

MARCELO RICARDO DE LIMA

**ATRIBUTOS DE SOLOS E MACRÓFITAS AQUÁTICAS
FLUTUANTES: UMA CONTRIBUIÇÃO À SUSTENTABILIDADE
AGRÍCOLA E AMBIENTAL NA BACIA DO RIO IRAÍ (PR)**

**CURITIBA
OUTUBRO - 2005**

MARCELO RICARDO DE LIMA

**ATRIBUTOS DE SOLOS E MACRÓFITAS AQUÁTICAS
FLUTUANTES: UMA CONTRIBUIÇÃO À SUSTENTABILIDADE
AGRÍCOLA E AMBIENTAL NA BACIA DO RIO IRAÍ (PR)**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Celina Wisniewski

**CURITIBA
OUTUBRO – 2005**

TERMO DE APROVAÇÃO

MARCELO RICARDO DE LIMA

ATRIBUTOS DE SOLOS E MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES: UMA
CONTRIBUIÇÃO À SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA E AMBIENTAL NA BACIA DO RIO
IRAÍ (PR)

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Dra. Celina Wisniewski
Orientadora e Presidente – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR

Dr. Emílio Trevisan
Primeiro Examinador - SUDERHSA

Dra. Neyde Fabíola Balarezo Giarola
Segunda Examinadora – Departamento de Ciência dos Solos e Engenharia Agrícola, UEPG

Dra. Beatriz Monte Serrat
Terceiro Examinador – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR

Dr. Valmiqui Costa Lima
Quarto Examinador – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR

Curitiba, 07 de outubro de 2005

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Celina Wisniewski pela orientação e paciência no transcorrer deste trabalho.

À coordenação, professores e alunos do Curso de Pós Graduação de Agronomia, área de Concentração em Produção Vegetal, pela oportunidade, conhecimentos adquiridos e troca de experiências.

Aos servidores técnico-administrativos, bolsistas e estagiários que auxiliaram na execução das atividades de campo e laboratório, em especial à Maria Aparecida de Carvalho Santos, Fábio Vicente Ferreira, Angela Daniela Taffarel, Jaime Barros dos Santos Júnior, Humberto Bicca Neto, Lorenza Zanetti Cordeiro, Fernanda Zangiski, Adriane Cristina Lombardo da Cruz e Haline Depiné.

À FINEP/CTHidro e ao CNPq pelo financiamento das pesquisas realizadas, no âmbito do Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre Eutrofização de Águas de Abastecimento Público na Bacia do Altíssimo Iguaçu

Ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR pela disponibilidade para cursar este Doutorado, e seus professores pelo apoio, em especial ao apoio dos professores Carlos Bruno Reissmann, Angelo Evaristo Sirtoli e Luiz Cláudio de Paula Souza durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores Carlos Bruno Reissmann e Vander de Freitas Melo, pelas sugestões apresentadas na pré defesa desta tese.

Aos pesquisadores e professores Emílio Trevisan, Neyde Fabíola Balarezo Giarola, Beatriz Monte Serrat e Valmiqui Costa Lima, pelas contribuições apresentadas na defesa desta tese.

À minha esposa, familiares, amigos e amigas, pela dedicação e carinho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

MARCELO RICARDO DE LIMA, filho de Aureo Sebastião Tesseroli de Lima e Vanda Suchla de Lima, nasceu em Curitiba (PR), aos 12 de dezembro de 1968. É casado com Fernanda Ilkiu Tremel.

Cursou o ensino fundamental em São José dos Pinhais (PR). Concluiu o Curso de Técnico em Agropecuária em 1985 no Colégio Agrícola Estadual Augusto Ribas, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, em Ponta Grossa (PR). Graduou-se em 1990, com o título de Engenheiro Agrônomo, conferido pela Universidade Federal do Paraná, em Curitiba (PR). Obteve o grau de Mestre em Ciência do Solo em 1993, pelo Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre (RS).

Trabalhou como professor no período de 1993 a 1996 na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. No primeiro semestre de 1997, atuou como professor no Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná, na Pontifícia Universidade Católica do Paraná, e na Faculdade Espírita do Paraná. Desde o segundo semestre de 1997 é professor assistente do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná. Em março de 2002 iniciou o Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, no Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A REPRESA DO RIO IRAÍ E O IMPACTO DAS ÁREAS AGRÍCOLAS A MONTANTE DO RESERVATÓRIO NA QUALIDADE DA ÁGUA	3
2.1.1 O impacto das atividades rurais na represa do rio Iraí	5
2.1.2 A eutrofização das águas e o impacto das atividades agropecuárias neste processo.....	6
2.2 BIODISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO E EM AMBIENTES AQUÁTICOS.....	9
2.2.1 O fósforo no solo.....	9
2.2.2 O fósforo em ambientes aquáticos.....	11
2.2.3 O fósforo na planta	12
2.3 ALTERNATIVAS PARA O CONTROLE DA EUTROFIZAÇÃO NA BACIA DO RIO IRAÍ.....	14
2.3.1 Atributos do solo como ferramentas no planejamento do uso agrícola das terras na bacia do rio Iraí.....	15
2.3.2 Macrófitas aquáticas flutuantes e seu uso na fitodepuração de cursos d'água	16
2.3.2.1 Características de algumas macrófitas aquáticas flutuantes	16
2.3.2.2 Utilização das macrófitas aquáticas flutuantes na fitodepuração dos corpos d'água	18
2.3.2.3 Alternativas de uso da biomassa produzida na fitorremediação.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO – A BACIA A MONTANTE DA BARRAGEM DO RIO IRAÍ.....	23
3.2 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DAS PRINCIPAIS UNIDADES DE MAPEAMENTO EXISTENTES NAS BACIAS DOS RIOS CANGUIRI E TIMBÚ.....	25
3.2.1 Bases de referência utilizadas	26
3.2.2 Processamento digital de informações georreferenciadas	26
3.2.3 Atividades de campo.....	31
3.2.4 Análises de laboratório.....	31
3.2.5 Classificação dos solos e obtenção do mapa de solos.....	32
3.3 EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO EXPLORATÓRIA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES	32
3.3.1 Localização da área experimental.....	32
3.3.2 Tratamentos e delineamento.....	33

3.3.3	Condução do experimento	34
3.3.4	Preparo do material colhido e análise	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS EXISTENTES NAS BACIAS DOS RIOS CANGUIRI E TIMBÚ.....	36
4.1.1	Classes de declividade do terreno	36
4.1.2	Unidades de mapeamento de solos encontradas nas bacias dos rios Canguri e Timbú	40
4.1.2.1	Unidade CXvd – Cambissolo Háptico Ta Distrófico típico substrato argilitos	43
4.1.2.2	Unidade CHa+CHd – associação Cambissolo Húmico Alumínico típico + Cambissolo Húmico Distrófico típico ambos substrato argilitos	45
4.1.2.3	Unidade CHa+RLd – associação Cambissolo Húmico Alumínico típico + Neossolo Litólico Distrófico típico ambos substrato argilitos e arcósios	49
4.1.2.4	Unidade GXve – Gleissolo Háptico Ta Eutrófico típico	51
4.1.2.5	Unidade OYs – Organossolo Mésico Sáprico típico	55
4.1.2.6	Unidade LVd – Latossolo Vermelho Distrófico típico	57
4.1.2.7	Unidade Tipo de Terreno – Área Urbana	60
4.1.3	Aplicação dos mapas de classes de declividade do terreno e mapas de solos das bacias dos rios Canguri e Timbú	63
4.2	EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO EXPLORATÓRIA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES	64
4.2.1	Experimento de verão	64
4.2.2	Experimento de inverno	68
5	CONCLUSÕES.....	76
6	REFERÊNCIAS	78
	ANEXOS.....	92

