoramento, e evidenciado quais os parâmetros que apresentaram maiores variações, indicados pela Análise Fatorial rio Campinas (AFC), confeccionaram-se os gráficos de variação temporal das variáveis aleatórias, utilizando como escala de tempo as coletas realizadas. As variáveis foram agrupadas conforme os carregamentos obtidos em cada fator.

A Figura 4.12 apresenta a variação temporal dos parâmetros condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH), vazão (Q), precipitação acumulada mensal ( $P_b$ ) e precipitação 48 horas anteriores às coletas. Estes parâmetros obtiveram pesos absolutos superior a 0,5 no Fator 1 para o P1. O Fator 1 para o P2 também relacionou estas variáveis, com exceção do pH. Esta figura evidencia a sazonalidade da variação da CE e do pH em função do regime pluviométrico, apresentando-se mais elevados em período de estiagem e menor escoamento superficial, e reduzidos conforme aumenta a vazão.

A condutividade elétrica do rio Campinas aumenta de forma expressiva após percorrer a área do reflorestamento, como pode ser observado na diferença entre os pontos P1 e P2 durante todo o período de monitoramento (Figura 4.12). Conclui-se, portanto, que ocorre maior entrada de sais dissolvidos para o rio Campinas no trajeto entre a entrada e saída da fazenda reflorestada, ou então eleva o potencial de dissociação dos sais dissolvidos, aumentando a concentração de substâncias ionizadas. Os parâmetros monitorados nesta pesquisa com potencial de influenciar a condutividade elétrica, o nitrato e o potássio, não apresentaram diferenças significativas entre o ponto de monitoramento a montante e o ponto a jusante do reflorestamento. Apesar deste aumento, a condutividade elétrica do rio Campinas se mantém bastante reduzida, com valor máximo registrado de  $35,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

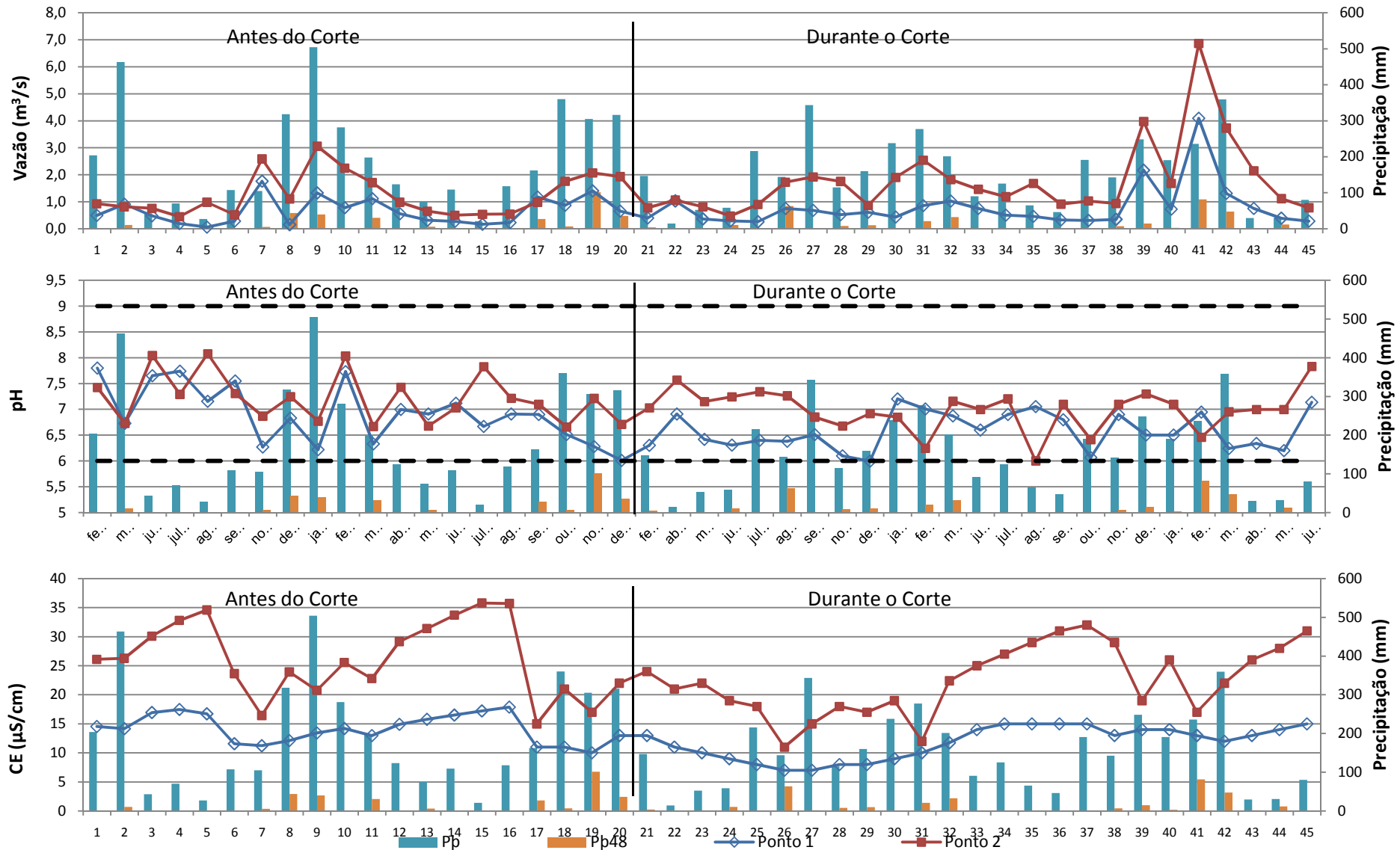


Figura 4.12: Comparativo entre as variáveis CE, pH, Q, Pp e Pp<sub>48</sub> dos pontos 1 e 2, rio Campinas entrada e saída da área de reflorestamento.

O pH do rio Campinas, no período anterior ao corte, apresenta-se, em geral, mais alcalino a jusante do reflorestamento. Este comportamento não é tão pronunciado, ocorrendo, em algumas coletas, o inverso, como pode ser visualizado na Figura 4.12. Todavia, logo após o início do corte, houve aumento expressivo no pH do rio Campinas após percorrer o reflorestamento durante 9 meses consecutivos no ponto a jusante, coincidindo com o período de baixa vazão. Entretanto, manteve-se de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005 na maior parte das coletas, tendo sido registrado 4 eventos com valores próximos ao limite inferior de 6 unidades de pH ou pouco abaixo, sendo 3 deles no ponto a montante do reflorestamento.

A Figura 4.13 demonstra a relação dos parâmetros oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e fósforo total (PT), os quais se destacaram no Fator 2 do P2. OD e DBO também se destacaram no Fator 2 para o P1, com pesos positivos, mas PT não foi relacionado. O nitrato foi o terceiro parâmetro com peso superior ao 10,51 no Fator 2 do P1. Na figura 4.13 ficou evidente a maior concentração de OD e, sobretudo, DBO, no período anterior ao corte tanto para P1 como para P2. O gráfico do oxigênio dissolvido demonstra ótimas condições de oxigenação do rio Campinas tanto a montante como a jusante do reflorestamento, com apenas dois eventos onde a concentração de OD ficou próxima ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de Classe 1 (coletas 17 e 32). Já a DBO apresentou diversos eventos com valores acima do padrão para rios de Classe 1 para os dois pontos de monitoramento, principalmente nas coletas do período anterior ao corte.

A concentração de fósforo total foi bastante influenciada pela atividade de corte de pinus, nos dois pontos de monitoramento, como pode ser observado na Figura 4.13. Conforme descrito no item 4.1, apesar de 99,3% da área de drenagem do P1 ser coberta por vegetação nativa preservada, houve registro de atividade de corte de pinus em APP nas nascentes de um tributário que deságua próximo do ponto de coleta. Apesar de ocorrer em uma área pequena, 2,68 ha (0,23 % da área total), foi suficiente para aumentar as concentrações de fósforo total, principalmente nas coletas 31, 38 e 39, quando houve aumento na vazão.

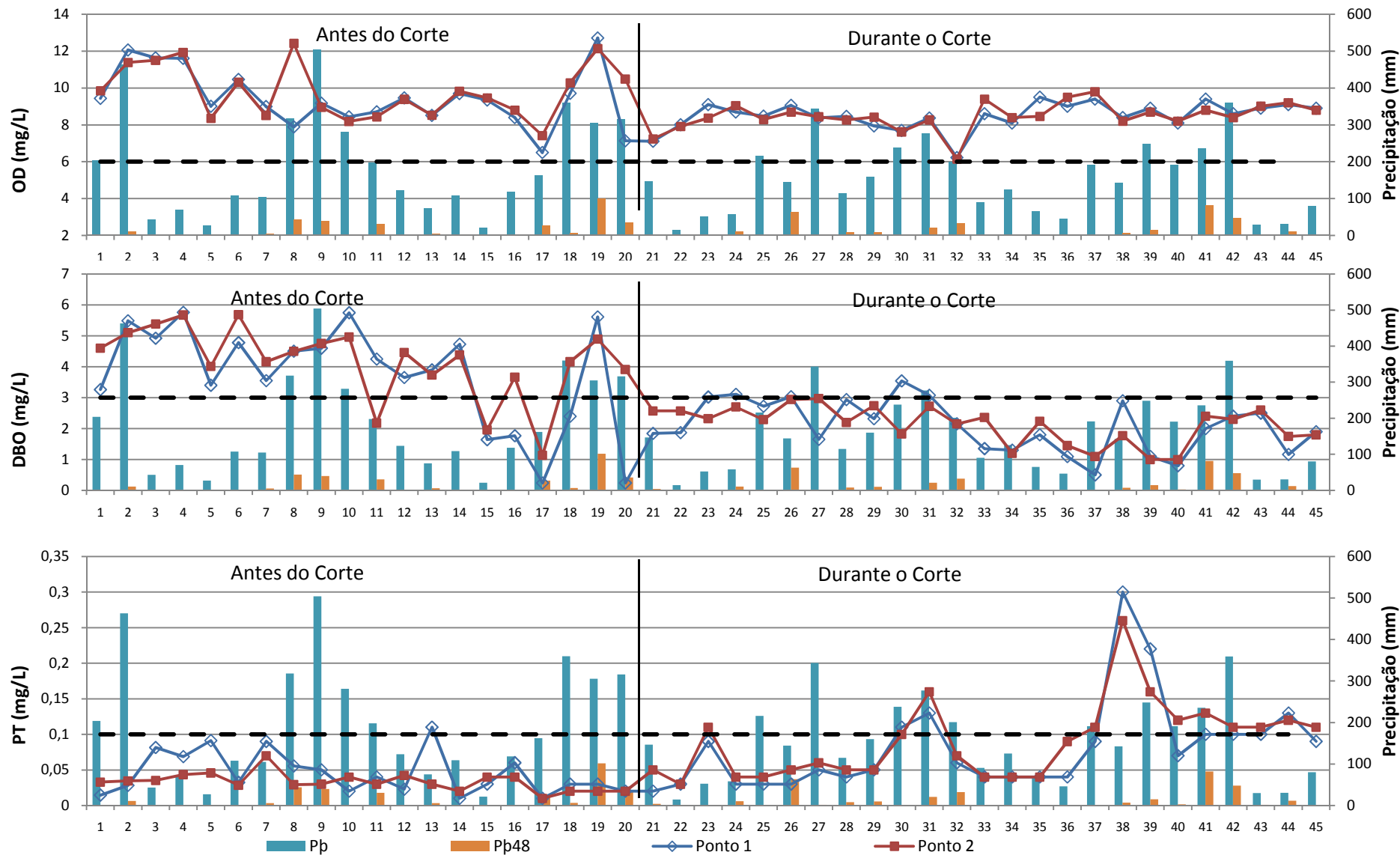


Figura 4.13: Comparativo entre as variáveis PT, DBO, OD, Pp e Pp<sub>48</sub> dos pontos 1 e 2, rio Campinas entrada e saída da área de reflorestamento.

No período anterior ao corte dos pinus em áreas de preservação permanente e dos pinus comercial, apenas um evento foi registrado com fósforo total acima de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ , limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, que ocorreu no Ponto 1 na coleta 13, realizada em maio de 2008. No período posterior ao corte os eventos com extrapolação das concentrações de fósforo total frente aos padrões de qualidade de água foram recorrentes, sobretudo no final do monitoramento, entre novembro de 2010 e junho de 2011, deixando evidente a influência da atividade de corte sobre a saída de fósforo pelo deflúvio.

Os parâmetros turbidez (TB), sólidos suspensos totais (SS) e potássio (K), que obtiveram carregamentos fortes a moderados no Fator 1 do P2, foram plotados nos gráficos da Figura 4.14. No período anterior ao corte, a turbidez variou entre 0,49 e 3,12 NTU no P1 e entre 0,96 a 4,12 NTU no ponto 2. Nota-se sutil diferença na turbidez do rio Campinas entre os dois pontos de coleta, com maiores valores a jusante. Durante o período de corte da vegetação exótica, esta diferença se acentuou, com destaque para as coletas 26, 31, 35, 41 e 42.

O parâmetro SS apresentou grande variabilidade já durante o período anterior ao corte, mas teve expressivo aumento na variação durante a fase de extração dos pinus. O potássio apresentou maior variação no período anterior ao corte, com tendência de maiores concentrações no P2 nas coletas com menores volumes de chuvas (coletas 4, 5, 6, 14, 16 e 17). Nas coletas com atividade de corte, a concentração de potássio a jusante e a montante foram similares.

Contudo, apesar de ficar evidente que no período posterior ao corte houve elevação da turbidez, sólidos suspensos totais e fósforo total no rio Campinas a jusante do reflorestamento, os valores máximos registrados para estes parâmetros foram 9,87 NTU,  $8,4 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $0,26 \text{ mg.L}^{-1}$  P, respectivamente. Comparados aos limites estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005 para rios de Classe 1 (Brasil, 2005), classe de enquadramento dos rios monitorados, a turbidez ainda se encontra abaixo do limite de 40 NTU.

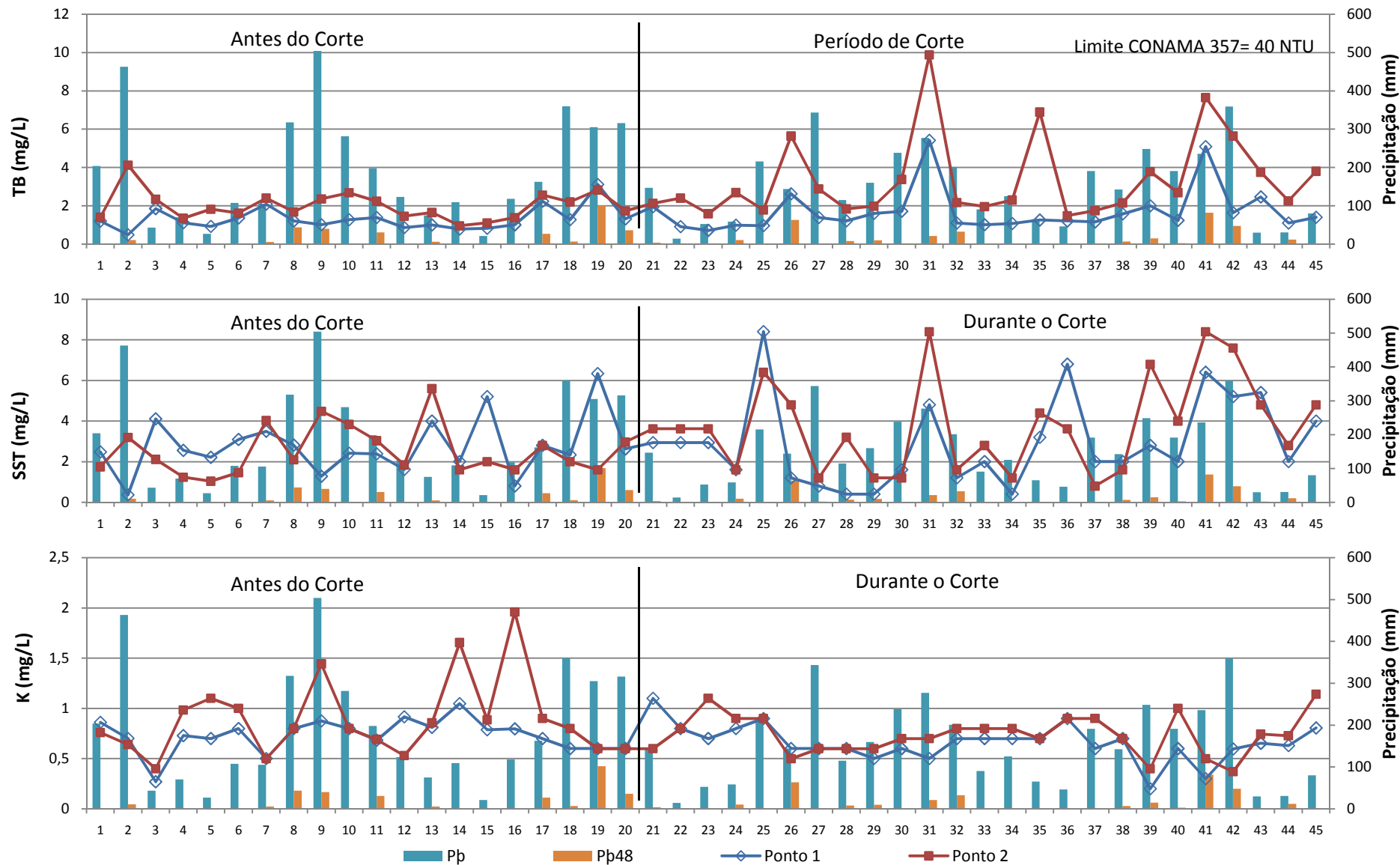


Figura 4.14: Comparativo entre as variáveis K, SS, TB, Pp e Pp<sub>48</sub> dos pontos 1 e 2, rio Campinas entrada e saída da área de reflorestamento.