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – REPRESENTAÇÃO DA BACIA DO RIO IRAÍ (A) À MONTANTE DO RESERVATÓRIO (B), MOSTRANDO AS BACIAS CONTRIBUINTES DOS RIOS CANGUIRI (C), TIMBÚ (D), CERCADO (E) E CURRALINHO (F)	24
FIGURA 02 – RECORTE DE ORTOFOTO DIGITAL DA BACIA DO RIO TIMBÚ	27
FIGURA 03 –CURVAS DE NÍVEL COM SOBREPOSIÇÃO DE GRADE RETANGULAR, OBTIDOS NA BACIA DO TIMBÚ.....	28
FIGURA 04 – GRADE TRIANGULAR OBTIDA NA BACIA DO RIO TIMBÚ.....	28
FIGURA 05 – MODELO DE SOMBREAMENTO OBTIDO NA BACIA DO RIO TIMBÚ	30
FIGURA 06 –IMAGEM MNT OBTIDA NA BACIA DO RIO TIMBÚ	30
FIGURA 07 – MODELO SINTÉTICO DO TERRENO OBTIDO NA BACIA DO RIO TIMBÚ	31
FIGURA 08 – ASPECTO DO EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES.....	33
FIGURA 09 – ASPECTO DA ENTRADA DE ÁGUA NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS	34
FIGURA 10 - MAPA DE CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO DA BACIA DO RIO CANGUIRI	38
FIGURA 11 – MAPA DE CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO NA BACIA DO RIO TIMBÚ	39
FIGURA 12 – MAPA DE SOLOS DA BACIA DO RIO CANGUIRI.....	41
FIGURA 13 – MAPA DE SOLOS DA BACIA DO RIO TIMBÚ	42
FIGURA 14 – ÁREA LOCALIZADA NA UNIDADE DE MAPEAMENTO CHa + CHd COM PREPARO INTENSIVO	49
FIGURA 15 – PAISAGEM DE OCORRÊNCIA DA UNIDADE DE MAPEAMENTO GXve (EM PRIMEIRO PLANO) UTILIZADO COM PASTAGENS.....	53
FIGURA 16 – USO DE SOLOS DA UNIDADE DE MAPEAMENTO GXve COM OLERICULTURA.....	54
FIGURA 17 – USO DE SOLOS DA UNIDADE DE MAPEAMENTO GXve COM TANQUE E RESIDÊNCIA.....	54
FIGURA 18 – PAISAGEM DE OCORRÊNCIA DA UNIDADE DE MAPEAMENTO TIPO DE TERRENO – ÁREA URBANA.....	61
FIGURA 19 – OCORRÊNCIA DE EROSÃO APÓS A REMOÇÃO ANTRÓPICA DOS HORIZONTES SUPERFICIAIS NA UNIDADE DE MAPEAMENTO TIPO DE TERRENO – ÁREA URBANA.....	62

FIGURA 20 – ASPECTO DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA VERDE ENTRE A PARTE AÉREA E RAÍZES NO AGUAPÉ (ESQUERDA) E NA ALFACE D'ÁGUA (DIREITA), NA COLHEITA DO CULTIVO DE INVERNO.....	70
FIGURA 21 – VISTA SUPERIOR DE PARCELA CULTIVADA COM AGUAPÉ, NO PERÍODO DE INVERNO	71
FIGURA 22 – VISTA SUPERIOR DE PARCELA CULTIVADA COM ALFACE D'ÁGUA, NO PERÍODO DE INVERNO	72
FIGURA 23 – VISTA SUPERIOR DE PARCELA CULTIVADA COM LENTILHA D'ÁGUA, NO PERÍODO DE INVERNO	72
FIGURA 24 – OCORRÊNCIA DE CLORESE E NECROSE NAS MARGENS DAS FOLHAS MAIS VELHAS DA ALFACE D'ÁGUA DURANTE O CULTIVO DE INVERNO.....	75

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - ÁREAS OCUPADAS PELAS DIFERENTES CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO NA BACIA DO RIO CANGUIRI	37
TABELA 02 – ÁREAS OCUPADAS PELAS DIFERENTES CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO NA BACIA DO RIO TIMBÚ	37
TABELA 03 - AREAS DAS DIFERENTES UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS DA BACIA DO RIO CANGUIRI	40
TABELA 04 - AREAS DAS DIFERENTES UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS DA BACIA DO RIO TIMBÚ	40
TABELA 05 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 01 DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CXvd - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta DISTRÓFICO	45
TABELA 06 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 10 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CHa + CHd - ASSOCIAÇÃO CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO TÍPICO + CAMBISSOLO HÚMICO DISTRÓFICO TÍPICO	47
TABELA 07 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 05 DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CHa + RLd - ASSOCIAÇÃO CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO TÍPICO + NEOSSOLO LITÓLICO DISTRÓFICO TÍPICO	50
TABELA 08 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 03 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO GXve - GLEISSOLO HÁPLICO Ta EUTRÓFICO TÍPICO	52
TABELA 09 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 08 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO OYs - ORGANOSSOLO MÉSICO SÁPRICO TÍPICO	56
TABELA 10 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 06 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO Lvd - LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO	59
TABELA 11 – MASSA FRESCA E SECA TOTAL, EM TRÊS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE VERÃO	64
TABELA 12 – MASSA DA PARTE AÉREA E RAÍZES E RELAÇÃO MASSA RAÍZES/PARTE AÉREA, EM AGUAPÉ E ALFACE D'ÁGUA, NO EXPERIMENTO DE VERÃO	65
TABELA 13 – CONCENTRAÇÃO DE N, P, K, Na, Mg, Ca, Al, Cu, Zn, Mn E Fe NA MASSA SECA DE TRÊS MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE VERÃO	66

TABELA 14 – QUANTIDADE DE N, P, K, Na, Mg, Ca, Al, Cu, Zn, Mn E Fe NA MASSA SECA DE TRÊS MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE VERÃO (PERÍODO DE 86 DIAS)	67
TABELA 15 – CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO E NITRATO SOLÚVEIS NO MOMENTO DA COLHEITA, EM DUAS PROFUNDIDADES, NA ÁGUA DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS CULTIVADAS COM DIFERENTES ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE VERÃO.....	68
TABELA 16 – MASSA FRESCA E SECA TOTAL, EM TRÊS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE INVERNO	68
TABELA 17 – MASSA DA PARTE AÉREA E RAÍZES E RELAÇÃO MASSA RAÍZES/PARTE AÉREA, NO AGUAPÉ E ALFACE D'ÁGUA, NO EXPERIMENTO DE INVERNO	69
TABELA 18 – CONCENTRAÇÃO DE P, K, Na, Mg, Ca, Al, Cu, Zn, Mn E Fe NA MASSA SECA EM TRÊS MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE INVERNO	73
TABELA 19 – QUANTIDADE DE P, K, Na, Mg, Ca, Al, Cu, Zn, Mn E Fe NA MASSA SECA EM TRÊS MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE INVERNO (PERÍODO DE 110 DIAS).....	74
TABELA 20 – CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO SOLÚVEL NO MOMENTO DA COLHEITA, EM DUAS PROFUNDIDADES, NA ÁGUA DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS CULTIVADAS COM DIFERENTES MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NOS EXPERIMENTOS DE VERÃO E INVERNO.....	75

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 01 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CXvd - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta DISTRÓFICO	44
QUADRO 02 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 10 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CHa + CHd - ASSOCIAÇÃO CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO TÍPICO + CAMBISSOLO HÚMICO DISTRÓFICO TÍPICO	46
QUADRO 03 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 05 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CHa + RLd - ASSOCIAÇÃO CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO TÍPICO + NEOSSOLO LITÓLICO DISTRÓFICO TÍPICO	50
QUADRO 04 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 03 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO GXve - GLEISSOLO HÁPLICO Ta EUTRÓFICO TÍPICO	52
QUADRO 05 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 08 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO OYs - ORGANOSSOLO MÉSICO SÁPRICO TÍPICO	56
QUADRO 06 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 06 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO LVd - LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO	58

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I - PRECIPITAÇÃO DIÁRIA (mm) REGISTRADA NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PINHAIS DURANTE O EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NO PERÍODO DE VERÃO	92
ANEXO II – TEMPERATURA MÍNIMA (°C) DIÁRIA REGISTRADA NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PINHAIS DURANTE O EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NO PERÍODO DE VERÃO	93
ANEXO III - PRECIPITAÇÃO DIÁRIA (mm) REGISTRADA NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PINHAIS DURANTE O EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NO PERÍODO DE INVERNO	94
ANEXO IV – TEMPERATURA MÍNIMA (°C) DIÁRIA REGISTRADA NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PINHAIS DURANTE O EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NO PERÍODO DE INVERNO	95
ANEXO V - OUTROS PERFIS DE SOLO DESCRITOS NA BACIA DO RIO CANGUIRI	96
ANEXO VI - PERFIS DE SOLOS DA BACIA DO RIO TIMBÚ	103

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APA	Área de proteção ambiental
CTC	Capacidade de troca de cátions
COMEC	Coordenadoria para a Região Metropolitana de Curitiba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV	Coeficiente de variação
DMS	Diferença mínima significativa
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	Global positioning system
IHS	Intensity, hue, saturation
MHNCI/PMC	Museu de História Natural do Capão da Imbuia/Prefeitura de Curitiba
MNT	Modelo numérico do terreno
PUC-PR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
RGB	Red, green, blue
SB	Soma de bases
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente
SIG	Sistema de informações geográficas
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
UFPR	Universidade Federal do Paraná
V	Saturação de bases
ZEE	Zoneamento ecológico econômico
ZUA	Zona de uso agropecuário

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
μg	Micrograma
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celcius
cm	Centímetro
cmol_c	Centimol de carga
dm^3	Decímetro cúbico
g	Gramma
ha	Hectare
hm^2	Hectômetro quadrado
hm^3	Hectômetro cúbico
K	Potássio
kg	Quilograma
km^2	Quilômetro quadrado
m	Metro
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
mg	Miligrama
Mg	Megagrama
mm	Milímetro
N	Nitrogênio
P	Fósforo
pH	Atividade do $[\text{H}^+]$ em solução
s	Segundo

RESUMO

A bacia do rio Iraí é um dos principais mananciais de água da região metropolitana de Curitiba, sendo que foi construída uma barragem neste curso d'água, visando regularizar a vazão e conter cheias. Devido à situação de uso agrícola e urbano da bacia, e as condições favoráveis do lago artificial formado, houve processos de eutrofização, que causaram eventos de floração de cianobactérias, prejudicando a qualidade da água. Desta forma o objetivo geral deste trabalho avaliar alguns atributos de solo e macrófitas aquáticas, que possam servir de subsídio à adoção de medidas de controle e mitigação dos efeitos das práticas agrícolas na eutrofização do reservatório do rio Iraí. Os objetivos específicos desta tese foram: a) Identificar as principais unidades de mapeamento de solos existentes e sua localização geográfica, nas bacias dos rios Canguiri e Timbú, que são contribuintes da represa do rio Iraí; b) Avaliar algumas espécies de macrófitas aquáticas flutuantes quanto ao desenvolvimento e distribuição de nutrientes entre as partes aérea e raízes;. Para atingir estes objetivos, foram conduzidas duas ações de pesquisa: a) caracterização pedológica dos principais solos das bacias dos rios Canguiri e Timbú, que são dois importantes contribuintes de nutrientes para a represa do rio Iraí, utilizando recursos de geoprocessamento e levantamentos de campo; b) instalação de um experimento no Centro de Estações Experimentais do Canguiri, em tanques de 500 dm³, comparando três macrófitas aquáticas flutuantes (aguapé, alface d'água, lentilha d'água) e avaliando o rendimento de massa fresca e seca, e absorção de nutrientes. Do ponto de vista agrícola, dentre estas unidades de mapeamento de solos, aquelas que apresentam maior risco à eutrofização e assoreamento dos cursos d'água são a CHa+CHd - Associação Cambissolo Húmico Alumínico típico + Cambissolo Húmico Distrófico típico e principalmente CHa+RLd - Associação Cambissolo Húmico Alumínico típico + Neossolo Litólico Distrófico típico, devido ao risco de erosão associado ao relevo ondulado a forte ondulado, e as unidades GXve - Gleissolo Háptico Ta Eutrófico típico e OYs - Organossolo Mésico Sápico típico, devido à proximidade dos rios. Os resultados obtidos mostraram que, dentre as espécies de macrófitas aquáticas estudadas, no período de verão, o aguapé apresentou melhor potencial para remoção dos nutrientes presentes na água. No período de inverno, por outro lado, a espécie que apresentou melhor potencial foi a alface d'água, tanto em termos de rendimento de matéria seca, quanto de acumulação de P.

Palavras-chave: eutrofização, levantamento pedológico, rio Canguiri, rio Timbú, macrófitas aquáticas flutuantes, fitodepuração.

ABSTRACT

SOIL CHARACTERISTICS AND FLOATING AQUATIC MACROPHYTES: A CONTRIBUTION TO AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN IRAÍ BASIN

The Irai River is one of the main water sources of the metropolitan region of Curitiba, being a dam is constructed in order to regularize its flow and inundation control. Due to dualistic circumstances of the basin, e.g., agricultural and urban uses, and favoring conditions of the artificial dam, cyanobacterial blooming had been observed deteriorating water quality. In sense, the general objective of this research was to evaluate some soil characteristics and aquatic macrophytes, that may serve as subsidy for control and reduce deleterious effects of agricultural practices promoting the eutrophication of the Iraí dam. The specific objectives of this thesis were: a) Identify the main soil units and their geographic localization in the Canguiri and Timbú rivers basin, natural contributors of the Iraí dam; b) Evaluate some floating aquatic macrophytes according to their development and nutrient partitioning between the above water and root parts. To achieve the objectives, two research ways had been conducted: a) Characterization of the principal soil types of the Canguiri and Timbú rivers basin, utilizing geoprocessing tools and field surveys; b) Installation of a field investigation in the Canguiri Experimental Research Station Center. This was done cultivating three aquatic macrophytes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Lemna* sp.) in 500 dm³ reservoirs, for fresh and dry biomass evaluations, as for nutrient absorption. According to the agricultural point of view, among these soil mapping units, those who present the major risk of eutrophication and silt up of the rivers are: CHa+CHd (Inceptisols) and CHa+RLd (association Inceptisol+ Lithic Orthents), as function of erosion and to the undulated to strongly undulated relief, and the units GXve (Aquents) and OYs (Histosols), due to the proximity of the river. The results show that among the studied macrophytes, in summer, *Eichhornia crassipes* presented the better potential in removing nutrients from the water. In the winter period, on the other hand, the species who presented the better potential was *Pistia stratiotes*, as for biomass production as for P accumulation.