#### 4.2.2. Análise Fatorial Microbacias (AFM)

A Análise Fatorial Microbacias Experimentais (AFM) foi realizada com as microbacias M3, *Pinus taeda* plantados em 1999, M4, *Pinus taeda* plantados em 1991, M5, *Pinus taeda* e *P. elliotti* plantados em 1971, e a M6, microbacia floresta nativa. Os vetores aleatórios (matriz de dados) utilizados na análise fatorial de M3, M4 e M6 possuem 14 variáveis aleatórias (parâmetros) e 45 observações (coletas), e a M5 possui uma observação a menos, ou seja, foi empregada uma matriz de 44x14(coletaxparâmetros).

Os fatores da AFM foram extraídos diretamente da matriz de correlação, da mesma forma que foi empregada na AFC, de modo que os resultados não fossem influenciados pela diferença de escala, unidades e coeficiente de variação. O critério de estimação do número de fatores também foi o método de Kaiser (KAISER, 1958). O número de fatores e os respectivos carregamentos (pesos) de cada variável da AFM estão relacionados na Tabela 4.8. As variáveis com pesos absolutos acima de 0,5 estão destacados em negrito.

Na microbacia 3 foram extraídos 5 fatores com autovalor igual ou superior a 1,0, que, em conjunto, respondem por 74,6% da variância total dos dados das 45 coletas. A M4 também obteve 5 fatores, com percentual de 75,6 da variabilidade do vetor aleatório. Nas microbacias M5 e M6 foram extraídos 6 fatores em cada matriz, responsáveis, respectivamente, por 74,2% e 75,6% da variância total. (Tabela 4.8).

A maioria das 14 variáveis aleatórias foram bem representadas pelos fatores extraídos em cada microbacia, como demonstra as comunalidades. Apenas o potássio e  $Pb_{48}$  na microbacia 3 obtiveram baixa comunalidade, 0,45 e 0,56, respectivamente, e o pH na microbacia 4, com 0,42. Os demais parâmetros obtiveram comunalidade igual ou superior a 0,6. Para Hair *et al.* (2005), o valor mínimo aceitável para a comunalidade é 0,5, necessitando aumentar o número de fatores caso resulte em valores menores. O mesmo critério utilizado na AFC foi empregado na AFM, ou seja, mantiveram-se o número de fatores pelo critério de Kaiser, para não afetar os fatores já previamente extraídos.

Tabela 4.8. Pesos fatoriais, autovalores, communalidades e percentual da variância dos fatores extraídos na AFM.

Ponto Coleta	Fatores	$\lambda$	T	pH	CE	OD	DBO	TB	SD	SS	NO	PT	K	Q	P <sub>p</sub>	P <sub>p48</sub>	VAR	VAR <sub>ACM</sub>
M3 <i>Pinus taeda</i> 1999	1	4,25	<b>0,67</b>	-0,04	<b>-0,79</b>	-0,08	0,18	0,38	-0,14	0,46	-0,36	0,14	-0,07	<b>0,78</b>	<b>0,82</b>	<b>0,70</b>	30,4%	30,4%
	2	2,55	0,01	-0,10	-0,07	-0,05	-0,26	<b>0,79</b>	0,08	<b>0,77</b>	0,38	-0,06	<b>-0,54</b>	0,28	0,18	0,25	18,2%	48,6%
	3	1,38	<b>-0,53</b>	0,03	-0,08	<b>0,89</b>	<b>0,78</b>	-0,06	0,22	-0,03	-0,13	-0,10	0,30	-0,08	0,01	0,01	9,8%	58,5%
	4	1,17	-0,05	<b>0,88</b>	0,00	0,07	0,26	-0,15	<b>0,84</b>	-0,08	-0,37	-0,01	-0,25	-0,16	-0,04	0,01	8,3%	66,8%
	5	1,09	0,28	-0,21	-0,08	0,02	-0,21	0,04	0,08	-0,07	<b>0,61</b>	<b>0,91</b>	-0,10	0,10	-0,21	-0,04	7,8%	<b>74,6%</b>
		$h^2_i$		0,80	0,83	0,64	0,80	0,83	0,80	0,78	0,81	0,79	0,87	0,45	0,73	0,75	0,56	
M4 <i>Pinus taeda</i> 1991	1	3,696	0,15	-0,17	-0,16	<b>-0,63</b>	<b>-0,59</b>	<b>0,92</b>	0,13	<b>0,88</b>	-0,02	0,02	<b>0,68</b>	-0,15	-0,18	0,14	26,4%	26,4%
	2	2,902	0,42	-0,48	<b>-0,82</b>	0,02	0,08	0,18	-0,17	0,06	-0,06	-0,02	-0,16	<b>0,80</b>	<b>0,79</b>	<b>0,72</b>	20,7%	47,1%
	3	1,586	<b>-0,66</b>	-0,13	0,10	<b>0,60</b>	0,45	-0,04	<b>0,85</b>	0,18	0,07	-0,11	-0,06	-0,29	-0,20	0,00	11,3%	58,5%
	4	1,239	-0,23	0,36	0,12	0,05	0,22	-0,06	-0,05	-0,06	-0,01	<b>-0,85</b>	0,44	-0,30	0,18	0,35	8,9%	67,3%
	5	1,154	-0,28	0,07	-0,07	0,18	-0,39	-0,11	-0,07	-0,02	<b>0,95</b>	0,06	0,22	-0,02	-0,04	-0,19	8,2%	<b>75,6%</b>
		$h^2_i$		0,76	0,42	0,73	0,79	0,76	0,89	0,77	0,82	0,91	0,74	0,73	0,84	0,73	0,70	
M5 <i>Pinus taeda e</i> <i>P. ellioti</i> 1970	1	2,681	<b>0,67</b>	-0,19	-0,28	0,00	-0,06	0,00	0,04	-0,02	0,11	-0,03	-0,20	<b>0,82</b>	<b>0,83</b>	<b>0,71</b>	19,2%	19,2%
	2	2,44	0,30	0,21	0,30	-0,01	-0,18	<b>0,73</b>	0,00	<b>0,51</b>	-0,03	<b>0,92</b>	0,23	0,01	-0,23	-0,06	17,4%	36,6%
	3	1,857	-0,16	0,16	<b>0,56</b>	<b>0,73</b>	<b>0,86</b>	-0,45	0,06	0,06	-0,03	0,07	-0,07	-0,08	0,12	-0,09	13,3%	49,8%
	4	1,215	-0,21	0,19	-0,15	0,28	-0,07	0,15	<b>0,89</b>	<b>0,55</b>	0,00	-0,02	0,27	0,02	0,13	0,03	8,7%	58,5%
	5	1,196	-0,11	0,25	0,19	-0,13	0,06	0,20	-0,04	0,41	<b>0,93</b>	-0,14	0,26	0,07	0,10	0,03	8,5%	67,1%
	6	1,001	-0,06	<b>0,76</b>	-0,41	0,06	0,16	-0,15	0,02	-0,02	0,02	0,07	<b>-0,60</b>	-0,19	0,04	0,30	7,2%	<b>74,2%</b>
	$h^2_i$		0,62	0,79	0,71	0,64	0,81	0,82	0,81	0,73	0,89	0,88	0,60	0,71	0,78	0,60		
M6 Floresta nativa	1	3,31	0,44	-0,11	<b>-0,76</b>	-0,21	0,11	0,09	-0,05	0,16	-0,20	-0,05	0,12	<b>0,58</b>	<b>0,72</b>	<b>0,79</b>	23,6%	23,6%
	2	2,196	<b>-0,64</b>	-0,06	0,07	<b>0,70</b>	<b>0,78</b>	0,15	0,39	0,32	-0,16	-0,17	<b>0,55</b>	-0,49	-0,08	-0,03	15,7%	39,3%
	3	1,537	0,10	0,00	0,08	0,28	0,19	<b>0,84</b>	-0,03	<b>0,70</b>	0,02	0,06	<b>-0,65</b>	0,14	0,07	0,12	11,0%	50,3%
	4	1,28	-0,17	-0,02	0,08	-0,02	-0,04	-0,15	<b>0,70</b>	0,30	<b>0,82</b>	-0,07	0,09	-0,14	-0,03	-0,12	9,1%	59,5%
	5	1,185	-0,01	0,01	-0,32	-0,03	-0,31	0,21	0,06	-0,07	-0,13	<b>0,87</b>	0,28	0,30	-0,29	-0,23	8,5%	67,9%
	6	1,068	-0,11	<b>0,92</b>	0,26	-0,02	-0,13	-0,03	0,31	0,05	-0,23	0,01	0,02	0,03	-0,32	0,31	7,6%	<b>75,6%</b>
	$h^2_i$		0,66	0,87	0,77	0,61	0,77	0,80	0,75	0,72	0,80	0,81	0,82	0,70	0,71	0,80		

$\lambda$ : Autovalor     $h^2_i$ : Comunalidade.    VAR: Variância total explicada pelo fator.    VAR<sub>acm</sub>: Variância total acumulada.

Os fatores extraídos na AFM foram sintetizados na Tabela 4.9. Iniciando a análise pela microbacia da floresta nativa (M6), utilizada como testemunha, verifica-se que o fator de maior importância é similar ao primeiro fator do ponto 1 do rio Campinas, que também predomina cobertura vegetal nativa. Este fator, com proporção de 23,6% da variância total, relaciona a Q, Pp e Pp<sub>48</sub> com carregamentos positivos, e CE com sinal contrário, e caracteriza a variação sazonal da condutividade elétrica em consonância com o regime pluviométrico (Figura 4.15). Reflete o efeito de diluição dos íons dissolvidos conforme aumenta o escoamento superficial.

O Fator 2 da M6, com autovalor igual a 2,19 e percentual da variância de 15,7%, correlacionou o OD, DBO e K, com pesos positivos, e a temperatura da água (T), com peso negativo. Em conjunto, os dois primeiros fatores da microbacia testemunha (M6) respondem por 39,3% da variância total dos dados (Figura 4.15), e refletem comportamentos naturais da variação da qualidade de água em áreas de floresta nativa.

A temperatura da água tem influência direta na solubilidade do oxigênio dissolvido por alterar a tensão de vapor de saturação na superfície da água, fenômeno que regula as taxas de evaporação dos gases. Temperaturas da água mais amenas favorecem a solubilidade do oxigênio dissolvido, ocorrendo maiores concentrações (RIZZI, 2011). As baixas temperaturas diminuem as taxas de degradação de matéria orgânica na água, e, portanto, favorecem o aumento da demanda bioquímica de oxigênio com o aumento da concentração de material orgânico. OD e DBO foram destacados no Fator 1 da M4, e no Fator 3 da M3 e M5.

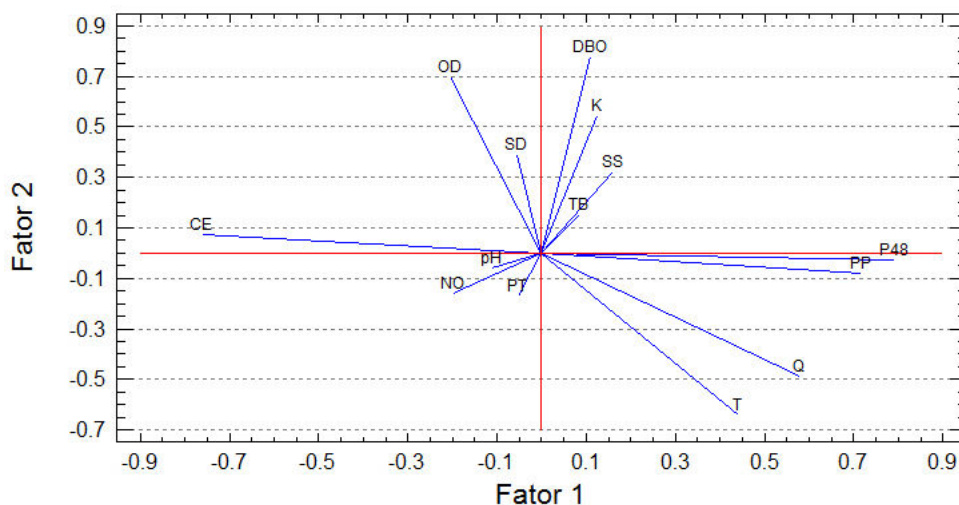


Figura 4.15: Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 da microbacia M6, responsáveis por 39,3% da variância total dos dados.

Tabela 4.9. Síntese dos fatores extraídos na Análise Fatorial Microbacias (AFM).

Fator	M3		M4		M5		M6	
	Variáveis com pesos > 10,5l	% VAR	Variáveis com pesos > 10,5l	% VAR	Variáveis com pesos > 10,5l	% VAR	Variáveis com pesos > 10,5l	% VAR
1	T(+) Q(+) Pb(+) Pb <sub>48</sub> (+) CE(-)	30,4	TB(+) SS(+) K(+) OD(-) DBO(-)	26,4	Q(+) Pb(+) Pb <sub>48</sub> (+) T(+)	19,2	Q(+) Pb(+) Pb <sub>48</sub> (+) CE(-)	23,6
2	TB(+) SS(+) K(-)	18,2	Q(+) Pb(+) Pb <sub>48</sub> (+) CE(-)	20,7	TB(+) SS(+) PT(+)	17,4	OD(+) DBO(+) K(+) T(-)	15,7
3	OD(+) DBO(+) T(-)	9,8	OD(+) SD(+) T(-)	11,3	CE(+) OD(+) DBO(+)	13,3	TB(+) SS(+) K(-)	11,0
4	pH(+) SD(+)	8,3	PT(-)	8,9	SD(+) SS(+)	8,7	SD(+) NO(+)	9,1
5	NO(+) PT(+)	7,8	NO(+)	8,2	NO(+)	8,5	PT(+)	8,5
6	-	-	-	-	pH(+) K(-)	7,2	pH(+)	7,6

O fator com maior percentual da variância da amostra na microbacia 3, com proporção de 30,4%, também evidenciou a relação positiva de Q,  $Pb$  e  $Pb_{48}$ , e a CE com carregamento negativo. Contudo, o parâmetro temperatura da água, que na M6 apareceu no Fator 2, na M3 ganhou importância sendo relacionado no Fator 1. Subentende-se, desta forma, que a temperatura da água na microbacia 3 sofreu maiores variações após o corte dos pinus plantados em APP. O mesmo foi observado no Fator 1 da microbacia 5, cujo fenômeno é responsável por 19,2% da variabilidade total.

O fator que expressa o efeito de diluição da CE em eventos de chuva, que na M6 foi o mais expressivo, na microbacia 4 constitui o segundo fator de maior importância, com proporção da variância de 20,7%. O fator mais significativo da M4, com percentual de 26,4 da variância, destacaram-se a TB, SS e K, com carregamentos positivos, e OD e DBO, no sentido oposto. Este fator expressa o fenômeno de maiores perdas de sedimento na área de drenagem a montante do ponto de coleta da M4, o que, provavelmente, deve estar relacionado à atividade de corte. Isto será avaliado em detalhe na análise dos escores fatoriais, em seguida. A turbidez e os sólidos suspensos totais fazem parte do Fator 2 da microbacia 3 e 5, e na microbacia floresta nativa aparecem apenas no terceiro fator.

O nitrato é relacionado no Fator 4 da microbacia floresta nativa, com correlação positiva com os sólidos dissolvidos totais (SD), demonstrando efetiva participação na composição dos sais dissolvidos. Nas microbacias com reflorestamento de pinus, o nitrato não expressou comportamento tão significativo comparado aos demais parâmetros, sendo relacionado no quinto fator de cada microbacia, com proporção da variância de 8,2% e 8,5% para a M4 e M5, e 7,8% na M3, em conjunto com a variável PT.

O fósforo total foi o único parâmetro evidenciado pelo Fator 5 da M6, respondendo por 8,5% da variabilidade total dos dados. Já na M5, microbacia com maiores declividades, o PT ganhou importância na representação da variabilidade total dos dados registrados durante o monitoramento. Constitui o Fator 2, correlacionado positivamente com TB e SS, alcançando percentual de 17,4% da variância. O fósforo total também foi destacado pelo segundo fator do ponto 2 do rio Campinas. Na microbacia M4 fósforo total representa sozinho o Fator 4 (8,9%), e na M3 forma o Fator 5, em conjunto com o nitrato (7,8% da variância).

Os dois principais fatores de cada microbacia foram utilizados para cálculo dos escores fatoriais das 45 coletas (44 coletas para a M5), com o propósito de avaliar se a variabilidade dos parâmetros está relacionada à atividade de corte dos pinus em APP. Os valores dos escores foram plotados nos *scatterplots*, e, junto destes, estão dispostos os respectivos gráficos dos pesos fatoriais, para visualizar de forma prática os parâmetros que influenciam de forma positiva ou negativamente os resultados dos escores.

Os escores de cada coleta foram calculados a partir dos dados transformados dos vetores aleatórios (matriz de dados), mas a discussão dos resultados é feita com os dados originais. Para subsidiar a discussão dos resultados dos escores fatoriais, foram calculadas as médias, medianas, desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis aleatórias originais, que podem ser visualizadas na Tabela 4.10.

#### 4.2.2.1. Escores fatoriais da microbacia M3

A Figura 4.16 exibe os pesos dos fatores 1 e 2 da microbacia M3, que respondem, em conjunto, por 48,6% da variabilidade total dos dados, e a Figura 4.17 os escores das coletas para estes fatores. No Fator 1 (F1-M3) destacaram-se *Pp*, *Q*, *Pp<sub>48</sub>* e *T*, com pesos positivos, e *CE* com peso negativo, enquanto que no Fator 2 (F2-M3) a *TB* e o *SS* obtiveram carregamentos positivos, e o *K*, negativo. Nota-se, no gráfico, que *TB* e *SS* possuem pesos entre +0,3 a +0,5 no Fator 1, demonstrando correlações positivas com *Pp*, *Pp<sub>48</sub>*, *Q* e *T*. Em outras palavras, maiores concentrações de sedimentos nos cursos de água da microbacia 3 ocorrem em períodos chuvosos.