Key-words: eutrophication, soil survey, Canguiri river, Timbú river, floating aquatic macrophytes, phytodepuration.

1 INTRODUÇÃO

Os mananciais do altíssimo rio Iguaçu são responsáveis por cerca de 70% do total da água distribuída na cidade de Curitiba. Para regularizar a disponibilidade de água deste manancial, foi construída a barragem do rio Iraí, que representa mais de 20% da água distribuída na Região Metropolitana de Curitiba. No entanto, a morfometria do lago do Iraí define características de grande susceptibilidade à eutrofização devido a sua reduzida profundidade média e ao grande tempo de residência da água no reservatório. Além disso, as bacias contribuintes apresentam intensa ocupação agrícola e urbana, determinando o ingresso de grande quantidade de nutrientes, que tem se refletido na ocorrência de florações de fitoplâncton. As principais fontes de poluição são fertilizantes e agrotóxicos aplicados na agricultura, dejetos dos animais de criação, esgotos domésticos não tratados, depósitos de lixo, o solo, e cargas de efluentes oriundas de indústrias da região.

As algas existentes na represa podem causar graves problemas de odor e sabor na água de distribuição, dificultando o processo de tratamento, além do risco potencial de surgimento de espécies que possam causar toxicidade para os consumidores da água.

Em uma projeção pessimista para a ocupação do solo na bacia do altíssimo Iguaçu, JACOBS e RIZZI (2003, p. 127) não descartam a hipótese da exclusão da bacia do rio Iraí para o abastecimento de água, se não forem tomadas medidas adequadas. Portanto a conservação dos mananciais mais próximos a Curitiba, como a bacia do rio Iraí se reveste não só de importância ambiental, mas também econômica e social, pois o aumento do custo da água tenderia a ser mais representativo aos grupos familiares de menor renda.

Assim, o uso das águas da barragem depende de medidas que garantam a manutenção da sua qualidade em níveis adequados.

Em função de problemas apresentados em anos anteriores na represa do Iraí, a identificação e mitigação das fontes de nutrientes que possam estar contribuindo na eutrofização da represa é de fundamental importância.

Tendo em vista que considerável área da bacia contribuinte para o reservatório do rio Iraí encontra-se ocupada por atividades agrosilvipastoris, é necessário o estudo de medidas que possam minimizar este impacto no curto e médio prazo.

Caso não se encontrem medidas adequadas, que ofereçam maior sustentabilidade à atividade agrícola e sua relação com este ambiente frágil, não haverá condições de

permanência do uso da terra na APA do Iraí, causando a inviabilização econômica das famílias que dependem da atividade primária para a sua sustentação econômica. Neste contexto, foi executado nesta bacia o “Programa Interdisciplinar de Pesquisa sobre Eutrofização de Águas na Bacia do Altíssimo Iguaçu”, com a participação de diversos pesquisadores da SANEPAR, UFPR, PUC-PR, SUDERHSA e MHNCI/PMC, visando gerar informações de pesquisa úteis aos diversos agentes sociais e econômicos envolvidos na questão. Este programa de pesquisa possui sete núcleos temáticos (dinâmica de nutrientes e qualidade da água; meio físico do entorno; retenção de nutrientes pela vegetação; hidrodinâmica do lago; ecologia de cianobactérias; zooplâncton; ictiofauna), abordando diversos tópicos relacionados a esta problemática, e doze subprojetos (CARNEIRO *et al.*, 2005, p. 35).

Dentre outras propostas para amenizar o problema da eutrofização na barragem do rio Iraí, podem ser destacadas as seguintes hipóteses de trabalho: a) A descrição mais precisa dos solos existentes na bacia, pode oferecer bases mais consistentes para estudos de fragilidade ambiental na bacia; b) A fitodepuração, através do cultivo de macrófitas aquáticas flutuantes, é uma possível alternativa para minimizar o problema da eutrofização dos corpos de água

Desta forma, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar alguns atributos de solo e macrófitas aquáticas, que possam servir de subsídio à adoção de medidas de controle e mitigação dos efeitos das práticas agrícolas na eutrofização do reservatório do rio Iraí. Os objetivos específicos foram:

a) Identificar as principais unidades de mapeamento de solos existentes e sua localização geográfica, nas bacias dos rios Canguiri e Timbú, com ênfase no risco potencial de eutrofização dos corpos d’água;

b) Avaliar, em caráter exploratório, algumas espécies de macrófitas aquáticas flutuantes quanto ao desenvolvimento e absorção de nutrientes, principalmente o fósforo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A REPRESA DO RIO IRAÍ E O IMPACTO DAS ÁREAS AGRÍCOLAS A MONTANTE DO RESERVATÓRIO NA QUALIDADE DA ÁGUA

Os mananciais do altíssimo rio Iguaçu são responsáveis por uma parcela da água consumida na região metropolitana de Curitiba. A bacia do rio Iraí é um dos contribuintes do altíssimo Iguaçu, sendo formada inicialmente pelos rios Canguiri, Timbú, Cercado e Curralinho (situados a montante da represa do rio Iraí), e contribuindo com $1800 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$ de água (cerca de 22% da água distribuída na região metropolitana de Curitiba) (PEGORINI *et al.*, 2005, p. 75).

Na bacia do rio Iraí foi construído um reservatório destinado ao armazenamento de água para regularização da vazão deste rio, visando o controle de enchentes e o abastecimento de água em Curitiba e Região Metropolitana. Por ser construído em uma planície aluvionar extensa, a morfometria do lago do Iraí define características de grande susceptibilidade à eutrofização, tais como (PEGORINI *et al.*, 2005, p. 77): amplo espelho d'água, reduzida profundidade média, região litorânea extensa, e tempo médio de residência da água amplo.

O espelho líquido do reservatório inunda, aproximadamente, 10,0% da área da bacia a montante do local da barragem, sendo uma grande superfície diretamente incidida pelos raios solares, portanto, com grande vulnerabilidade à ocorrência de fotossíntese no interior da massa líquida, o que aumenta a produção primária na camada superior do reservatório (PARANÁ, 2001). Outra questão decorrente da grande superfície líquida é o alto potencial de mistura das águas por atuação dos ventos, diminuindo ou minimizando as possibilidades de ocorrência de estratificação térmica no lago (PARANÁ, 2001). O vento existente nesta represa (predominantemente proveniente de leste, nordeste e norte) é o principal fator que determina a circulação de água no lago (FERNANDES *et al.*, 2003, p. 55).

Na porção leste da bacia, nos limites da Serra da Baitaca, a pluviosidade é intensa, sendo superior a 2300 mm anuais (PARANA, 2001), reforçando a necessidade da manutenção da cobertura vegetal, para evitar processos erosivos.

As formações vegetais originais da bacia (estepe gramíneo-lenhosa e floresta ombrófila mista) se apresentam profundamente modificadas e fragmentadas em virtude das

atividades agrosilvipastoris, e intensa urbanização ocorrida na região. Somente no leste da bacia do rio Currealinho ainda há melhor conservação da vegetação, em áreas de declive mais acentuado, especialmente na área do Parque Estadual da Serra da Baitaca, que possui 3053 ha, e visa conservar a flora, fauna, solo e águas interiores (PARANÁ, 2002). Porém as bordas desta área encontram-se profundamente alteradas pelas atividades de mineração, principalmente de granito.