Verifica-se, na Figura 4.17, a formação de 7 grupos de coletas com características semelhantes, e 4 pontos de *outliers*.

Tabela 4.10. Estatística descritiva das 14 variáveis aleatórias originais das microbacias M3, M4, M5 e M6.

Microbacias	Parâmetros	T	pH	CE	OD	DBO	TB	SD	SS	NO	PT	K	Q	P <sub>b</sub>	P <sub>b48</sub>
	unidades	°C	-	µS.cm <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	L.s <sup>-1</sup>	mm	mm
M3	Média	15,76	7,18	38,27	8,49	2,45	7,58	59,09	9,34	1,92	0,08	1,15	17,93	171,48	14,16
	Mediana	15,13	7,21	37	8,4	2,4	4,58	56	6	1,8	0,06	1,1	15,30	144,1	3,00
	Desvio Padrão	2,11	0,25	8,59	1,17	1,20	7,42	24,53	10,80	0,76	0,06	0,23	12,66	120,36	23,10
	% variação	13,4%	3,5%	22,5%	13,8%	48,8%	97,8%	41,5%	115,7%	39,5%	72,8%	20,0%	70,6%	70,2%	163,1%
	Mínimo	11,6	6,73	20	6,03	0	1,49	12	0,48	0,8	0,02	0,6	1,4	14,4	0
	Máximo	20,2	7,78	57,5	11,92	5,05	33	136	59,2	5,5	0,38	1,77	51,2	504,1	101,8
M4	Média	17,09	7,03	32,62	8,26	2,65	9,17	45,27	8,50	0,65	0,08	0,60	14,00	171,48	14,16
	Mediana	17,3	7,03	30	8,2	2,58	7,59	47	6,8	0,6	0,07	0,592	10,16	144,1	3,00
	Desvio Padrão	2,75	0,40	9,25	1,05	1,10	6,17	20,70	6,60	0,29	0,04	0,19	13,52	120,36	23,10
	% variação	16,1%	5,8%	28,4%	12,7%	41,4%	67,3%	45,7%	77,6%	44,9%	54,7%	31,6%	96,6%	70,2%	163,1%
	Mínimo	10	6,4	18	5,51	0,94	2,6	10	2,4	0,1	0,02	0,27	0,1	14,4	0
	Máximo	22,4	7,9	52,4	10,98	5,37	34,5	96	35,05	1,6	0,19	1,2	61,3	504,1	101,8
M5	Média	16,49	6,98	43,40	8,33	2,51	6,77	64,04	11,68	2,09	0,09	1,47	8,22	171,48	14,16
	Mediana	16,41	7,02	42,7	8,2	2,201	4,275	55	8	2,027	0,08	1,4	5,70	144,1	3,00
	Desvio Padrão	1,29	0,47	8,68	0,96	1,09	8,11	46,19	12,93	0,62	0,05	0,49	6,71	120,36	23,10
	% variação	7,8%	6,7%	20,0%	11,5%	43,3%	119,8%	72,1%	110,7%	29,7%	59,8%	33,5%	81,6%	70,2%	163,1%
	Mínimo	13,9	6,0	29	5,78	0,6	1,88	29	0,8	1,4	0,01	0,5	0,8	14,4	0
	Máximo	20,1	7,88	65	10,48	4,74	51,3	264	78	5,4	0,21	2,8	32	504,1	101,8
M6	Média	15,67	7,19	39,75	8,33	2,42	5,54	54,43	6,78	0,91	0,10	0,78	5,56	171,48	14,16
	Mediana	15,4	7,27	38	8,15	2,18	4,16	52	4,94	0,9	0,09	0,786	3,80	144,1	3,00
	Desvio Padrão	2,05	0,44	10,22	1,21	1,43	4,71	24,64	6,21	0,29	0,06	0,20	4,65	120,4	23,10
	% variação	13,1%	6,1%	25,7%	14,5%	59,1%	85,0%	45,3%	91,6%	32,1%	62,0%	26,2%	83,6%	70,2%	163,1%
	Mínimo	11	6,02	21	5,9	0,32	0,6	4	1,2	0,5	0,02	0,5	0,18	14,4	0
	Máximo	19,2	7,87	60,5	11,68	6,32	27,8	147	30,4	2	0,33	1,4	23,44	504,1	101,8

O Grupo I, localizado na porção inferior esquerda do gráfico (escores negativos para F1-M3 e F2-M3), é formado pelas coletas 3, 4, 6 e 22, realizadas no período anterior ao corte, e as coletas 23 e 24, início do período de corte (Figura 3.10). Estas coletas representam condição de estiagem, com  $P_b$ ,  $P_{b48}$  e  $Q$  variando, respectivamente, de 14,4mm a 107,8mm, 0 mm a 10,7 mm, e 2,1 L s<sup>-1</sup> a 7,6 L s<sup>-1</sup>, todos bem abaixo da média (Tabela 4.10). Os parâmetros  $T$ ,  $TB$  e  $SS$ , também obtiveram valores inferiores às médias. Em contrapartida, a  $CE$  manteve-se elevada na maioria das coletas, com registros entre 34 a 51  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . O potássio exibiu grande amplitude, desde 0,83 até 1,6 mg.L<sup>-1</sup>, mas com predomínio de concentrações elevadas, acima da média 1,14 mg.L<sup>-1</sup>.

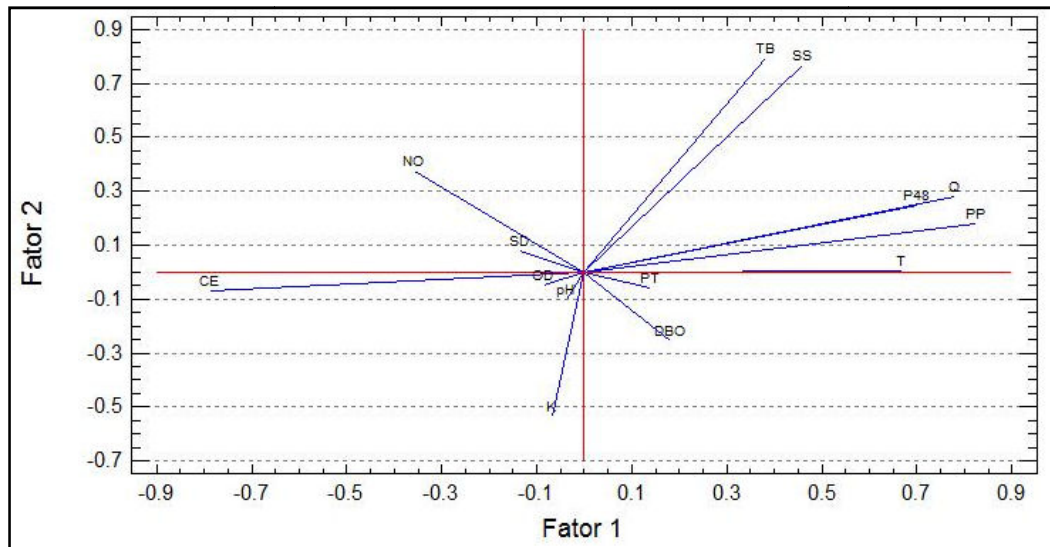


Figura 4.16: Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 da microbacia M3, responsáveis por 48,6% da variância total dos dados.

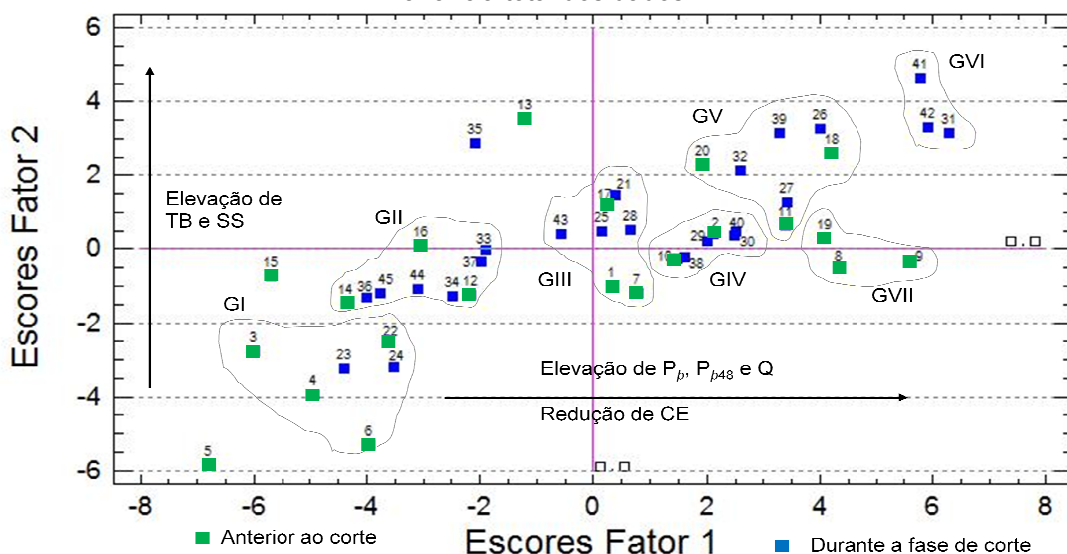


Figura 4.17: Escores das coletas para os fatores 1 e 2 da microbacia M3.

O Grupo II também descreve situação de baixa vazão e precipitação, porém

não tão reduzidas quanto no Grupo I. É formado por 3 coletas do período anterior ao corte (coletas 12, 14 e 16) e 6 coletas do período de corte (33, 34, 36, 37, 44 e 45). Para TB e SS prevaleceram valores reduzidos, inferiores a média, e K com valores medianos a elevados, resultando em escores entre 0 a -2 para o fator F2-M3. Para Q, T, P<sub>p</sub> e P<sub>p48</sub> registraram-se valores medianos a reduzidos, e para a condutividade elétrica, predominou valores elevados, entre 38 a 52,7  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Nos meses de julho e agosto de 2010, quando foram realizadas as coletas 34 e 35, ocorreu a 4ª etapa de extração de espécies exóticas em áreas de preservação permanente (Figura 4.18). Observou-se que nas coletas 34, 36 e 37 (Grupo II), realizadas durante o corte ou nos meses subsequentes, não houve elevação de turbidez e de sólidos em suspensão devido aos volumes reduzidos de precipitação e deflúvio. Nestas coletas registraram-se vazão entre 6,57 e 16,14  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ , turbidez entre 2,99 e 4,58 NTU, e SS variando de 0,8 a 6,0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Já na coleta 35 (*outillier*), quando a vazão aumentou para 23,91  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ , a turbidez atingiu 26,7 NTU e concentração de sólidos em suspensão 18,8  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Estas alterações podem ser visualizadas na Figura 4.18.

As coletas 1, 7, 17, 21, 25, 28 e 43 compõem o Grupo III. Nestas campanhas de campo foram computadas vazões em torno da média (17,92  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ ), variando entre 11,13  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$  a 23,92  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ . Para T, CE e P<sub>p</sub> prevaleceram valores médios. Já para TB predominaram valores reduzidos, entre 4,04 NTU a 5,68 NTU, com exceção da coleta 17 (set/2008) que obteve 8,58 NTU. Sólidos suspensos totais apresentou o mesmo comportamento, com concentrações entre 3,78 a 7,6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , ou seja, valores abaixo da média, tendo um registro superior que ocorreu na coleta 25 (jul/2009), alcançando 11,2  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Conforme demonstra a Figura 4.18, a coleta 25 coincide com o final da primeira etapa da extração de pinus em APP e com aumento no volume de precipitação pluviométrica.

A primeira etapa da atividade de corte na microbacia 3 foi realizada de maio a julho de 2009 (coletas 23, 24 e 25) em condição de chuva reduzida. Em maio de 2009 a P<sub>p</sub> foi de 52,5 mm e a vazão na hora da coleta estava em 4,08  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ , já para junho registrou-se P<sub>p</sub> de 58,6 mm e Q de 2,763  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ . Em julho de 2009, a precipitação mensal foi de 215,7 mm e a vazão na hora da coleta 14,79  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ . Em função disto, houve maior carreamento de sólidos em suspensão para o curso de água na coleta 25, comparada às coletas 23 e 24 (Figura 4.18).

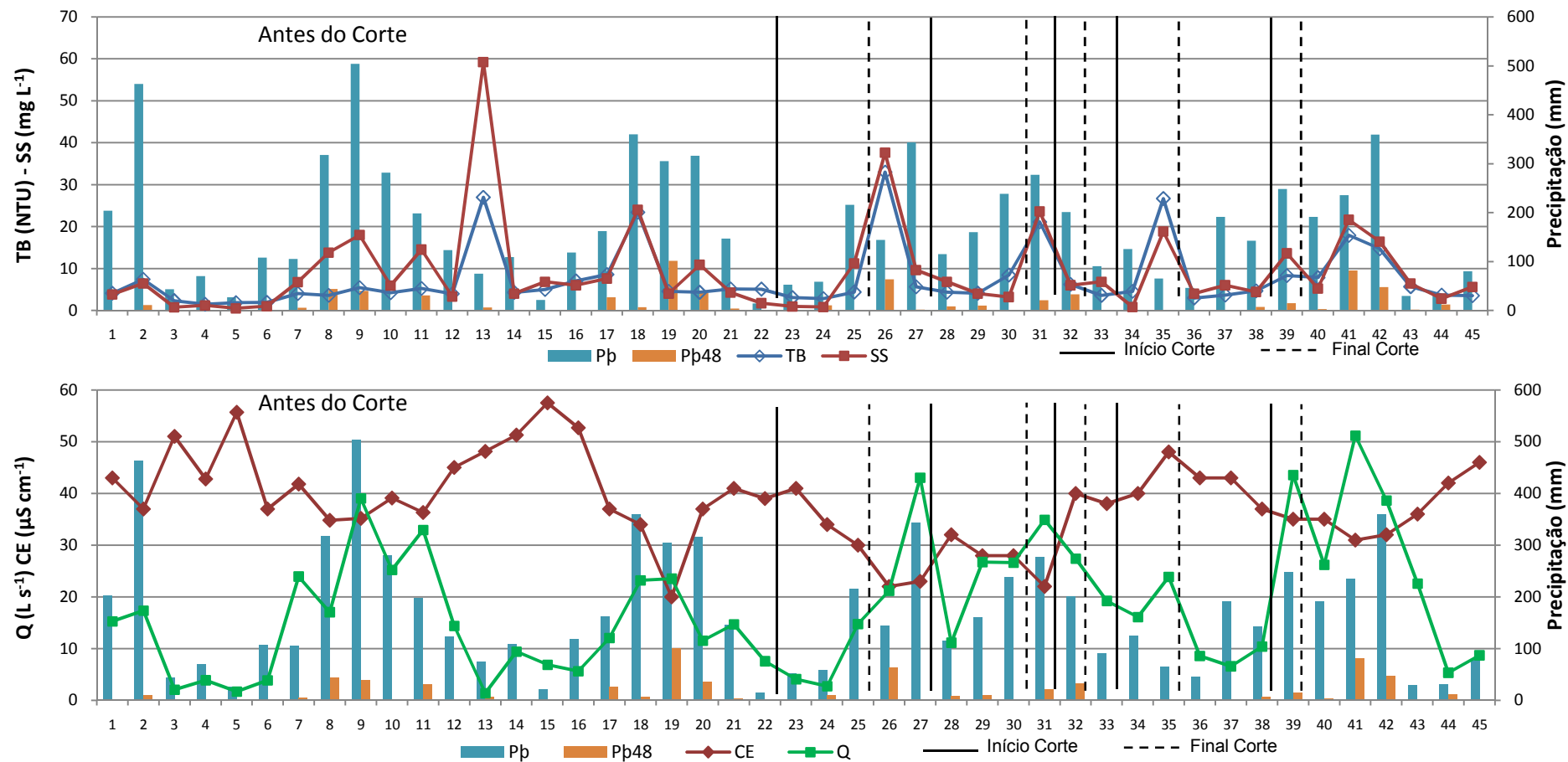


Figura 4.18: Comparativo entre as variáveis CE, Q, TB, SS,  $P_p$  e  $P_{p_{48}}$  registrados na microbacia M3.

O Grupo IV abrange as coletas 2 e 10, do período anterior ao corte, e as coletas 29, 30, 38 e 40, do período de corte. Neste grupo foram registradas vazões e precipitações pluviométricas mensais elevadas, geralmente acima da média, K e T com índices medianos, CE, SS e TB médios a reduzidos, e  $Pp_{48}$  abaixo da média. A vazão variou de  $17,37 \text{ L s}^{-1}$  a  $26,7 \text{ L s}^{-1}$ , com exceção da coleta 38, quando se encontrava com  $10,4 \text{ L s}^{-1}$  no momento da coleta. Apesar dos volumes elevados de  $Pp$  e Q, não foram registradas elevações na concentração de sedimentos no curso de água da microbacia M3 nas coletas realizadas durante a fase de extração das espécies exóticas.

O Grupo V é composto por 3 coletas do período anterior ao corte (11, 18 e 20) e 4 coletas do período de corte (26, 27, 32 e 39). Neste grupo predominaram Q,  $Pp$  e  $Pp_{48}$  elevadas, TB e SS com valores elevados, mas também com registros próximos aos valores médios, K e CE abaixo da média, e temperatura com grande amplitude, ou seja, tanto valores acima como abaixo da média.

As coletas 26 e 27 foram realizadas em agosto e setembro de 2009, logo após a primeira etapa de corte de pinus em APP, que ocorreu entre maio a julho de 2009. A Figura 4.18 demonstra que nos dois primeiros meses da primeira etapa de corte (coletas 23 e 24) ocorreram volumes mínimos de chuva, mantendo TB e SS próximo aos valores mínimos registrados. Estas coletas foram enquadradas no Grupo I. Nas campanhas de campo 25 e 26, com o aumento na precipitação pluviométrica, ocorreu sucessiva elevação na concentração de sólidos em suspensão do córrego da M3, atingindo  $37,6 \text{ mg.L}^{-1}$  de SS em agosto de 2009. Nos meses seguintes (coletas 27, 28, 29 e 30), mesmo com a manutenção dos índices pluviométricos elevados, observou-se redução significativa na entrada de sedimentos aos cursos de água, com registros de TB e SS abaixo da média.

O Grupo VI é formado pelas coletas 31 (fev/2010), 41 (fev/2011) e 42 (mar/2011), todas no período posterior ao corte. Representam momentos de intensa precipitação pluviométrica, com  $Pp$ ,  $Pp_{48}$ , T e Q bem acima da média, assim como TB e SS. Para potássio foram registrados valores medianos a reduzidos, e menores valores de condutividade elétrica ( $20 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ). A peculiaridade destas 3 coletas é a soma de 2 fatores principais: (1) coletas realizadas logo após uma das 5 etapas de corte de pinus em APP, e (2) ocorrência de elevada precipitação 48 horas anteriores a coleta, entre 21,2 a 82 mm. A soma destes dois fatores proporcionou maior

carreamento de sedimentos ao córrego da microbacia M3, como demonstra a Figura 4.18.

As coletas 8, 9 e 19, realizadas no período anterior ao corte, formam o Grupo VII. Este grupo tem como particularidade elevados índices de  $P_b$  e  $P_{b_{48}}$ , valores medianos a elevados para Q, SS, K e T, e registros abaixo da média para CE e TB. Configura condição de precipitação pluviométrica elevada para o período anterior ao corte, com  $P_b$ ,  $P_{b_{48}}$  e Q variando de 318 a 504,1 mm, 40,2 a 101,8 mm e 17,03 a 39,06 L s<sup>-1</sup>, respectivamente. Em termos de volume de chuva e de escoamento superficial, o Grupo VII pode ser comparado ao Grupo VI, composto por coletas do período de corte. Contudo, não foram registradas elevações na turbidez e sólidos suspensos totais como ocorreram nas coletas do Grupo VI, o que permite concluir que a microbacia M3 tornou-se mais suscetível aos processos erosivos em eventos pluviométricos intensos durante a execução do plano de recuperação de áreas degradadas.

As coletas 5, 13, 15 e 35 foram consideradas como *outliers*, representando eventos atípicos do monitoramento de qualidade de água. A coleta 35, como já contextualizada anteriormente, refere-se a um evento com aumento na turbidez e sólidos em suspensão durante a 4ª etapa de extração de pinus em APP, em condição de baixa precipitação, mas com leve aumento na vazão. A coleta 13, realizada em maio de 2008, houve elevação acentuada na turbidez da água e na concentração de sólidos suspensos devido à manutenção em uma ponte a montante do ponto de coleta. As coletas 5 e 15 correspondem a eventos de extrema estiagem, quando foram registrados os maiores valores de CE, conforme demonstra a Figura 4.18.

Analisando os gráficos da Figura 4.18, constata-se que as elevações na concentração de material em suspensão e de turbidez do córrego da microbacia M3 ocorreram no final das etapas de corte raso dos pinus em APP, geralmente associadas ao aumento na precipitação, sobretudo, quando ocorriam chuvas nas 48 horas antecedentes à campanha de campo. O maior incremento na TB e SS do córrego da M3 durante a execução do PRAD ocorreu na coleta 26 (ago/2009), data em que foi quantificada TB e SS 4 vezes acima da média. Entretanto, mesmo com este acentuado aumento, a turbidez não ultrapassou 40 NTU durante a fase de extração dos pinus, estando em acordo com os limites estabelecidos pela Resolução

Conama 357/2005 para rios de Classe 1 (BRASIL, 2005). Apenas na coleta 13 que foi registrado valor superior a 40 NTU, sendo esta no período anterior ao corte.

Outro fato interessante evidenciado na Figura 4.18, é que os eventos com elevação na TB e SS ocorreram de forma pontual, com extensão máxima de dois meses consecutivos, como identificados em fevereiro e março de 2011 (coletas 41 e 42).

Com base nestes resultados conclui-se que o efeito da atividade de extração de pinus em APP na microbacia M3 sobre a elevação da carga de sedimentos no deflúvio foi de baixa intensidade e de curta duração. Destacam-se 3 fatores que foram determinantes para minimizar os impactos da etapa inicial do plano de recuperação de áreas degradadas: (1) As etapas de extração da vegetação exótica das áreas de preservação permanente foram planejadas para serem executadas em períodos com menores índices pluviométricos; (2) Adotaram-se técnicas de derrubada e transporte do material lenhoso de baixo impacto, visando minimizar as perturbações ao solo, aos cursos de água e vegetação nativa (descritas no item 3.4.2); e (3) Foram mantidos os resíduos da colheita nos talhões diminuindo a exposição do solo ao impacto das gotas de chuva, reduzindo também a energia cinética do escoamento superficial e a capacidade de transporte de sedimento para os cursos de água.

#### 4.2.2.2. Escores fatoriais da microbacia M4

A Figura 4.19 apresenta os pesos dos fatores 1 e 2 da microbacia M4, responsáveis por 47,1% da variabilidade total dos dados, e a Figura 4.20 os escores das coletas para estes fatores. No Fator 1 (F1-M4) destacaram-se os parâmetros TB, SS e K, com pesos positivos, e OD e DBO com carregamentos negativos. No Fator 2 (F2-M4), os parâmetros com pesos positivos foram  $Pp$ ,  $Pp_{48}$ , Q e T, enquanto que pH e CE obtiveram pesos negativos (Figura 4.19).

Observa-se, na Figura 4.20, a formação de 7 grupos de coletas com características semelhantes, e 3 pontos de *outliers*. Os grupos de coleta com escores positivos para o fator F2-M4, situando-se na parte superior do gráfico,

apresentam maiores volumes de  $Pb$ ,  $Q$  e  $Pb_{48}$ , índices mais elevados de temperatura e reduzidos para condutividade elétrica. Compreende, de modo geral, as coletas realizadas no final da primavera (novembro), durante o verão (dezembro a fevereiro) e início de outono (março e abril), que constituí o período chuvoso da área em estudo. As coletas com escores negativos para F2-M4 representam momentos de estiagem, com menores volumes de precipitação e escoamento superficial e maiores valores de condutividade elétrica devido à concentração de íons no curso de água. Grande parte das coletas com escores negativos para F2-M4 foram realizada durante o inverno (junho a setembro).

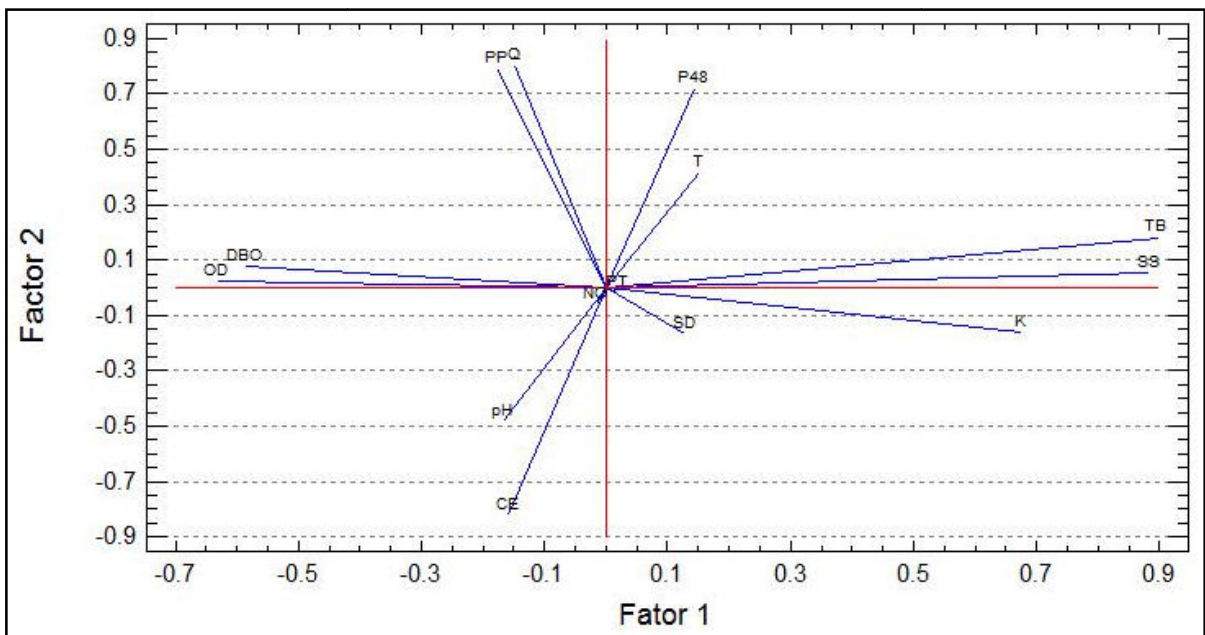


Figura 4.19: Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 da microbacia M4 que representam 47,1% da variância total dos dados.

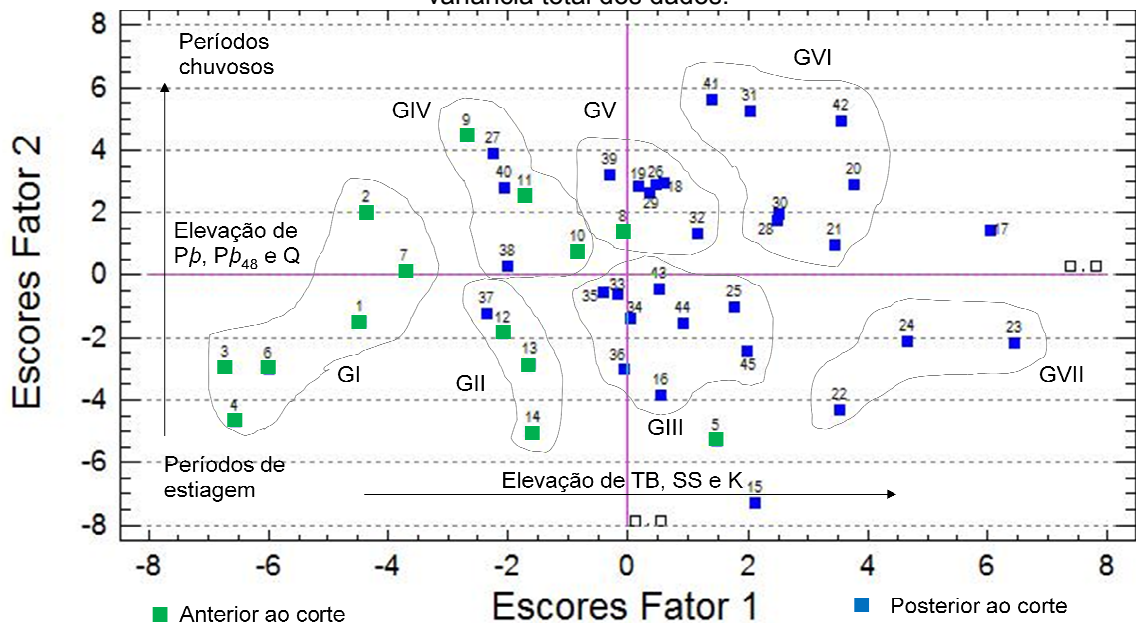


Figura 4.20: Escores das coletas para os fatores 1 e 2 da microbacia M4.

Os grupos com escores negativos para o fator F1-M4, situados na porção esquerda do gráfico da Figura 4.20, incluem as coletas com maiores concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), e menores valores de turbidez (TB), sólidos suspensos totais (SS) e potássio (K). Em contrapartida, os grupos com escores positivos para o fator F1-M4 compreendem as coletas com maiores concentrações de SS, K e TB, e menores valores de OD e DBO. Verifica-se que as coletas realizadas no período que antecede a etapa de corte raso dos pinus em APP, entre fevereiro de 2007 a junho de 2008 (coletas 1 a 14), apresentaram escores negativos para o F1-M4, enquanto que as coletas realizadas a partir desta data, apresentaram, via de regra, escores positivos.

Com base neste comparativo, percebe-se que as coletas realizadas no período anterior ao corte apresentaram menores concentrações de sedimentos e de potássio nos cursos de água e maiores concentrações de OD e DBO comparadas com as coletas realizadas após a atividade de extração da vegetação exótica das áreas de preservação permanente. Esta constatação direciona para duas conclusões: (1) A atividade de corte raso dos pinus em APP tornou a microbacia M4 suscetível aos processos erosivos e de perda de sedimento pelo deflúvio; (2) a remoção da vegetação exótica das áreas de APP proporcionou redução na concentração de oxigênio dissolvido no córrego da M4, bem como a diminuição da demanda bioquímica de oxigênio. A redução nas concentrações de oxigênio dissolvido nos cursos de água está associada, provavelmente, com a elevação da temperatura da água em virtude da maior incidência solar sobre os córregos proporcionada pela remoção da vegetação exótica das APPs.

Com a atividade de corte dos pinus em APP esperava-se elevação do aporte de matéria orgânica aos cursos de água e consecutivo aumento na DBO, em função da perturbação da camada superficial do solo e aumento nas taxas de degradação de serapilheira e dos resíduos da colheita. Contudo, a Figura 4.20 aponta para uma direção contrária, com menores valores de DBO nas coletas realizadas após o corte.

Visando aprofundar o comparativo entre os grupos de coletas destacados pelo gráfico dos escores fatoriais dos fatores F1-M4 e F2-M4, foram confeccionados os gráficos de amplitude dos 9 parâmetros registrados em cada grupo, que estão relacionados nos quadros 4.1 e 4.2.

Observando a Figura 4.20, verifica-se que as coletas do período anterior ao corte concentram-se, basicamente, nos grupos GI, GII e GIV. No Grupo V predominam coletas do período posterior ao corte, e os grupos GIII, GVI e GVII são formados exclusivamente de coletas realizadas durante ou após o corte.

Avaliando os gráficos de amplitude dos parâmetros  $Pb$ ,  $Pb_{48}$  e  $Q$  no Quadro 4.1, é possível confirmar quais os grupos de coleta configuram condições de estiagem ou de cheias. O Grupo I é caracterizado por apresentar baixos índices de  $Q$ ,  $Pb_{48}$ . Para a precipitação pluviométrica mensal também predominaram valores abaixo da média de 170 mm, com exceção das coletas 1 (203,7mm) e 2 (463,2m), realizadas em fevereiro e maio de 2007, respectivamente, conferindo maior amplitude de  $Pb$  para este grupo. O Grupo II também representa condições de baixos volumes de escoamento superficial e de precipitação, enquanto que o GIV apresenta maiores volumes de  $Pb$ ,  $Pb_{48}$  e  $Q$ .

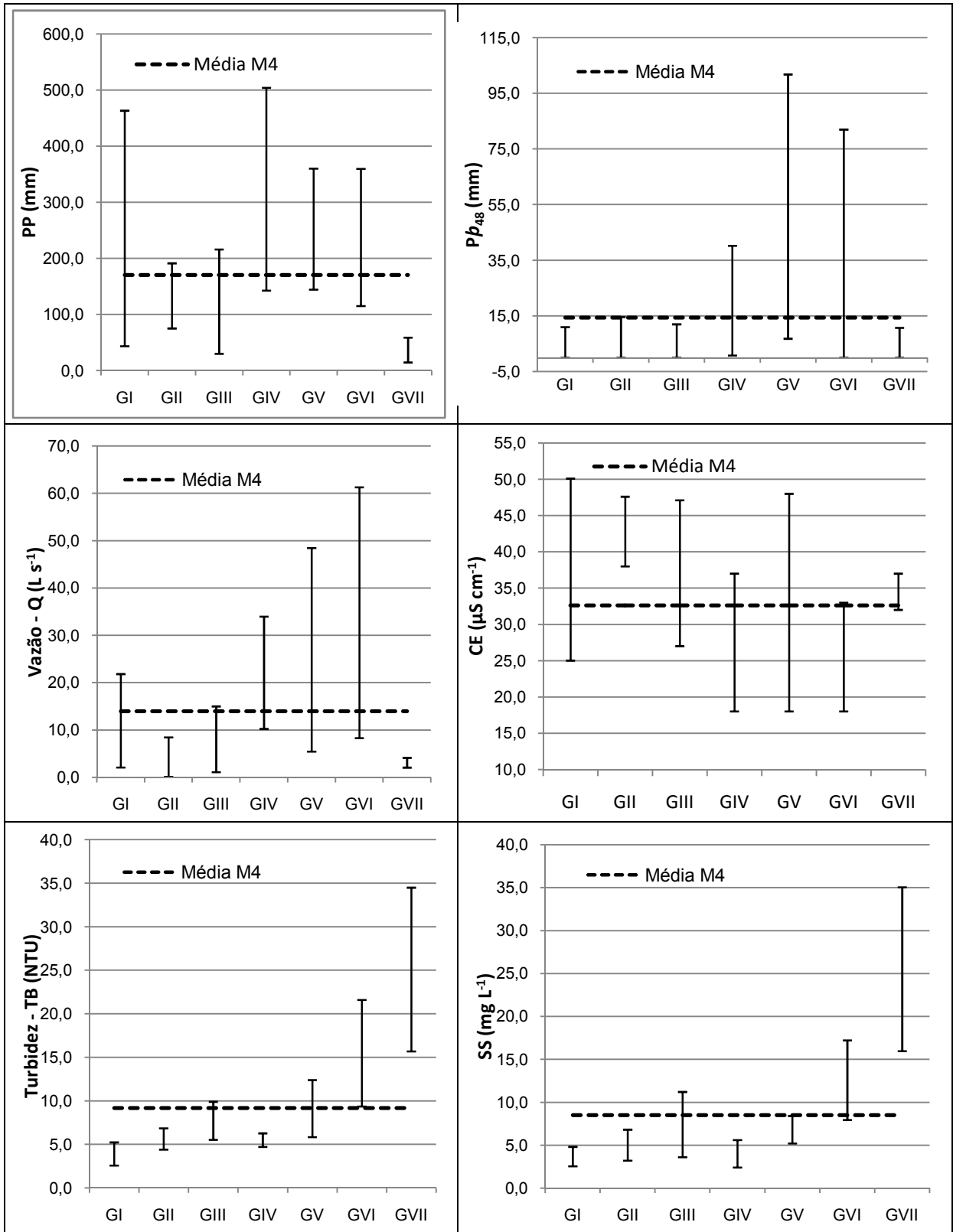
Para os grupos que abrangem as coletas realizadas após a etapa de corte, o GIII e GVII apresentam baixos volumes de  $Pb$ ,  $Pb_{48}$  e  $Q$ , já os grupos GIV GV e GVI representam períodos chuvosos. Desta forma, é possível comparar os grupos GI e GII com os grupos GIII e GVII, caracterizados por condições de baixa vazão, e o grupo GIV com os grupos GV e GVI, com vazões elevadas.