As áreas urbanas, na bacia do rio Iraí aumentaram 360% no período de 1976 a 1999, enquanto as áreas de agricultura intensiva, aumentaram apenas 32% no mesmo período (JACOBS e RIZZI, 2003, p. 121). A maioria dos núcleos urbanos inseridos na APA do Iraí captam água, para o setor doméstico, em mananciais externos ou em aquíferos subterrâneos, não caracterizando interferência significativa ao reservatório. No entanto, este setor é responsável pela maior parte das cargas poluidoras geradas na bacia a montante do reservatório, tornando-se necessário avaliar sua repercussão sobre a qualidade futura da água, visto ser este o principal manancial de abastecimento da RMC (PARANÁ, 2001).

Apesar do menor crescimento da área agrícola na bacia, deve ser considerada a maior intensidade do uso agrícola dos solos ao longo dos anos, com o maior uso de insumos, como calcário, fertilizantes e agrotóxicos, embora o uso destes últimos esteja proibido na área da Área de Proteção Ambiental do Iraí.

Esta intensa ocupação rural e urbana, determina o ingresso de grande quantidade de nutrientes, o que tem se refletido no desenvolvimento de fitoplâncton no lago formado pela barragem, problema que se iniciou em maio de 2001, e desde então tem ocorrido oscilações na biomassa algal, com vários eventos de floração de cianobactérias. A floração de algas causa problemas de odor e sabor na água de distribuição, tornando o processo de tratamento mais complexo, e com o potencial de surgimento de espécies que possam causar toxicidade na água (CARNEIRO *et al.*, 2005).

Dos rios contribuintes da barragem do Iraí, o rio Timbú é considerado por BOLLMANN e FREIRE (2003) como o principal contribuinte de macronutrientes responsáveis pela ocorrência de florações de cianobactérias. A maior parte dos nutrientes carregados pelo rio Timbú devem ter origem urbana, dado o grau de ocupação da porção sul desta bacia (SOUZA *et al.*, 2005, p. 147).

Tendo em vista estas condições, conforme a Portaria nº 20 da SUREHMA, de 12 de maio de 1992, na APA do Iraí os cursos d'água são enquadrados na Classe 2 (admitidas para o abastecimento doméstico após tratamento convencional), com exceção do rio Capitanduva e afluentes, manancial de abastecimento do município de Quatro Barras, que é enquadrado na Classe Especial. Este enquadramento é definido em função dos usos

previstos para a água (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005). No entanto, o Diagnóstico da APA do Iraí mostrou que, em alguns parâmetros, a qualidade da água se encontrava abaixo dos padrões estabelecidos para a classe 2 (PARANÁ, 2001).

Outro ponto de fundamental importância são os custos de investimento e operacionais dos sistemas de abastecimento de água. Bacias mais distantes e, em geral, mais facilmente conservadas, demandam a construção de grandes adutoras e em algumas situações determinam grandes alturas de recalque. Nos mananciais do altíssimo Iguaçu a coleta de água é próxima da cidade, com a distribuição praticamente realizada por gravidade, enquanto no rio Açunguí, localizado na porção nordeste de Região Metropolitana de Curitiba, seria necessária uma transposição de 60 quilômetros de extensão em um desnível de mais de 600 m (ANDREOLI *et al.*, 1999a). Também deve ser considerado o crescimento da demanda de água para abastecimento público na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), que se apresenta atualmente na ordem de $300 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$ a cada ano (ANDREOLI *et al.*, 1999b).

2.1.1 O impacto das atividades rurais na represa do rio Iraí

Ao se retirar, total ou parcialmente, a cobertura florestal originalmente existente na bacia do rio Iraí, os produtores rurais intensificaram o risco em termos de contaminação dos corpos de água, quer seja por agrotóxicos ou por nutrientes (das lavouras, criações, agroindústrias ou residências).

As atividades rurais podem produzir tanto a poluição difusa, quanto a poluição pontual, nos cursos d'água. Na poluição pontual os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço, como a descarga em um rio de um emissário transportando esgotos de uma comunidade. Quando há poluição difusa os poluentes adentram o corpo d'água ao longo da sua extensão, como a poluição vinculada à drenagem pluvial natural, a qual é descarregada no corpo d'água de forma distribuída e não concentrada em um ponto (SPERLING, 1996).

As atividades ligadas ao setor primário são relacionadas a problemas de degradação de corpos de água e das bacias hidrográficas, tais como (BARBOSA E GARCIA, 2003, p. 132): a) perda das camadas superficiais do solo; b) assoreamento decorrente nos cursos d'água, com elevação da turbidez; c) contaminação por agroquímicos (fertilizantes e agrotóxicos); d) poluição das águas por dejetos animais *in natura*. Ainda podem ser relacionados como agentes poluentes, provenientes da atividade rural: a adição de sólidos em suspensão, matéria orgânica biodegradável, agentes patogênicos, matéria orgânica

persistente (SPERLING, 1996), além do lixo e esgoto das propriedades rurais (inclusive de unidades familiares ou agroindustriais).

Segundo ANDREOLI *et al.* (1999a), em estudos realizados no período de 1976 a 1984 pela SEMA/SURHEMA, foram encontrados resíduos de agrotóxicos em 91,4% das amostras de água de 12 bacias do estado do Paraná. A questão dos agrotóxicos (e outros poluentes químicos) deve ser destacada, pois o sistema de distribuição do rio Iguazu não é interligado com o sistema do rio Passaúna e, portanto, qualquer problema de qualidade de água, causado por um acidente, determinará a interrupção total do abastecimento de água para uma parte significativa da Região Metropolitana de Curitiba. Se um acidente com produtos tóxicos ocorrer na área de influência da barragem do Iraí, que comprometa a qualidade da água para o abastecimento público, o período de suspensão do abastecimento seria superior a 90 dias (ANDREOLI *et al.*, 1999b). No entanto, na bacia do rio Iraí, a exploração agrícola de maior expressão é na comunidade de Colônia Faria, que tradicionalmente não tem uso intensivo de agrotóxicos (ANDREOLI *et al.*, 1999b).

Deve ser considerado, ainda o efeito da irrigação agrícola na redução do volume de água disponível nos cursos d'água da bacia. Segundo SETTI *et al.* (2001, p. 57) a irrigação é o uso consuntivo de água de maior demanda, exigindo técnicas especiais para o aproveitamento racional com o mínimo de desperdício.

Por outro lado, as atividades rurais na bacia do rio Iraí foram limitadas, em muitos aspectos, à partir da elaboração do regulamento do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) da APA do Iraí (PARANÁ, 2000), especialmente no que concerne à proibição do uso de agrotóxicos, e a necessidade de adoção de práticas de conservação do solo e manejo adequadas.

2.1.2 A eutrofização das águas e o impacto das atividades agropecuárias neste processo

A eutrofização das águas significa o enriquecimento por nutrientes, levando a uma progressiva degradação de sua qualidade, especialmente em lagos, devido ao crescimento maciço de organismos autotróficos, repercutindo em todo o metabolismo do corpo d'água afetado (XAVIER *et al.*, 2005, p. 273). A eutrofização pode causar diversos efeitos indesejáveis, tais como: a) problemas estéticos e recreacionais; b) condições anaeróbicas no fundo ou em todo o corpo d'água; c) alteração na quantidade e qualidade ou mortalidade de peixes; d) maior dificuldade de tratamento da água; e) toxicidade das algas; f) redução da navegação; g) desaparecimento gradual do lago (SPERLING, 1996, p. 154-155).