Observa-se que o grupo GIII, composto por coletas do período posterior ao corte, apresentou maior amplitude de turbidez e sólidos suspensos totais que os grupos GI e GII, com tendência de valores mais elevados que os dois grupos com coletas anteriores ao corte. O Grupo VII, composto pelas coletas 22, 23 e 24, mesmo em condições de  $Pb$ ,  $Pb_{48}$  e  $Q$  bem abaixo da média, obteve as maiores concentrações de sedimentos em suspensão e maiores índices de turbidez na microbacia M4. O parâmetro potássio também se manteve acima da média, demonstrando associação com o carreamento do material em suspensão.

O comparativo destes grupos demonstra que mesmo em condições de estiagem, com baixos volumes de escoamento superficial, ocorreram maiores entradas de sedimentos nos cursos de água nas coletas realizadas após a extração dos pinus das APPs.

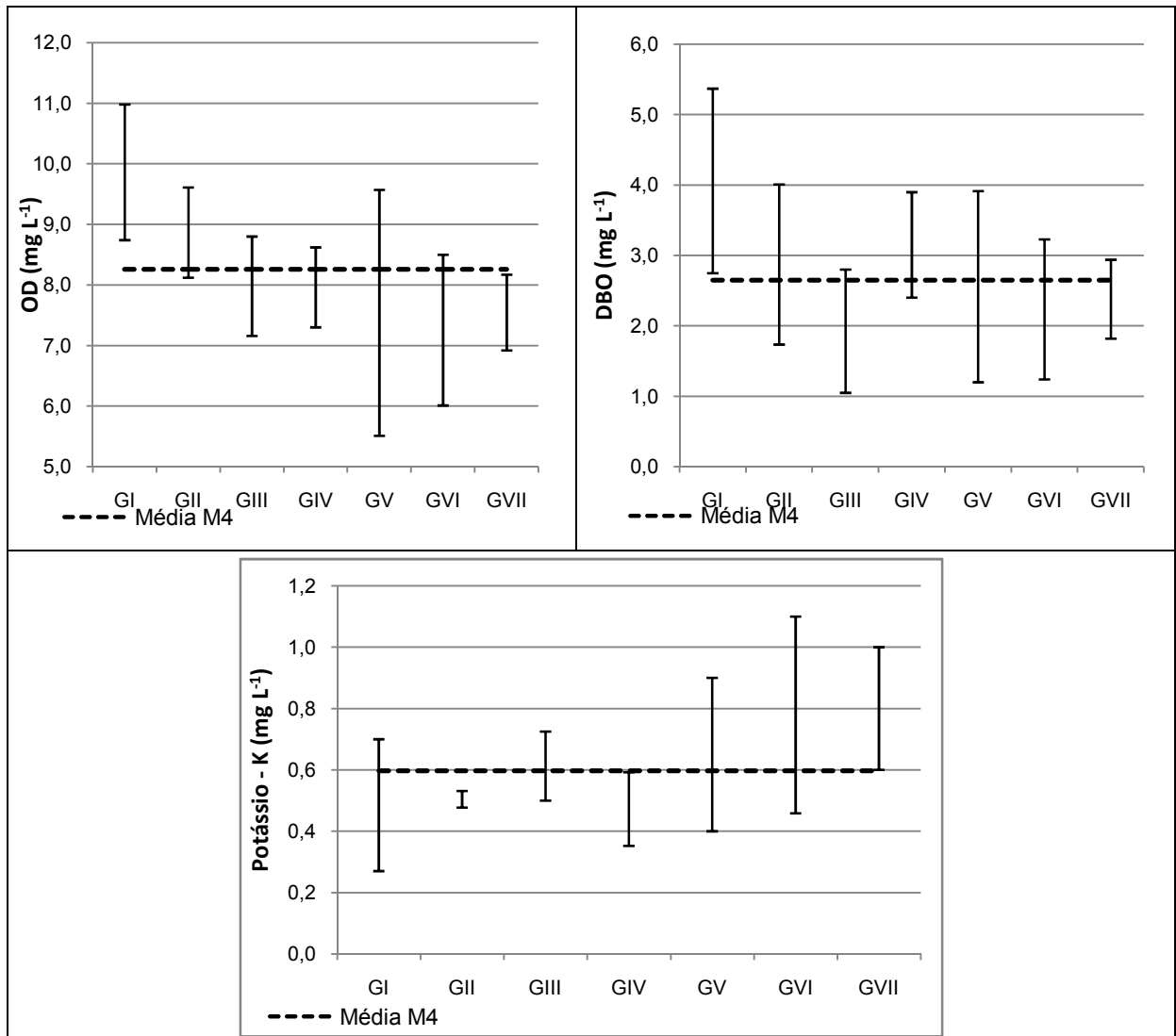
Com o aumento da precipitação e do escoamento superficial, as diferenças entre a concentração de SS e o índice de TB entre os grupos de coletas do período

pós-corte com o anterior ao corte é ainda mais acentuada. Constata-se que os grupos GV e GVI obtiveram valores de SS e TB acima do registrado no GIV.



Quadro 4.1: Amplitude dos parâmetros  $Pp$ ,  $Pp_{48}$ ,  $Q$ ,  $CE$ ,  $TB$  e  $SS$  registrados nos grupos de coleta e comparativo com a média das 45 coletas na microbacia M4.

É possível verificar também que a concentração de sólidos em suspensão e a turbidez da água no período anterior ao corte não difere de forma significativa entre a época chuvosa e de estiagem, comparando o Grupo IV (época chuvosa) com os grupos GI e GII (estiagem). Já em relação às coletas do período pós-corte, ocorreu incremento significativo de TB e SS nos períodos chuvosos (GV e GVI) comparados ao período de estiagem (GIII), com exceção do registrado no GVII.



Quadro 4.2: Gráficos com as médias dos parâmetros OD, DBO e K para a Microbacia M4 e os valores máximos e mínimos registrados em cada grupo de coletas.

Com relação aos parâmetros OD e DBO, as maiores concentrações das coletas realizadas em período de estiagem foram computadas nos grupos GI e GII. O Grupo I apresentou concentrações de oxigênio entre 8,7 a 11,0 mg.L<sup>-1</sup>, ou seja, todas as coletas ficaram acima da média de 8,25 mg.L<sup>-1</sup>. O Grupo II demonstrou valores entre 8,1 a 9,6 mg.L<sup>-1</sup>, e o GIV manteve-se entre 7,3 a 8,6 mg.L<sup>-1</sup>.

Apesar de conduzir o monitoramento de qualidade de água seguindo-se rigorosamente as normas técnicas de planejamento e execução das amostragens (ABNT, 1987a; ABNT, 1987b), e as metodologias do Standard Methods, possivelmente ocorreram erros na quantificação do OD nas coletas que compõem o grupo GI, quando foram registrados valores maiores que  $10,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , acima do ponto de saturação para a faixa de temperatura e pela altitude da área em estudo (Tabela 4.11). Isso ocorreu pela não consideração do fator de compensação da altitude no equipamento utilizado na medição do OD *in situ*, pois o laboratório onde foram realizadas as calibrações de rotina, previamente as coletas, localiza-se em região com altitudes ao nível do mar, e a área em estudo situa-se em patamares altitudinais acima de 800 metros. Esta situação foi regularizada a partir de novembro de 2007 (Coleta 7 em diante). Certamente este fato influenciou também nos índices de DBO, já que depende da medição de OD *in situ*.

Desta forma, optou-se por não discutir os resultados referentes aos parâmetros OD e DBO das coletas 1 a 6 (concentradas no Grupo I da M4). Os resultados obtidos nos grupos II a VII demonstram coerência, e podem ser aprofundados na discussão dos resultados.

Comparando os valores de OD registrados no GII, composto por coletas do período anterior ao corte em condição de estiagem, com os grupos GIII e GVII, observa-se tendência de menores concentrações de oxigênio dissolvido nas coletas após a extração da vegetação exótica da região ripária. No período chuvoso, verifica-se tendência de diminuição na concentração de OD em relação ao período de estiagem das coletas anterior ao corte. Para as coletas realizadas após o corte, o OD apresentou faixas de valores aproximadas entre os períodos de chuva e de estiagem, destacando-se apenas a maior amplitude dos valores no período chuvoso.

Como citado anteriormente, a provável causa da diminuição da concentração de oxigênio dissolvido no curso de água principal da microbacia M4 é a elevação da temperatura da água devido à perda da proteção contra os raios solares após a remoção da vegetação exótica das margens do córrego.

A Figura 4.21 confirma a suposição supracitada através do comparativo da temperatura da água do córrego da microbacia M4 com a temperatura da água do córrego da M6, microbacia com floresta nativa. Verifica-se que logo após a finalização da etapa de corte dos pinus das áreas de preservação permanente na

microbacia M4, a temperatura da água do córrego da M4 manteve-se acima da temperatura registrada no córrego da M6, diferente do que ocorreu no período que antecedeu o corte, quando a temperatura da água manteve-se próxima nos dois córregos. Lembrando que a microbacia M6 manteve-se sem perturbação durante o monitoramento de qualidade de água, sendo registrada atividade de corte em uma área pouco expressiva, conforme descrito no item 4.1.

Fritzsons *et al.* (2005) avaliaram a influência da vegetação ciliar sobre a variação da temperatura da água do rio Capivari, região de Curitiba - PR, e constataram que o crescimento das florestas ciliares entre o período de 1986 a 1998 ocasionou maior tamponamento térmico das águas, que se apresentaram com menores oscilações térmicas em 1998 a 2000 em comparação aos anos de 1986/87. Os autores atribuem este tamponamento térmico ao efeito de sombreamento, que interceptam e absorvem a radiação solar, contribuindo para a estabilidade térmica e evitando excessivos aquecimentos diurnos e resfriamentos noturnos.

Com a remoção da vegetação exótica das APPs, a microbacia M4 perdeu o efeito do sombreamento citado por Fritzsons *et al.* (2005), promovendo a elevação da temperatura da água como demonstra a Figura 4.21. De acordo com Rizzi (2011), o aumento na temperatura da água diminui a solubilidade do oxigênio, reduzindo, portanto, a concentração de oxigênio nos cursos de água.

A condutividade elétrica apresentou variação sazonal em função da intensidade pluviométrica e de escoamento superficial, com maiores índices nos períodos de estiagem e menores em períodos chuvosos, como registrados também nos pontos de coleta sobre influência de floresta nativa. A atividade de corte não demonstrou influência sobre este parâmetro.

Tabela 4.11: Concentração de saturação do oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) em função da altitude e temperatura.

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Altitudes (metros)	
	600	900
10	10,5	10,2
12	10,1	9,7
14	9,6	9,3
16	9,2	8,9
18	8,7	8,6
20	8,5	8,2

Fonte: (HANNA, 2004).

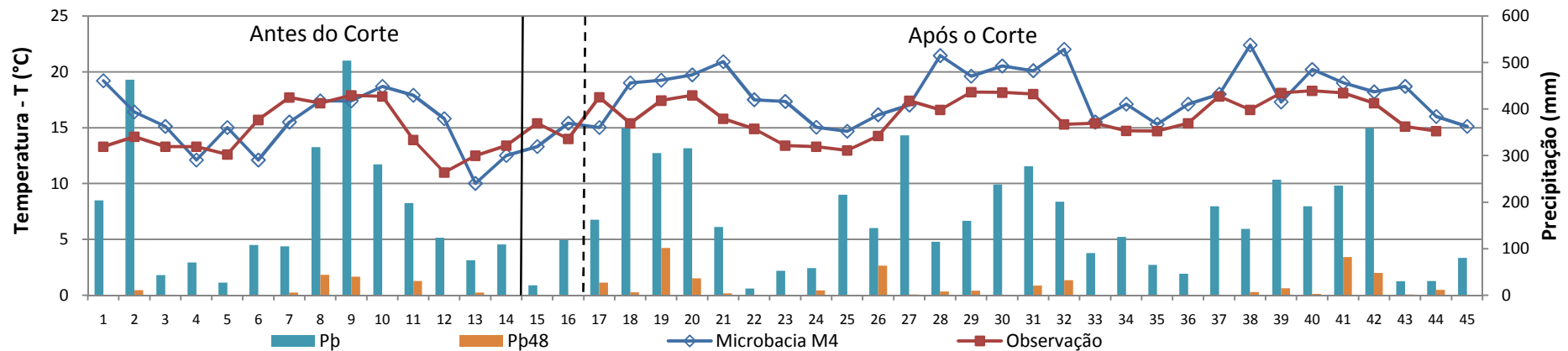


Figura 4.21: Comparativo entre a temperatura da água ( $T$ ) do córrego da microbacia M4, *Pinus taeda* plantados em 1991, e microbacia M6, floresta nativa.

#### 4.2.2.3. Escores fatoriais da microbacia M5

A Figura 4.22 apresenta os pesos dos fatores 1 e 2 da microbacia M5, que respondem, em conjunto, por 47,1% da variabilidade total dos dados, e a Figura 4.23 os escores das coletas para estes fatores. Observa-se, na Figura 4.23, a formação de 7 grupos de coletas com características semelhantes, e 3 pontos *outliers*.

Na microbacia M5, 12,43 ha passaram pela atividade de corte raso de pinus, o que representa 74,82% da área total da microbacia (Item 4.1). Deste total de área suprimida, 3,75 ha constituem área de preservação permanente com plantio irregular de pinus (84,5% do total de APP). A extração dos pinus em APP ocorreu entre os meses de junho a agosto de 2008, período em que foram realizadas as coletas 15 e 16. Portanto, as primeiras 13 coletas (1 a 14) compõem o período anterior ao corte (AC), e as demais 31 coletas representam o período posterior ao corte (PC). Lembrando que na 13ª campanha de campo ocorreu a quebra do frasco de coleta de água da M5, perdendo-se a amostra.

Analisando os gráficos  $P_b$ ,  $P_{b_{48}}$  e Q do Quadro 4.3, verifica-se que os 7 grupos de coletas representam 4 momentos distintos em termos de condições pluviométricas e de escoamento superficial: (1) condição de extrema estiagem, com registros de vazão, precipitação mensal e precipitação 48 horas antecedentes a coleta abaixo da média das 44 coletas (GI); (2) vazão próxima aos valores médios e com  $P_b$  e  $P_{b_{48}}$  abaixo da média (GII e GIII); (3) vazões médias e com índices pluviométricos médios a elevados (GIV); e (4) predomínio de volumes elevados de chuva e vazão.

Diferente do que ocorreu para a microbacia M4, o gráfico dos escores fatoriais dos fatores 1 e 2 da microbacia M5 não promoveu a separação das coletas AC em grupos distintos das coletas PC, demonstrando que não houve grandes diferenças nas respostas dos parâmetros TB, SS e PT em função da variação do deflúvio entre os dois períodos avaliados. A exceção ocorreu nos grupos VI e VII, onde predominam coletas do período PC (Figura 4.23).

O Grupo VII, composto pelas coletas 31 (fev/2010), 41 (fev/2011) e 42 (mar/2011), demonstrou as maiores vazões durante o período de monitoramento, variando entre 13,98 a 32,24 L s<sup>-1</sup>.  $P_b$  e  $P_{b_{48}}$  mantiveram-se acima da média, como

demonstra o Quadro 4.3. Este foi o único grupo com registros de turbidez elevada, com valores pouco acima da média para as coletas 31 e 41 (8,98 NTU e 15,1 NTU respectivamente), e 51,3 NTU para a coleta 42. Nos demais grupos a turbidez manteve-se próxima à média 6,8 NTU.

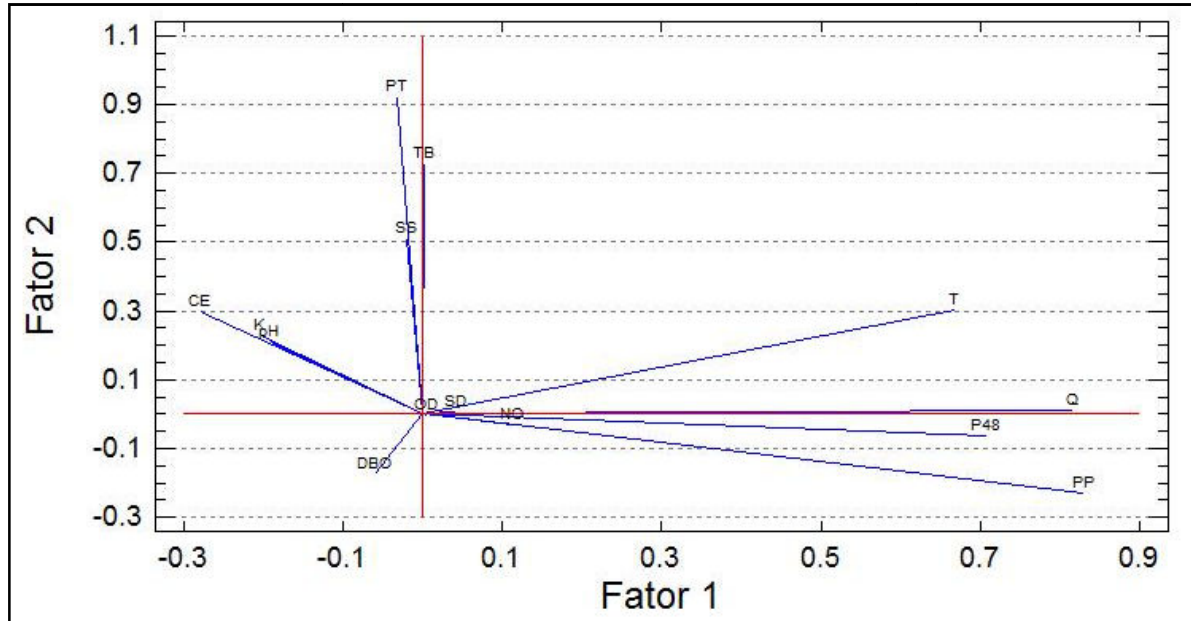


Figura 4.22: Pesos das variáveis nos fatores 1 e 2 da microbacia M5 que representam, juntos, 36,6% da variância total dos dados.

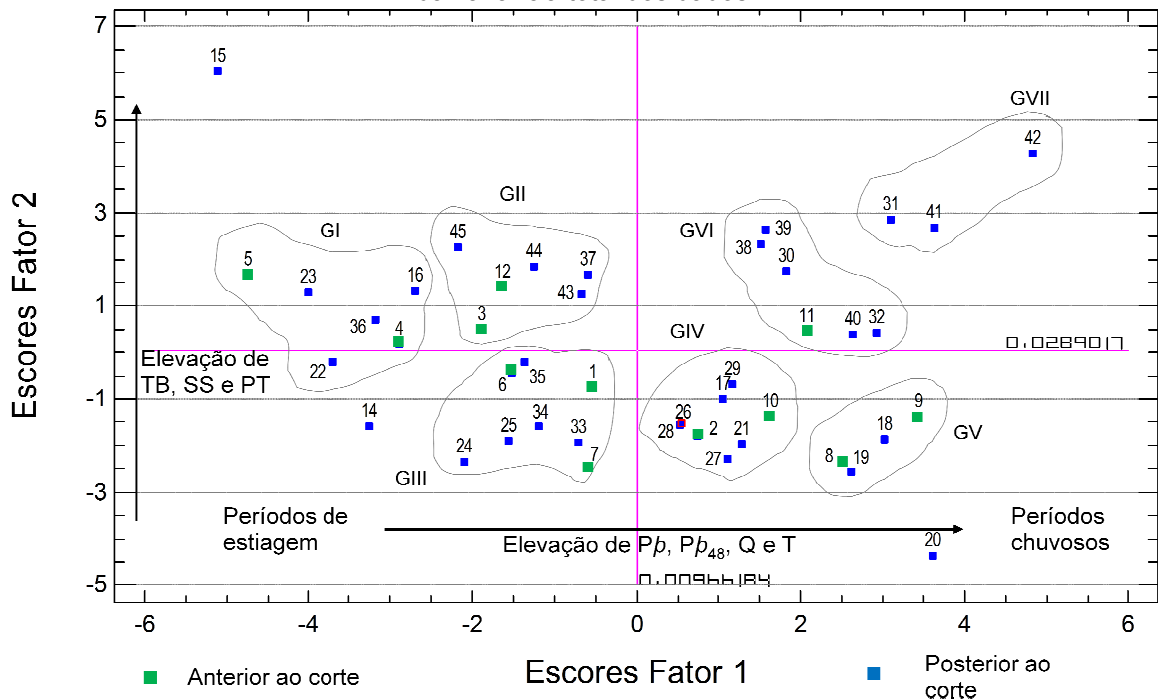
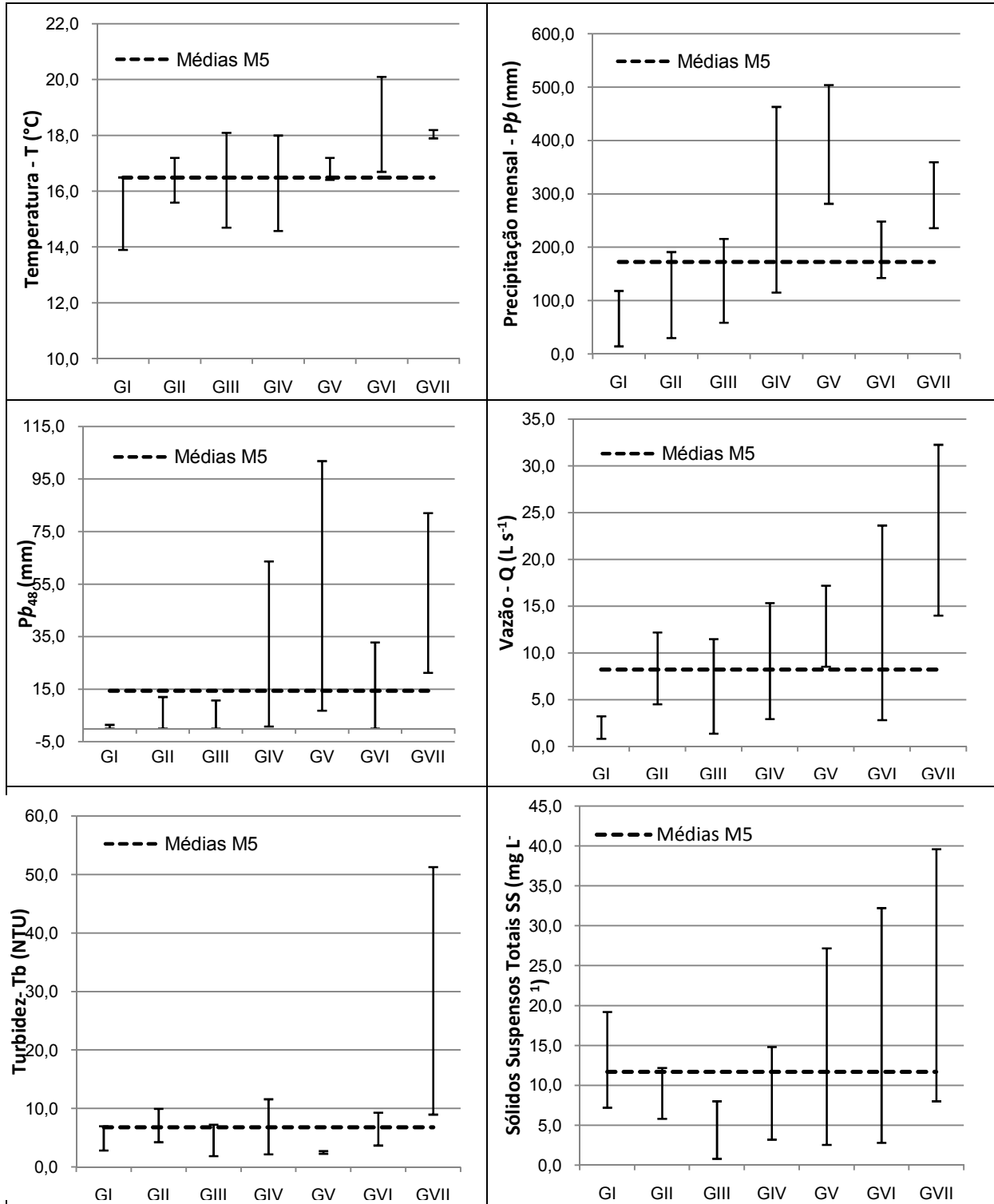


Figura 4.23: Escores das coletas para os fatores 1 e 2 da microbacia M5.

O Grupo VII também apresentou concentrações elevadas de sólidos suspensos totais, variando entre 8,0 e 39,6 mg.L<sup>-1</sup>. Os grupos GV e GVI, apesar de não registrarem elevações na turbidez do córrego, obtiveram concentrações elevadas de SS nas coletas com maiores volumes de escoamento superficial.

Durante as campanhas de campo e execução das análises de SS, verificou-se que a granulometria dos sólidos em suspensão na microbacia M5 geralmente apresentava-se maior comparada aos demais pontos de monitoramento, o que pode explicar o apontamento de maiores massas de sólidos por volume de amostra sem afetar diretamente a turbidez da água.



Quadro 4.3: Amplitude dos parâmetros T, Pp, Pp<sub>48h</sub>, Q, TB e SS registrados nos grupos de coleta e comparativo com a média das 44 coletas na microbacia M5.

Um dos pontos *outliers* que chama a atenção é a coleta 15 (Figura 4.23), que foi realizada logo após o início da extração dos pinus da APP. A atividade de corte foi realizada no período de estiagem. Na coleta 15 foram registradas precipitação mensal de 21,2 mm, 0,2 mm de  $Pb_{48}$  e vazão de  $2,055 \text{ L s}^{-1}$ , e, mesmo com estes baixos volumes precipitação e de deflúvio, ocorreu elevação acentuada na carga de sólidos suspensos totais e turbidez, como expõe a figura 4.24. A concentração de sólidos suspensos totais manteve-se pouco acima da média nas 3 coletas subseqüentes (16, 17 e 18), retornando aos valores medianos logo em seguida.

Outro evento com expressivo incremento na concentração de SS e no índice de TB sobreveio na coleta 42 (mar/2011), sendo que as demais coletas do período PC apresentaram perdas de sedimentos semelhantes ao registrado no período AC. Estes resultados demonstram que a atividade de extração de pinus nas áreas de preservação permanente da microbacia M5, e de extração de pinus comercial, não promoveu perdas expressivas de solo pelo deflúvio.

Conforme descrito no item 4.1, o plantio de pinus em APP na microbacia M5 apresentava-se de forma bem espaçada, com espécies florestais nativas, presença de sub-bosque e gramíneas, com baixa densidade, o que contribuiu para a retenção de sedimentos. Além disto, grande quantidade de resíduos da colheita foi deixada no local, cobrindo de maneira eficiente o solo e minimizando os processos erosivos exercidos pelo deflúvio. Checcia (2003) afirma que as gramíneas possuem elevada capacidade de retenção de sedimentos e nutrientes.

A Figura 4.25 apresenta a amplitude do parâmetro fósforo total (PT) em cada grupo de coleta. O fósforo total demonstrou maior variação entre os grupos de coleta comparado aos parâmetros TB e SS, indicando maior flutuação em decorrência do regime pluviométrico. Confrontando os 5 primeiros grupos de coleta, verifica-se tendência de maiores concentrações de fósforo em períodos de estiagem (grupo GI e GII), e em concentrações menores conforme aumenta a vazão (grupos GIV e GV). Contudo, nos grupos GVI e GVII, onde predominam coletas do período pós-corte e eventos de intensa pluviosidade, registraram-se elevadas concentrações de fósforo total, apontando para uma inversão do efeito de diluição do fósforo total com a elevação do deflúvio, para um processo de carreamento de fósforo para os cursos de água.

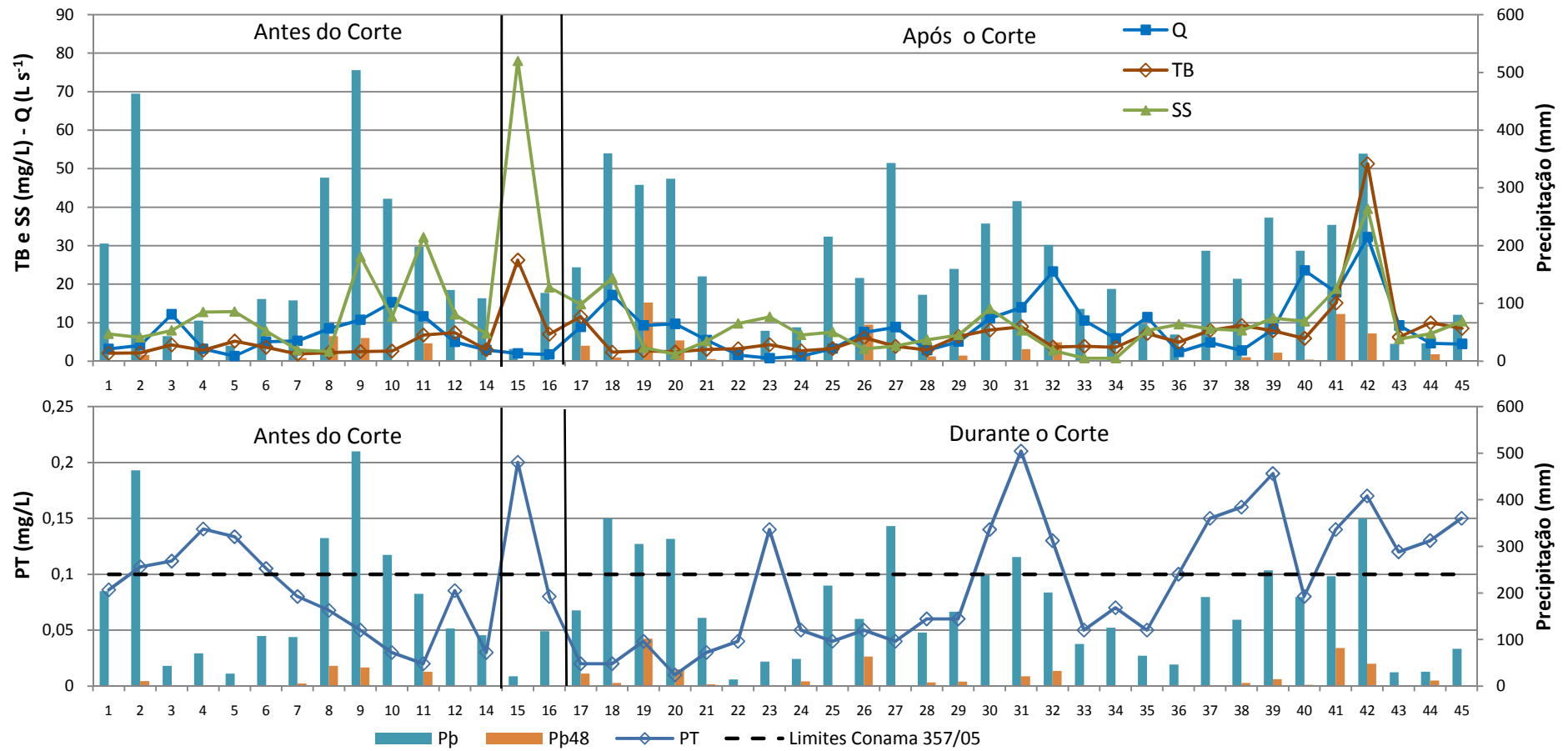


Figura 4.24: Comparativo entre as variáveis PT, SS, TB, Q, Pp e Pp<sub>48</sub> na microbacia M5, *Pinus taeda* e *P. elliottii* plantados em 1971.

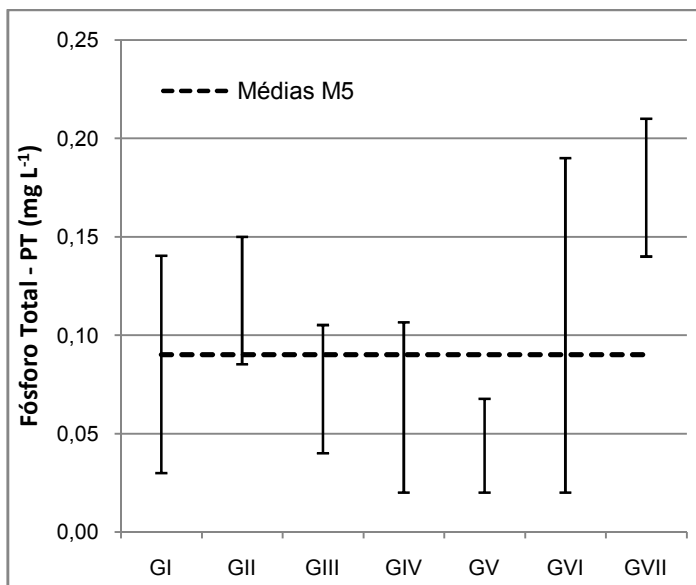


Figura 4.25: Amplitude do parâmetro PT registrado nos grupos de coleta e comparativo com a média das 45 coletas na microbacia M5.

A Figura 4.24 explicita este fenômeno de inversão descrito acima. Observa-se que as maiores concentrações de PT no período AC ocorreram nos meses com menores índices pluviométricos (coletas 3 a 7), e menores concentrações nos meses chuvosos (coletas 1 e 2, 8 a 14), caracterizando efeito de diluição do escoamento superficial sobre a concentração de PT. Entretanto, nas coletas após o corte, verificam-se picos de concentração de fósforo total também em períodos chuvosos, como registrados nas coletas 30, 31, 32, 37, 38, 39, 41 e 42, denotando maiores saídas de fósforo total com o aumento do deflúvio.

Comparando as concentrações de fósforo total na microbacia M5 com o limite estabelecido pela Resolução Conama 357/05 para ambientes lóticos de Classe 1 nota-se concentrações em desconformidade com a resolução (valores igual ou superior a  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em 5 coletas no período AC, e em 14 coletas do período PC, o que pode desencadear o processo de eutrofização dos córregos devido a elevada concentração de nutriente. Oki (2002) também registrou concentrações de fósforo total acima de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  durante atividade de corte raso de pinus em uma microbacia com área de 66,5 ha.