O principal fator de estímulo à eutrofização é um nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, especialmente o N e o P (SPERLING, 1996, p. 151). Embora o P não

represente problemas de ordem sanitária nos corpos d'água, é indispensável ao crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado destes organismos (eutrofização) (SPERLING, 1996). A legislação brasileira (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005) prevê que, para as águas das classes 1, 2 e 3 (admitidas para o abastecimento doméstico após tratamento), os teores máximos de P são de 0,025, 0,030 e 0,05 mg dm⁻³, respectivamente, em ambiente lêntico.

Os diferentes usos do solo nas bacias hidrográficas influenciam o transporte e lançamento do N e P para os ambientes aquáticos, aumentando os riscos de eutrofização (XAVIER *et al.*, 2005, p. 274). Na implantação de monoculturas agrícolas são aplicados adubos e corretivos, os quais trazem alterações químicas, principalmente na camada superficial do solo, favorecendo a eutrofização do meio (GOEDERT e LOBATO, 1988). Adições continuadas de fertilizantes e esterco, em excesso em relação às necessidades das culturas, tem levado a incrementos no conteúdo de P no solo e o aumento da perda deste elemento dos solos agrícolas para os cursos d'água superficiais, (DAVEDERE *et al.*, 2003). Além disto, as ações humanas de mineração de P e transporte do mesmo como fertilizantes, alimentos de animais, produtos agrícolas, e outros produtos, também alteram o ciclo global deste elemento, causando a acumulação nos solos cultivados, e elevando o potencial de perda deste nutriente para os ecossistemas aquáticos (BENNETT *et al.*, 2001). Estima-se que 43% do N, 31% do P e quase a totalidade do K escoado pelos rios brasileiros sejam provenientes da atividade agropecuária (EMBRAPA, 1995b). Também BERTOL *et al.* (2003) observou que as concentrações de N, P, K, Ca e Mg na água perdida por erosão são fortemente influenciadas pelo sistema de manejo do solo adotado, e aumentam com o incremento da fertilização e da intensidade do preparo do solo.

A atividade pastoril, comparada à atividade agrícola, apresenta efeitos mais reduzidos na eutrofização dos corpos d'água, pois os excrementos animais não apresentam elevadas concentrações de P e N (ESTEVES, 1998, p. 508), embora grandes populações concentradas destes animais (tais como confinamentos) possam exercer influência significativa.

Outra fonte de contaminação que deve ser considerada é a intensificação da produção hidropônica de olerícolas na região. No município de Colombo, que faz parte da bacia do rio Iraí, é relatado por BIANCHINI *et al.* (2003, p. 376) o aparecimento desta atividade, com o uso intenso de fertilizantes químicos solúveis, cuja água poderia ser descartada de modo desordenado. Estes autores também destacam a ampliação da

agricultura orgânica na região, na qual pode ocorrer o uso excessivo de dejetos animais, se conduzida sem orientação técnica adequada.

O solo pode suprir os nutrientes a córregos, tanques e lagos, através de dois mecanismos principais: lixiviação e escoamento de material dissolvido e sedimentos (TROEH e THOMPSON, 1993, p. 402).

Devido a grande imobilidade no solo, a adubação fosfatada impõe pouco ou nenhuma ameaça para as águas subterrâneas, mesmo aplicada na forma de fertilizante industrializado solúvel, lodo de esgoto e esterco animal, pois este P concentra-se na camada arável do solo, não se movendo por lixiviação mais do que 10 cm após a aplicação (BERTON, 1992, p. 302), devido à baixa solubilidade deste elemento (TROEH e THOMPSON, 1993, p. 402). A mobilidade vertical do P deverá diminuir com o aumento da capacidade de adsorção de P ou teor de argila do solo (FARIA e PEREIRA, 1993).

Nos solos tropicais, em que predominam solos argilosos e intemperizados, a maior perda do P dos solos agrícolas para os corpos d'água ocorre por escoamento superficial (SHARPLEY *et al.*, 1992), nos quais este elemento é carregado adsorvido às argilas (ESTEVES, 1998, p. 227). Somente o P lábil destes sedimentos é disponível às algas, variando de 5 a 50% do P total (BERTON, 1992, p. 303). O transporte do P de solos agrícolas para ambientes aquáticos, através da erosão, cria condições nutricionais favoráveis não só para o crescimento exagerado de algas, mas também de microrganismos e macrófitas aquáticas (NOVAIS e SMITH, 1999). Além disto, os sedimentos carregam consideravelmente mais nutrientes que os conteúdos dissolvidos em água (TROEH e THOMPSON, 1993, p. 402).

O controle do incremento de P no solo requer estratégias de longo prazo para reduzir as excessivas adições deste elemento, pois esta acumulação não pode ser corrigida facilmente. No entanto, ações direcionadas, visando corrigir e controlar o transporte do solo contendo P e/ou prevenir as freqüentes perdas de P que ocorrem devido a aplicação de fertilizantes e esterco na superfície do solo, podem atingir resultados de curto prazo na redução da exportação de P que possa causar efeitos de eutrofização (WITHERS *et al.*, 2000). Em vista disto, segundo BERTON (1992, p. 303), em áreas rurais, a melhor maneira de se controlar a eutrofização devido à presença de P nos rios e lagos, é o controle da erosão.

2.2 BIODISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO E EM AMBIENTES AQUÁTICOS

2.2.1 O fósforo no solo

Na solução do solo, o P encontra-se como íons ortofosfato, forma derivada do ácido ortofosfórico (H_3PO_4). Em solução, esse ácido dissocia-se da seguinte forma (RAIJ, 1991, p. 182):



Como decorrência dessas reações de equilíbrio, na solução de solos ácidos predomina a forma H_2PO_4^- . O íon HPO_4^{-2} começa a ocorrer, em maiores proporções, a valores de pH acima de 6. Assim, em solos ácidos o P é absorvido pelas raízes predominantemente na forma iônica de H_2PO_4^- (OZANNE, 1980, p. 568; MALAVOLTA *et al.*, 1997, p. 73), muito embora também possa ser absorvido na forma de HPO_4^{-2} , dependendo do pH da solução do solo (MENGEL e KIRKBY, 1987, p. 410).

O transporte do P deverá ocorrer até o plasmalema das células da raiz, na sua quase totalidade, por difusão, pela existência de um gradiente de concentração criado pela absorção do nutriente pela raiz, em maior velocidade que sua reposição pelo sistema solo-solução (NOVAIS *et al.*, 1996, p. 67).

Exceto naqueles solos com concentração extremamente alta de P, a difusão será o mecanismo dominante governando o suprimento deste elemento para as raízes, e, portanto, todos os fatores que afetam a difusão são importantes para definir a disponibilidade para a planta (BARBER, 1980, p. 593). Estes fatores podem ser relacionados ao solo (umidade volumétrica, tortuosidade da porosidade, capacidade tampão, temperatura da solução do solo) ou a raiz da planta (idade da planta e da raiz, profundidade do solo, presença dos pêlos radiculares, proporção da raiz suprida por P, taxa de absorção, diferenças entre espécies, e efeito da temperatura na absorção) (BARBER, 1980, p. 593-604).

A predominância da difusão no suprimento de P ocorre em função da baixa concentração deste nutriente na solução do solo. Isto decorre dos processos de adsorção específica (na forma de complexos de esfera interna) do fosfato aos grupo OH^- existentes na superfície de aluminossilicatos não cristalinos, óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn, e as bordas dos argilominerais silicatados (MEURER *et al.*, 2000, p. 98). Portanto, solos mais argilosos e com maior proporção destes minerais tendem a reter mais o fósforo.