#### 4.2.3. Síntese da Análise Fatorial Microbacias (AFM)

A Análise Fatorial Microbacias foi realizada com as microbacias experimentais cujos limites topográficos estão totalmente inseridos na área da fazenda com plantio de pinus. Em outras palavras, possuem as nascentes e a foz dentro da área reflorestada. A microbacia M6 foi utilizada como referência em virtude do predomínio de vegetação nativa em sua área de drenagem. As microbacias M3, M4 e M5 possuem talhões com plantios de pinus, onde foi implementado o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), decrito no Item 3.4.

Foram extraídos 6 fatores na análise fatorial da microbacia M6, responsáveis por 75,5% da variância total. Os principais fatores relacionaram o efeito de diluição sobre a condutividade elétrica através do aumento dos índices pluviométricos e da vazão, e o efeito da solubilidade do oxigênio dissolvido em função da temperatura, fenômenos característicos de microbacias com predomínio de vegetação nativa e sem perturbação.

Os principais fatores extraídos nas microbacias com plantio de pinus estão relacionados ao carreamento de sedimentos aos cursos de água, flutuação da temperatura da água e oscilação na concentração de OD, DBO, K e PT.

A análise fatorial da microbacia M3 demonstrou que a atividade de corte raso dos pinus plantados em áreas de preservação permanente promoveu aumento nas taxas de erosão e consecutivo transporte de sedimentos aos cursos de água em eventos pluviométricos. Contudo, a elevação da carga de sedimentos no deflúvio foi de baixa intensidade e de curta duração, demonstrando que as medidas adotadas no PRAD para minimização dos impactos sobre os recursos hídricos foram eficientes.

Na microbacia M4 também se observou elevação dos processos erosivos e carreamento de sedimentos pelo deflúvio após o corte dos pinus em APP. Entretanto, mesmo com as elevações nas taxas de entrada de sedimento aos cursos de água, todas as coletas mantiveram-se em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de Classe 1.

A temperatura da água do córrego da M4 apresentou maiores flutuações após a remoção da vegetação exótica das áreas de APP em virtude da perda do efeito de sombreamento proporcionado pela vegetação (efeito descrito por

FRITZSONS, *et al.* 2005) , que era responsável pelo tamponamento da temperatura da água entre os períodos de maior e menor intensidade de insolação. Este fenômeno também foi responsável pela maior variação na concentração de oxigênio dissolvido e da demanda bioquímica de oxigênio no período posterior ao corte, predominando concentrações menores após o corte dos pinus.

De modo similar, a microbacia M5 apresentou tendência de maior suscetibilidade aos processos erosivos no período posterior ao corte, porém em uma intensidade ainda menor que registrada nas microbacias M3 e M4. A condição de cobertura vegetal ocorrente nesta microbacia, caracterizado por plantio de pinus de forma espaçada, resultado de desbaste seletivo, com presença de espécies florestais nativas, sub-bosque e gramíneas entre os indivíduos plantados, permitiu a atenuação dos processos erosivos após o corte dos pinus. Além disto, grande quantidade de resíduos da colheita foi deixada no local, cobrindo de maneira eficiente o solo, o que também contribuiu para estabilização do solo.

Outro fenômeno interessante evidenciado pela análise fatorial e análise gráfica da microbacia M5 está relacionado ao fósforo total. No período anterior ao corte verificou-se tendência de maiores concentrações de fósforo nos meses com estiagem e menores concentrações nas coletas com registro de intensa precipitação pluviométrica e vazão, indicando efeito de diluição. Contudo, no período pós-corte, registraram-se elevadas concentrações de fósforo total nas campanhas de campo com maiores volumes de precipitação e vazão, apontando para uma inversão do efeito de diluição do fósforo total com a elevação do deflúvio, para um processo de carreamento de fósforo para os cursos de água.

De modo geral, os impactos da remoção da vegetação exótica das áreas de preservação permanente sobre a qualidade das águas superficiais nas microbacias experimentais foram de baixa intensidade. Destacam-se 3 fatores que foram determinantes para minimizar os impactos da etapa inicial do plano de recuperação de áreas degradadas: (1) As etapas de extração da vegetação exótica das áreas de preservação permanente foram planejadas para serem executadas em períodos com menores índices pluviométricos; (2) Adotaram-se técnicas de derrubada e transporte do material lenhoso de baixo impacto, visando minimizar as perturbações ao solo, aos cursos de água e vegetação nativa (descritas no item 3.4.2); e (3) Foram mantidos os resíduos da colheita nos talhões diminuindo a exposição do solo ao

impacto das gotas de chuva, reduzindo também a energia cinética do escoamento superficial e a capacidade de transporte de sedimento para os cursos de água.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os principais parâmetros destacados na análise fatorial foram a condutividade elétrica, pH, turbidez, sólidos suspensos totais, oxigênio dissolvido, DBO, potássio e fósforo, juntamente com os índices pluviométricos ( $Pp$  e  $Pp_{48}$ ) e a vazão.

A análise fatorial rio Campinas (AFC) revelou que a atividade de corte raso de pinus em APP e pinus comercial proporcionou maior carreamento de sedimentos e de fósforo total para os cursos de água em virtude do aumento nas taxas de erosão e redução da capacidade de retenção de sedimentos e nutrientes. O pH também foi influenciado pelo corte, apresentando-se mais alcalino a jusante do reflorestamento durante 9 meses subsequentes ao início da colheita. Comparados aos limites estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005 para rios de Classe 1 (Brasil, 2005), pH e a turbidez mantiveram-se dentro dos padrões de qualidade, mas fósforo total alcançou valor quase 3 vezes superior à faixa recomendada de até  $0,10 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$ .

A condutividade elétrica do rio Campinas manteve-se superior no ponto de monitoramento a jusante do reflorestamento comparado ao ponto a montante em todas as coletas, tanto antes como depois do corte, indicando maiores entradas de íons dissolvidos aos cursos de água. Todavia, a condutividade elétrica não sofreu influência da atividade de corte.

A Análise Fatorial Microbacias (AFM) apontou resultados semelhantes ao evidenciado pela AFC, demonstrando maiores saídas de sedimentos e de fósforo total para os cursos de água após a extração dos pinus das áreas de preservação permanente. Dentre as 3 microbacias que foram implantados os planos de recuperação das áreas degradadas em APPs com plantio irregular de pinus, a M5 foi a menos impactada pelo corte. O plantio de pinus em APP na microbacia M5 apresentava-se de forma bem espaçada, com espécies florestais nativas entre os indivíduos, presença de sub-bosque e gramíneas, o que contribuiu para a retenção de sedimentos e nutrientes, minimizando, desta forma, os efeitos do corte dos pinus nas APPs.

A atividade de corte raso dos pinus nas áreas de preservação permanente, etapa inicial do PRAD implementado para a regularização dessas áreas, causou às

microbacias experimentais condição de suscetibilidade aos processos erosivos e de perda de nutrientes pelo deflúvio, promovendo maiores saídas de sedimentos e de fósforo total para os cursos de água no período posterior. Todavia, a elevação da carga de sedimentos no deflúvio foi de baixa intensidade, comparados aos padrões da Resolução Conama 357/05 para rios de Classe 1, e de curta duração.

A extração da vegetação exótica das APPs proporcionou aumento na temperatura da água devido à perda do efeito de sombreamento e, consecutivamente, a capacidade de tamponamento térmico da água dos rios. Observou-se estreita relação da elevação da temperatura da água com a diminuição na concentração de oxigênio dissolvido na microbacia M4, associada à redução da solubilidade dos gases.

A análise fatorial foi eficiente para avaliar a influência da extração dos pinus plantados em áreas de preservação permanente sobre a qualidade dos recursos hídricos superficiais, com a qual foi possível:

- Destacar os parâmetros que apresentaram maiores variabilidades durante o monitoramento de qualidade de água, simplificando, desta forma, a análise da matriz de dados;

- Evidenciar a relação entre os parâmetros de qualidade de água, vazão e índices pluviométricos, subsidiando o diagnóstico dos fenômenos ocorrentes durante a execução do plano de recuperação de áreas degradadas e conseqüente alteração no uso e cobertura vegetal do solo;

- Identificar o comportamento dos parâmetros de qualidade de água em diferentes condições de precipitação e escoamento superficial, permitindo a comparação da resposta das variáveis aleatórias à elevação do deflúvio entre o período anterior e posterior ao corte da vegetação;

- Avaliar a influência da extração dos pinus das áreas de preservação permanente com uma abordagem holística, considerando as flutuações naturais dos parâmetros de qualidade de água em função do regime pluviométrico, as atividades silviculturais, e a relação entre os parâmetros de qualidade de água.

Demonstrou ser uma poderosa ferramenta de análise multivariada para estudos de qualidade e quantidade dos recursos hídricos. Entretanto, demanda grandes esforços na preparação e tratamento dos dados para atendimento das

suposições estatísticas multivariadas para garantir a representatividade da análise e evitar vieses nos resultados.

Os resultados desta pesquisa demonstraram que as medidas adotadas pela empresa responsável pelo empreendimento florestal para minimização dos impactos ambientais na etapa de remoção das espécies exóticas das APP's, foram eficientes e podem ser adotadas em outras microbacias que necessitem recuperar as áreas de preservação permanente com plantios irregulares.

Para pesquisas futuras, sugere-se adotar métodos analíticos de nitrogênio total e nitrogênio amoniacal com maiores precisões e passíveis de detectar menores concentrações que o método empregado no presente estudo (espectrofotometria), visando maior entendimento dos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes e dos processos de degradação da matéria orgânica, comumente relacionados em eventos de modificação da cobertura vegetal de microbacias florestais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9897: planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987a. 23p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987b. 23p.

AHRENS, S. O “novo” código florestal brasileiro: conceitos jurídicos fundamentais. **VIII Congresso Florestal Brasileiro - ANAIS**, São Paulo, SP. Sociedade Brasileira de Silvicultura; Brasília: Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais. 2003. CD-ROM.

ANTUNES, P. de B. **Direito ambiental**. 3. Ed. Rio de Janeiro, 1999, 529p.

ARCOVA, F. C. S. ; CICCIO, V. ; Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, n. 56, pg. 125 – 134. dez. 1999.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Mapa das regiões hidrográficas do Brasil**. Projeto Regiões Hidrográficas do Brasil, Recursos Hídricos e Aspectos Prioritário. Brasília, 2002. Sem escala.

BACHA, Carlos José Caetano. Análise da evolução do reflorestamento no Brasil. **Rev. de economia agrícola**. São Paulo, v.55, n.2, p 5-24, jul./dez. 2008.

BRASIL. Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 fev.1965.

BRASIL. Lei no 7.511, de 7 de julho de 1986. Altera dispositivos da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jul.1986.

BRASIL. Lei no 7.803, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 jul.1989.

BRASIL. Medida Provisória nº 2166-67, de 24 de agosto de 2011. Altera os arts. 1º, 4º, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal, bem como altera o art. 10 da Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, que dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 ago.2001.

BRASIL. Resolução CONAMA 357/2005. 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. **DOU – Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar. 2005. n.53, p. 58-63.

CÂMARA, C.D. **Efeitos do corte raso de eucalipto sobre o balance hídrico e a ciclagem de nutrientes em uma microbacia experimental**. Piracicaba. 1999. 87p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo.

CHECCHIA T. Influência da zona ripária sobre os recursos hídricos: aspectos quantitativos e qualitativos. In. **I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas ripárias**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Catarina. Anais. 2003. pg.87-101

CORBETT, E. S.; LYNCH, J. A.; SOPPER, W. E. Timber harvesting practices and water quality in the eastern United States. **Journal of Forestry**. v. p. 484 – 488. 1978

COUTO, L.; DUBÉ, F. The status and practice of forestry in Brazil at the beginning of the 21st century; A review. **The Forestry Chronicle**, 2001, v. 77, n.5, p. 817 - 830.

DONADIO, N. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, RINALDO C. DE. Qualidade de água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Corrego Rico, São Paulo, Brasil. **Eng. Agricol**, Jaboticabal, v.25, n.1, p. 115-125, jan/abr 2005.

DIAS, H.C.; SILVA, A.S.; TONELLO, K.C.; CARDOSO, C.A.; ALVES, M.R.; OLIVEIRA Jr., J.C. **Proteção de Nascentes**. Brasília: Senar. 80p. 2005.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa, 1999. 412p.

EPAGRI – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA S.A. **Atlas climatológico de Santa Catarina**. Florianópolis, EPAGRI, 2002. CD-ROM.

FATMA – FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. **Atlas ambiental da região de Joinville – Complexo hídrico da baía da babitonga**. Florianópolis, FATMA/GTZ, 2002. 139p.

FRANÇA, MARIANNE SCHAEFER. **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da bacia d alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009.

FRY, J. F.; STEINER, F. R.; GREEN, D. M. Riparian evaluation and site assessment in Arizona. **Landscape and Urban Planning**. Amsterdam. v. 28. p. 179 – 199. 1994.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; NETO, A. C.; RIZZI, N. R. A influência da floresta ciliar sobre a temperatura das águas do rio Capivari, região cárstica curitibana. **R. Floresta**, Curitiba, PR, v. 35, n.3, set./dez. 2005.

GARIZI, A. Z.; SHEIKH, V.; SADODDIN, A. Assessment of seasonal variations of chemical characteristics in surface water using multivariate statistical methods. **Int. J. Environ. Sci. Tech.**, V. 8 (3), summer 2011. pg. 581-592.

GONÇALVES, M. L.; ZANOTELLI, C. T.; OLIVEIRA, F. A. **Diagnóstico e prognóstico das disponibilidades e demandas hídricas do rio Cubatão do Norte – Joinville – Santa Catarina**. Joinville, SC: UNIVILLE, 2006.

GONTIJO, C. & AGUIRRE, A. Elementos para uma tipologia do uso do solo agrícola no Brasil: uma aplicação da Análise Fatorial. Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Economia**, v. 42, n. 1, p. 13-49. jan./mar. 1988.

GUIMARÃES, J. L. B. Influência da mudança do uso do solo na quantidade de água em bacias Hidrográficas. In: **Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal**. Curso de Engenharia Florestal, UFPR. 4-8 de outubro de 1999.

GUIMARÃES, R. Z. ; OLIVEIRA, F. A. ; GONÇALVES, M. L. . Avaliação dos impactos da atividade de silvicultura sobre a qualidade dos recursos hídricos superficiais. **Scientia Forestalis (IPEF)**, v. 38, p. 377-390, 2010.

GUIMARÃES, R. Z. ; LIGNAU, C. ; RIZZI, N. R. ; SCHECHI, R. G. ; BIANCHI, R. C. . Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do Rio Campinas, Joinville SC. **Ra'e Ga**, v. 23, p. 32-64, 2011.

HAIR JR., J. F. *et al.* **Análise Multivariada de Dados**. 5 ed. Tradução: Adonai Schlup Sant'anna e Anselmo Chaves Neto. Porto Alegre: Bookman, 2009. Tradução de: Multivariate Analysis.

HANNA INSTRUMENTS. **Manual de instruções: HI 8149 – Medidor portátil resistente à água de Oxigênio Dissolvido com microprocessador**. Itália. 2004.

HANNELIUS, S.; KUUSELA, K. Finland. **The country of evergree Forest tampere: Forssan Kirjapaino OY**, 1995. p. 193.

HAUPT, H. F.; KIDD JR., W. J. Good logging practices reduce sedimentation. **Journal of Forestry**. v.rr. p. 664 -670. 1965

HINKEL R. Vegetação Ripária: funções e ecologia. In. I **Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas ripárias**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Catarina. Anais. 2003. pg.39-48.

HOLL, K. D. Factors limiting rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate, and soil. **Biotropica** 31. Local indefinido, 1999. pg. 229-242.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, IBGE, 1992. (Série Manuais Técnicos em Geociências, nº 1)

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS. DIVISÃO DE GEOCIÊNCIAS DO SUL. **Mapa Geológico da Folha São Miguel (Folhas SG-22-Z-B-II)**. Florianópolis, IBGE, 2001. (escala 1:100.000).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS. DIVISÃO DE GEOCIÊNCIAS DO SUL. **Reconhecimento de Solos (Folhas SG-22-Z-B-II e SG-22-Z-B-I)**. Florianópolis, IBGE, 2002. (escala 1:100.000).

KOBIYAMA, M.; SILVA, R.V. Uso da zona ripária na prevenção de desastres naturais. In: **Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias** (1: 2003: Alfredo Wagner) Florianópolis: UFSC/PPGEA, Anais, 2003. p.102-111

LIMA, W.P. & ZAKIA, M. J. B Função hidrológica da mata ciliar. In: BARBOSA, L.M (coordenação). **Simpósio sobre mata ciliar. Anais**. Fundação Cargill. Campinas, São Paulo, 1998. p. 25-42

LIMA, W. P. ; RIGHETTO, A. M. ; RANZINI, M. ; ARCOVA, F. C. S. ; CICCIO, V. ; GUANDIQUE, M. E. . Processos hidrológicos de uma microbacia com Mata Atlântica, na região da Serra do Mar, SP. **Scientia Forestalis** (IPEF), Piracicaba, SP, v. 66, p. 108-119, 2004.

LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. USP. Piracicaba – SP. 2º Ed. 2008.

LIU,W.C.; YU, H. L.; CHUNG, C. E. Assessment of Water Quality in a Subtropical Alpine Lake Using Multivariate Statistical Techniques and Geostatistical Mapping: A Case Study. **Int. J. Environ. Res. Public Health**. 8, 1126-1140. 2011.

MACCLANAHAN, T. R.; WOLFE, R. W. Accelerating forest succession in a fragmented landscape: the role of birds and perches. **Conservation Biology** 7(2). 1993. pg. 109-116.

MANDER, U.; KUUSEMETS, V.; LÕHMUS, K.; MAURING, TÕNU. Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. **Ecological Engineering**. v. 8. p. 299 – 324. 1997.

MAZLUM, N.; ÖZER, A.; MAZLUM, S. Interpretation of water quality data by principal components analysis. **Tr. J. of Engineering an Environmental Science**. Vol.23. p.19-26. 1999.

MILLER, E. L. Sediment yield and storm flow response to clear-cut harvest and site preparation in the Ouachita Mountains. **Water Resources Research**, v.20, n.4, p.471-475, Apr. 1984.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2005.

MIZUYAMA, T.; AMADA, T.; KURIHARA, J.; KOBAYASHI, M. Resistance and sedimentation by trees. *J. Jap. Soc. Erosion Control Eng.*, Tokyo, v.42, n.4, p.18-22, 1989.

MUSCUTT, A.D.; G.L. HARRIS; S.W. BAILEY; D.B.DAVIES, 1993. Buffer zones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 45: 59-77.

NETO, ANSELMO CHAVES. **Análise multivariada aplicada à pesquisa**. Apostila curso de pós-graduação. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba – PR. 2010. 105 p.

NEPSTAD, D.C. *et al.* The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of the Amazonian forests and pastures. *Nature*, v. 372, p. 666-669, 1994.

NOBRE, C. A. Amazônia e o carbono atmosférico. *Scientific American – Brasil*, São Paulo, ano 1, v. 6, p. 36 – 39, novembro 2002.

NORRIS, V. The use of buffer zones to protect water quality: a review. *Water resource management*, v. 7, n. 4, p. 257-272. 1993.

OKI, V.K. **Impactos da Colheita de Pinus Taeda sobre o Balanço Hídrico, Qualidade da Água e a Ciclagem de Nutrientes em Microbacias**. 2002. Dissertação (especialização em Ciências, Área de Concentração: Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OSBORNE, L. L.; KOVACIC, D. A. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Freshwater Biology*. v. 29. p. 243 – 258. 1993.

OLIVEIRA, FABIANO ANTONIO **Estudo do Aporte Sedimentar em Suspensão na Baía da Babitonga sob a Ótica da Geomorfologia**, (Doutorado em Geografia Física) Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo São Paulo - USP, 2006 286p.

PARINET, B.; LHOE, A.; LEGUBE, B. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management – application to a tropical lake system. *Ecological Modelling*. V. 178. 2004. pg. 295-311.

REID, L. M.; HILTON, S. Buffering the Buffer. *USDA Forest Service*. v.45. p. 71 – 80. 1998

REIS, A. BECCHARA, F. C.; ESPÍNDOLA, M. B.; VIEIRA, N. K.; SOUZA, L. L. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. *Natureza & Conservação*. Vol. 1, n° 1, Abril. 2003 pg. 28-36.

REIS, A.; TRÊS, D. R.; SIMINSKY, A. **Curso: Restauração de áreas degradadas – imitando a natureza**. UFSC. Florianópolis. 2006. Disponível em <  
[http://sementesdopantanal.dbi.ufms.br/menuhorizontal/pdf/rest\\_areas\\_degrad\\_ademir\\_re](http://sementesdopantanal.dbi.ufms.br/menuhorizontal/pdf/rest_areas_degrad_ademir_re)

is.pdf> Acesso em 22 set 2011.

RIZZI, N. E. Hidrologia Florestal e Manejo de Bacias Hidrográficas. Curso de Engenharia Florestal da UFPR. **Apostila online** em [www.hidrologia.ufpr.br](http://www.hidrologia.ufpr.br) 25 capítulos, 3,5GB. 2011.

SALEMI, L.F. *et al.* (2011). Aspectos hidrológicos da recuperação florestal de áreas de preservação permanente ao longo dos corpos de água. **Rev. Inst. Flor.** V.23 n.1, p. 69-80. Jun. 2011.

SANQUETTA, C. R. (ed). As florestas e o carbono. 1. ed. Curitiba: **Imprensa Universitária da UFPR**, 2002. 256 p.

SANTA CATARINA – SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL – CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE - CONSEMA. Lei nº 13, de 28 de outubro de 2008. Dispõe sobre parâmetros básicos para análise dos estágios sucessionais da vegetação dos campos de altitude associados à Floresta Ombrófila Mista, e à Floresta Ombrófila Densa, de Santa Catarina, no Bioma Mata Atlântico. **Diário Oficial – SC nº 18.842**, Florianópolis, SC, 05 nov.2008.

SANTOS, I. ; FILL, H.D.A. ; SUGAI, M.R.B. ; BUBA, H. ; KISHI, R.T. ; MARONE, E. ; LAUTERT, L.F.C. . **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: LACTEC, 2001. v. 1. 372 p.

SANTIN, M. F. C. L.; REIS, A. A silvicultura como veículo do desenvolvimento econômico e ambientalmente sustentável na metade sul do Rio Grande do Sul. **Anais do VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**. Fortaleza, 28 a 30 de novembro de 2007.

SEPLAN – SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO/PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Ortofotos**. Escala de Vôo: 1:5.000. Executado por: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, ano de 2010a.

SEPLAN – SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO/PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Ortofotos**. Escala de Vôo: 1:10.000. Executado por: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, ano de 2010b.

SERAFIM, A.; MORAIS, M.; GUILHERME, P.; SARMENTO, P.; RUIVO, M.; MAGRIÇO, A. Spatial and temporal heterogeneity in the Alqueva reservoir, Guadiana river, Portugal. **Limnetica**, V. 25 (3): 2006. pg. 771-786.

SDS – SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Panorama dos Recursos Hídricos de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2005. 283p.

SAHIN, V.; HALL, M.J. The effects of afforestation and deforestation on water yields. **Journal of Hydrology**, v. 178, p. 293-309, 1996.

SILVA, R. V. Estimativa de largura de faixa ripária vegetativa para zonas ripárias: uma revisão. In. **I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas ripárias**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Catarina. Anais. 2003. pg.74-85

SOUZA, L. C. de; Marques, R. Fluxo de nutrientes em floresta ombrófila densa das terras baixas no litoral do Paraná. **Floresta**, Curitiba, Pr, v. 40, n.1, p. 125-136, jan./mar. 2010.

SPACKMAN, S. C.; HUGHES, J. W. Assessment of minimum stream corridor width for biological conservation: Species richness and distribution along mid - order streams in Vermont, USA. **Biological Conservation**. Great Britain. v. 71. p. 325 – 332. 1995.

STATPOINT, INC. **Power transformations**. Statgraphics Centurion Users Guide. Revisado em 9 jun. 2005.

STEDNICK, J.D. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. **Journal of Hydrology**, v. 176, p. 79-95, 1996.

TONELLO, K.C; CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.; ALVES, M.R.; OLIVEIRA Jr., J.C. As áreas de preservação permanente e sua importância para o manejo de bacias hidrográficas na Zona da Mata Mineira. In: VIII CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, v. 1, 2003, São Paulo – SP. **Anais**. 2003. 9p.

TREIN, L. E. Patrimônio biológico. In: Knie, J. L. W. **Atlas ambiental da região de Joinville: complexo hídrico da Baía da Babitonga**. 2. ed. FATMA/GTZ, Florianópolis, SC, 2002. pg. 27-40

VITAL, A. R. T. **Efeito do corte raso no balance hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo. 1996. 106p.

VOIGTLAENDER, MAUREEN. **Caracterização hidrológica e biogeoquímica de microbacias: uma comparação entre Mata Atlântica e Pinus taeda L.** (Dissertação Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Piracicaba, SP, 2007. 74p.

VOUGHT, L. B.; DAHL, J.; PEDERSEN, C. L. e LACOURSIÈRE, J. O. Nutriente retention in riparian ecotones. **Ambio**, v. 23, n. 6, p. 342-348. 1994.

YASSU, F. Proteção Ambiental. **DBO – A Revista de Negócios da Pecuária**. São Paulo, ano 24, nº299, p.80-88, set. 2005

ZAKIA, M.J.B.; RIGHETTO, A.M.; LIMA, W.P. Delimitação da zona ripária em uma microbacia. In: LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. (Org.) **As florestas plantadas e a água: implementando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RIMA, 2006. p.89-106.

ZIMMERMANN, B.; ELSENBEEER, H.; MORAES, J.M. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: implications for runoff generation. **Forest Ecology and Management**, v. 222, p. 29-38, 2006.

## APÊNDICE I – Tratamento de dados perdidos

Ponto de Coleta	Parâmetro	Nº de observações	Nº de dados perdidos	Dados perdidos (%)	Método de tratamento	Modelo	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>ADJ</sub>	P-value ANOVA
Ponto 1 - Entrada do rio Campinas	pH	45	16	35,5%	Regressão Multipla	$pH = 0,0781705*TC + 0,297474*CE + 0,844917*DBO$	99,33%	99,23%	0,0000
	DBO	45	10	22,2%	Regressão Multipla	$DBO = 0,0925*TC + 0,6444*pH - 0,2745*CE - 0,3329*NO$	95,19%	93,75%	0,0000
	TB	45	2	4,4%	Substituição pela média	-	-	-	-
	SST	45	6	13,3%	Substituição pela média	-	-	-	-
	NT	45	27	60%	ELIMINADA	-	-	-	-
	K	45	7	15,5%	Regressão Multipla	$K = 0,1302*pH - 1,1306*PT - 0,07948*VZ$	95,52%	94,83%	0,0000
	Q	45	7	15,5%	Regressão Polinomial	$VZ = 0,435 + 0,00003*Pp_{48}^3 - 0,0029*Pp_{48}^2 + 0,0682*Pp_{48}$	NA	NA	NA
Ponto 2 - Saída rio Campinas	pH	45	7	15,5%	Regressão Multipla	$pH = 1,3457*DBO + 0,1901*CE$	97,82%	97,62%	0,0000
	OD	45	2	4,4%	Substituição pela média	-	-	-	-
	DBO	45	15	33,3%	Regressão Multipla	$DBO = 0,3835*PH - 0,0861*CE + 0,2411*TB + 1,5529*NO - 0,5578*VZ$	95,34%	93,30%	0,0000
	TB	45	2	4,4%	Substituição pela média	-	-	-	-
	SST	45	5	11,1%	Substituição pela média	-	-	-	-
	NT	45	26	57,7%	ELIMINADA	-	-	-	-
	K	45	7	15,5%	Regressão Multipla	$K = 0,024*CE + 0,0087*SD - 0,123*VZ$	96,67%	96,26%	0,0000
Q	45	4	8,8%	Regressão Multipla	$VZ = 0,00797867*Pp + 0,0153612*Pp_{48}$	82,08%	81,22%	0,0000	

**APÊNDICE I – Tratamento de dados perdidos (continuação...)**

Ponto de Coleta	Parâmetro	N° de observações	N° de dados perdidos	Dados perdidos (%)	Método de tratamento	Modelo	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>ADJ</sub>	P-value ANOVA
Microbacia 3 - <i>Pinus taeda</i> 1999	pH	45	9	20%	Regressão Multipla	$pH = 0,192*TC + 0,066*CE + 0,023*SD$	98,81%	98,67%	0,0000
	OD	45	2	4,44%	Substituição pela média	-	-	-	-
	DBO	45	13	28,8%	Regressão Multipla	$DBO = 0,0356*TB + 0,0203*SD + 3,5282*PT$	86,59%	84,80%	0,0000
	TB	45	2	4,4%	Substituição pela média	-	-	-	-
	SST	45	5	11,11%	Substituição pela média	-	-	-	-
	NT	45	16	35,5%	ELIMINADA	-	-	-	-
	K	45	7	15,5%	Regressão Multipla	$K = -0,0285*TC + 0,1341*PH + 0,0178*CE$	96,45%	95,95%	0,0000
	Q	45	4	8,88%	Regressão Multipla	$VZ = 0,000111768* Pp + 0,000185479* Pp_{48}$	87,28%	86,67%	0,0000
Microbacia 4 - <i>Pinus taeda</i> 1992	pH	45	7	15,5%	Regressão Multipla	$pH = 0,2275*TC + 1,571*NO + 2,8998*K$	98,97%	98,80%	0,0000
	OD	45	2	4,4%	Substituição pela média	-	-	-	-
	DBO	45	18	40%	Regressão Multipla	$DBO = 0,1380*TC + 0,0043*PH + 0,0012*CE - 0,7505*NO$	95,03%	92,89%	0,0001
	TB	45	2	4,4%	Substituição pela média	-	-	-	-
	SST	45	5	11,1%	Substituição pela média	-	-	-	-
	NT	45	27	60%	ELIMINADA	-	-	-	-
	K	45	10	22,2%	Regressão Multipla	$K = 0,0125*CE + 0,0226*SS$	98,03%	97,89%	0,0000
	Q	45	5	11,1%	Substituição pela média	$VZ = 0,0000810013* Pp + 0,000383005* Pp_{48}$	86,32%	85,64%	0,0000

**APÊNDICE I – Tratamento de dados perdidos (continuação...)**

Ponto de Coleta	Parâmetro	N° de observações	N° de dados perdidos	Dados perdidos (%)	Método de tratamento	Modelo	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>ADJ</sub>	P-value ANOVA
Microbacia 5 - <i>Pinus taeda</i> e <i>P. elliotti</i> 1970	pH	44	7	15,9%	Regressão Multipla	$pH = 0,1453*CE + 0,5815*DBO$	98,25%	98,13%	0,0000
	OD	44	2	4,5%	Substituição pela média	-	-	-	-
	DBO	44	14	31,8%	Regressão Multipla	$DBO = 0,0813*TC + 0,2847*pH - 0,0207*SD - 16,1595*VZ$	93,49%	98,13%	0,0000
	TB	44	2	4,5%	Substituição pela média	-	-	-	-
	SST	44	6	13,6%	Substituição pela média	-	-	-	-
	NT	44	18	40,9%	ELIMINADA	-	-	-	-
	K	44	10	22,7%	Regressão Multipla	$K = 0,0121*SS + 0,0317*CE$	87,80%	87,12%	0,0000
Q	44	7	15,9%	Regressão Multipla	$VZ = 0,0000468296* Pp + 0,0000471797* Pp_{48}$	69,48%	68,21%	0,0000	
Microbacia 6 - Floresta Nativa	pH	45	7	15,5%	Regressão Multipla	$pH = 0,1797*CE + 0,3445*DBO + 60,5823*VZ$	98,55%	98,26%	0,0000
	OD	45	2	4,4%	Substituição pela média	-	-	-	-
	DBO	45	14	31,1%	Regressão Multipla	$DBO = -0,4670*pH + 5,7628*K + 69,0911*VZ$	96,54%	95,68%	0,0000
	TB	45	2	4,4%	Substituição pela média	-	-	-	-
	SST	45	5	11,1%	Substituição pela média	-	-	-	-
	NT	45	27	60%	ELIMINADA	-	-	-	-
	K	45	7	15,5%	Regressão Multipla	$K = 0,1067*pH + 0,0027*CE - 0,0011*SD + 0,0248*SS - 19,4171*VZ$	97,54%	96,31%	0,0000
Q	45	4	8,88%	Regressão Multipla	$VZ = 0,0000327612* Pp + 0,000122536* Pp_{48}$	79,05%	78,05%	0,0000	

## ANEXO I – FUNÇÃO PROGRAMADA NO R “cortest.bartlett”

```

"cortest.bartlett" <-
function(R,n=NULL) {
#message("Bartlett's test that correlation matrix is an identity matrix")
if (dim(R)[1] != dim(R)[2]) {n <- dim(R)[1]
      message("R was not square, finding R from data")
      R <- cor(R,use="pairwise")}

p <- dim(R)[2]
if(!is.matrix(R) ) R <- as.matrix(R) #converts data.frames to matrices if needed
if(is.null(n)) {n <- 100
      warning("n not specified, 100 used") }
detR <- det(R)
statistic <- -log(detR) *(n -1 - (2*p + 5)/6)
df <- p * (p-1)/2
pval <- pchisq(statistic,df,lower.tail=FALSE)

bartlett <- list(chisq = statistic, p.value =pval, df =df)
return(bartlett) }

```

## ANEXO II – FUNÇÃO PROGRAMADA NO R “kmo”

```

kmo = function( data ){

  library(MASS)
  X <- cor(as.matrix(data))
  iX <- ginv(X)
  S2 <- diag(diag((iX^-1)))
  AIS <- S2%*%iX%*%S2          # anti-image covariance matrix
  IS <- X+AIS-2*S2            # image covariance matrix
  Dai <- sqrt(diag(diag(AIS)))
  IR <- ginv(Dai)%*%IS%*%ginv(Dai)  # image correlation matrix
  AIR <- ginv(Dai)%*%AIS%*%ginv(Dai) # anti-image correlation matrix
  a <- apply((AIR - diag(diag(AIR)))^2, 2, sum)
  AA <- sum(a)
  b <- apply((X - diag(nrow(X)))^2, 2, sum)
  BB <- sum(b)
  MSA <- b/(b+a)              # indiv. measures of sampling adequacy

  AIR <- AIR-diag(nrow(AIR))+diag(MSA) # Examine the anti-image of the
                                     # correlation matrix. That is the
                                     # negative of the partial correlations,
                                     # partialling out all other variables.

  kmo <- BB/(AA+BB)          # overall KMO statistic

  # Reporting the conclusion
  if (kmo >= 0.00 && kmo < 0.50){
    test <- 'The KMO test yields a degree of common variance
unacceptable for FA.'
  } else if (kmo >= 0.50 && kmo < 0.60){
    test <- 'The KMO test yields a degree of common variance miserable.'
  }
}

```

```
} else if (kmo >= 0.60 && kmo < 0.70){
  test <- 'The KMO test yields a degree of common variance mediocre.'
} else if (kmo >= 0.70 && kmo < 0.80){
  test <- 'The KMO test yields a degree of common variance middling.'
} else if (kmo >= 0.80 && kmo < 0.90){
  test <- 'The KMO test yields a degree of common variance meritorious.'
} else {
  test <- 'The KMO test yields a degree of common variance marvelous.'
}

ans <- list( overall = kmo,
            report = test,
            individual = MSA,
            AIS = AIS,
            AIR = AIR )
return(ans)

} # end of kmo()
```