O pH tem uma grande influência na disponibilidade de Ca, Al, Fe, e outros íons na solução do solo e, portanto, também tem uma influência na retenção do P. A disponibilidade do P nos solos é maior no pH na faixa de 6,0 a 6,5 (PRASAD e POWER, 1997, p. 182). A

solubilidade dos fosfatos de Fe e Al aumenta com o pH, enquanto a solubilidade dos fosfatos de Ca aumenta com o abaixamento do pH, resultando em uma maior solubilidade do P em torno do pH 6, no caso de ocorrência simultânea de vários compostos deste elemento no solo (RAIJ, 1991, p. 186).

Devido à baixa mobilidade do P no solo, a localização deste elemento em relação às raízes da planta apresenta grande significado, principalmente em solos com elevada deficiência deste elemento. A localização de fertilizantes fosfatados, por exemplo, pode modificar sensivelmente a distribuição das raízes, que tendem a se concentrar nas regiões do solo onde a concentração de elemento é maior (NOVAIS *et al.*, 1990, p. 48).

Quando o P se encontra em ambientes alagados ou inundados há uma alteração expressiva na disponibilidade deste nutriente.

A umidade é um dos fatores determinantes na difusão do P, e a ocupação de praticamente todo o espaço poroso pela solução do solo, em solos inundados, reduz a tortuosidade, aumentando a difusão deste elemento na solução (TURNER e GILLIAM, 1976). Em solos ácidos predomina o P associado a óxidos de Fe e Al, a disponibilidade dos fosfatos em solos alagados está relacionada à dinâmica do Fe, ou seja, as condições que aumentam a solubilidade do Fe no solo (como o alagamento) normalmente aumentam a solubilidade do P (SOUSA *et al.*, 2000, p. 137).

Em solos ácidos inundados usualmente ocorre aumento do pH da solução do solo (PONNAMPERUMA, 1972, p. 56; FAGERIA, 1989, p. 97), devido às reações de oxi-redução que se processam com consumo de hidrogênio (SOUSA *et al.*, 2000, p. 132). Em função disto, as concentrações de P na solução do solo tendem a se elevar, pois, a sua reatividade com os compostos que são passíveis de redução, induz um comportamento profundamente afetado pelo alagamento (SOUSA *et al.*, 2000, p. 137).

O aumento da concentração de P solúvel em solos ácidos inundados se deve (FAGERIA, 1989, p. 104): a) à hidrólise de fosfatos de Fe e Al; b) à liberação do P nas posições de troca dos minerais da fração argila; c) à redução do Fe^{+3} para Fe^{+2} com a conseqüente liberação do P ligado quimicamente aos oxihidróxidos. Por outro lado, as formas de fosfatos de Ca permanecem relativamente inalteradas em função da inundação (MAHAPATRA e PATRICK JR., 1969, p. 286).

Como a solubilidade do P aumenta com o alagamento, principalmente devido à redução dos compostos férricos para formas ferrosas e a liberação do P retido por adsorção, pode-se afirmar que a liberação do P para a solução depende da intensidade do processo de redução no solo (SOUSA *et al.*, 2000, p. 137).

Os íons fosfato liberados após o alagamento pelas reações de redução e pela decomposição da matéria orgânica, podem ser, em condições de submersão, adsorvidos pelas argilas e óxidos hidratados de Al, ou podem movimentar-se por difusão, podendo ser reprecipitados em locais oxidados (FAGERIA, 1989, p. 104).

2.2.2 O fósforo em ambientes aquáticos

Em ambientes aquáticos o P pode ter origem natural, como a dissolução de componentes dos solos e a decomposição da matéria orgânica, ou origem antropogênica, devido a despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes (SPERLING, 1996). A quantidade de fosfato natural no sistema aquático depende diretamente do conteúdo de fosfato presente nos minerais primários das rochas da bacia de drenagem (ESTEVES, 1998, p. 226).

Em sistemas aquáticos o P ocorre em formas como ortofosfato, pirofosfato, polifosfatos de cadeia longa, esteres de fosfatos orgânicos, dentre outros. Em sistemas aquáticos o P é liberado como entradas dissolvidas e particuladas, cada qual é uma mistura complexa destas diferentes formas moleculares de P pentavalente (CORRELL, 1998). Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem a necessidade de conversões a formas mais simples. Dependendo do pH da água, o P no ambiente aquático apresenta-se como PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} , H_2PO_4^- ou H_3PO_4 (SPERLING, 1996).

Entre os fatores que interferem na solubilização dos ortofosfatos em ambiente aquático, merecem destaque o pH do meio, potencial de oxi-redução, composição e teor de matéria orgânica, concentração dos metais (Fe, Al, Mn), concentração de carbonatos e sulfetos, além da concentração de Ca (BOLLMANN *et al.*, 2005, p. 229).

Em ambientes aquáticos, o P é o nutriente que geralmente controla primariamente o rendimento, em particular o desenvolvimento de algas planctônicas, as quais utilizam o P quase que exclusivamente na forma dissolvida de ortofosfato, apesar deste elemento entrar de diferentes formas nos lagos (UUSITALO e EKHOLM, 2003).

Em águas acumuladas em um lago ou reservatório, a concentração resultante de P pode ser inferior à prevista em função de sua afluência através dos rios formadores, devido a atividade metabólica de organismos que fixam o elemento na matéria fecal e no próprio corpo dos seres que morrem e sedimentam no fundo (BRANCO e ROCHA, 1977, p. 43).

Quando um rio, que recebe alguma carga de poluição, atinge um lago ou reservatório, há uma tendência que o P particulado em suspensão se reequilibre com o que se encontra no lago. Se a concentração é baixa, o P é liberado do sedimento em suspensão, e vice versa. Quando as partículas são sedimentadas, pode haver a

mineralização do P orgânico e dissolução em uma camada superior ao sedimento depositado. Entretanto o P pode atingir camadas superiores, entrando na nutrição das algas (VEIGA, 2001).

O crescimento anormal de algas, em particular, causa aumento da demanda biológica de oxigênio, alteração do pH, liberação de toxinas que podem causar a morte de peixes e animais, turbidez, mau cheiro e alteração do gosto da água (NOVAIS e SMITH, 1999).

As macrófitas aquáticas cujas raízes se fixam ao fundo do lago ou reservatório também podem transportar P do sedimento para o corpo d'água (HORNE e GOLDMAN, 1994, p. 163), funcionando como um "bomba" deste nutriente. Segundo estes mesmos autores, o zooplâncton e os peixes também excretam nutrientes diretamente na água, onde ficam disponíveis para o desenvolvimento do fitoplâncton.

Em ambientes eutróficos há o aumento da concentração de detritos orgânicos na parte inferior da coluna d'água, os quais consomem grande quantidade de oxigênio na decomposição. Assim o hipolímnio fica com baixa concentração de oxigênio (ambiente redutor), e ocorre intensa liberação de íons do sedimento, em particular, o ortofosfato que, em altas concentrações, pode atingir por difusão a zona eufótica onde é assimilado pelo fitoplâncton, incrementando o processo de eutrofização (ESTEVES, 1998, p. 518). Por este motivo, o aumento na concentração de P solúvel em água em solos submersos, embora apreciável, não é tão pronunciado quanto em lagos estagnados (PONNAMPERUMA, 1972, p. 77).

Porém, o ciclo do P, nos ambientes aquáticos, não passa necessariamente pelos sedimentos, pois grande parte do P liberado no sistema é aproveitado ainda no epilímnio, sem que ocorra sedimentação (ESTEVES, 1998, p. 228).

Conforme a concentração de P, os corpos d'água podem ser classificados, segundo SPERLING (1996) em não eutróficos (P menor que $0,01-0,02 \text{ mg dm}^{-3}$), intermediários (P entre $0,01-0,02$ a $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$) e eutróficos (P maior que $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$).

2.2.3 O fósforo na planta

Embora o P seja classificado como um macronutriente primário e de grande demanda na adubação, os seus teores nas plantas são bem mais baixos do que os de N e K, aproximando-se mais dos teores dos macronutrientes secundários (RAIJ, 1991, p. 199).

O requerimento de P, para o ótimo crescimento de muitos vegetais, está na faixa de 3 a 5 g kg^{-1} de massa seca durante os estádios vegetativos (MARSCHNER, 1995, p. 235). O conteúdo de P em plantas deficientes neste elemento, geralmente é igual ou inferior a 1 g

kg⁻¹ matéria seca. Geralmente o conteúdo de P é maior em plantas ou órgãos jovens. Em cereais o conteúdo de P na palha madura é relativamente baixo (1 a 1,5 g kg⁻¹ de matéria seca), e nos grãos a concentração está na faixa de 4 a 5 g kg⁻¹ de matéria seca (MENGEL e KIRKBY, 1987, p. 419).

Nas plantas terrestres, a maior parte do P é absorvido nos pêlos radiculares e nas camadas mais externas de células da raiz (OZANNE, 1980, p. 569). Já nas plantas aquáticas também pode haver significativa absorção deste elemento através das folhas (ESTEVES, 1998, p. 239).

Segundo MALAVOLTA *et al.* (1997, p. 75), o P do vegetal se encontra nas formas de DNA (ácido desoxiribonucléico) e RNA (ácido ribonucléico), polímeros de nucleotídeos (base pentose-P), P lipídico, ésteres, e P inorgânico (Pi). A função do P como um constituinte de estruturas macromoleculares é mais proeminente em ácidos nucleicos, como o DNA e o RNA (MARSCHNER, 1986, p. 226). Apesar de estarem presentes nas células em baixas concentrações, os ésteres de fosfato e os fosfatos com ligações ricas em energia (como ATP) representam a “máquina” metabólica das células (MARSCHNER, 1986, p. 227). O P no metabolismo também participa na formação de ligações pirofosfato em outros componentes análogos ao ATP, como a uridina trifosfato (UTP), citidina trifosfato (CTP) e guanosina trifosfato (GTP) (MENGEL e KIRKBY, 1987, p. 417). Na planta o P também ocorre em formas inorgânicas (Pi) como H₂PO₄⁻ e, em menor proporção, como HPO₄⁻² (MENGEL e KIRKBY, 1987, p. 415). Em grãos e sementes, a maior parte do P presente está na forma de fitina (MARSCHNER, 1986, p. 232), e durante a germinação, este P será mobilizado em outras formas necessárias para o desenvolvimento das plantas jovens (MENGEL e KIRKBY, 1987, p. 418).

A deficiência de P é um aspecto muito comum nas culturas no Brasil, devido a carência deste elemento nos solos brasileiros em condição natural, além deste elemento ter forte interação com o solo (RAIJ, 1991, p. 181).

Ao contrário do que acontece no solo, o P apresenta alta mobilidade na planta, transferindo-se rapidamente de tecidos velhos para regiões de meristema ativo. Por este motivo, em geral os sintomas de deficiência iniciam nas folhas mais velhas (RAIJ, 1991, p. 200). De forma geral, os sintomas visuais de deficiência de P são identificados através de: cor amarelada das folhas (inicialmente as mais velhas), pouco brilho, cor verde azulada ou manchas pardas; ângulos foliares mais estreitos; menor perfilhamento; gemas laterais dormentes; e atraso no florescimento. Os sintomas químicos de deficiência são o aumento de pigmentos vermelhos ou roxos em algumas espécies e aumento na concentração de carboidratos, enquanto os sintomas de deficiência anatômicos referem-se à restrição na

diferenciação dos caules (MALAVOLTA *et al.*, 1997, p. 123-124). Plantas deficientes em P tem o crescimento retardado e a relação massa seca parte aérea/massa seca raiz é usualmente baixa, e a formação de frutas e sementes é reduzida (MENGEL e KIRKBY, 1987, p. 419).

O excesso de P não parece ser um problema sério para as plantas, já que o “consumo de luxo” é transferido para polifosfatos e outros fosfatos (RAIJ, 1991, p. 200). Por outro lado, o excesso de P pode estar relacionado à deficiência de alguns micronutrientes (MALAVOLTA *et al.*, 1997, p. 124), possivelmente por retardar a absorção e translocação de elementos como o Zn, Fe e Cu (MENGEL e KIRKBY, 1987, p. 420).

2.3 ALTERNATIVAS PARA O CONTROLE DA EUTROFIZAÇÃO NA BACIA DO RIO IRAÍ

A designação de uma bacia como manancial de abastecimento estabelece uma importante vocação desta área, que é a de produzir água de qualidade adequada, à qual todos os demais usos deveriam estar subordinados. A restrição de uso, está expressa na estratégia de definir as áreas de proteção ambiental como os instrumentos de manutenção da qualidade destas bacias (ANDREOLI *et al.*, 1999a).

Em função dos problemas apresentados na represa do Irai, a identificação das fontes de nutrientes que possam estar contribuindo na eutrofização da represa é de fundamental importância, bem como o estabelecimento de medidas que garantam a manutenção da qualidade da água em níveis adequados.

Tendo em vista que cerca de 36% da área da bacia contribuinte para o reservatório do rio Iraí (SOUZA *et al.*, 2005, p. 147), encontra-se ocupada por atividades rurais (campo, pastagem, agricultura, reflorestamento), é necessário o estudo dos potenciais impactos do setor primário na carga de nutrientes que está sendo lançada aos corpos de água, bem como estimar e avaliar o efeito de medidas que possam minimizar este problema no curto e médio prazos.

Dentre as alternativas que podem contribuir para a minimização do impacto das atividades primárias na eutrofização de reservatórios, LARA e TOSIN (2003) citam, entre outras: a) controle e fiscalização de fontes pontuais de poluição; b) adequação de estradas rurais e carreadores; c) adequado manejo e conservação do solo e água; recuperação de áreas de preservação permanente, como nascentes, áreas ripárias, e de elevada declividade; d) monitoramento da qualidade da água; e) implantação de programas de educação ambiental. Ainda podem ser incluídos a esta lista: a) estudos edáficos que sejam relacionados às condicionantes agropecuárias, para predizer riscos e áreas que necessitem maior atenção; b) adequado uso de insumos agrícolas, especialmente corretivos e

fertilizantes (o uso de agrotóxicos é proibido na APA); c) revegetação das áreas de recarga do aquífero; d) destinação adequada dos resíduos sólidos e efluentes das residências rurais, dos animais de criação confinados, e da hidroponia; f) utilização adequada e racional da irrigação; h) melhoria das condições da água através de processos como a fitodepuração através do cultivo de espécies, flutuantes ou fixadas, que possuam este potencial. Estas alternativas ilustram a quantidade de opções que podem ser utilizadas em um programa de recuperação dos cursos d'água da bacia do rio Iraí na zona rural, não excluindo outras opções que venham a se agregar.

2.3.1 Atributos do solo como ferramentas no planejamento do uso agrícola das terras na bacia do rio Iraí

A identificação de unidades de solos existentes, bem como sua localização geográfica, e a identificação de áreas de maior fragilidade dentro da área de contribuição da represa do rio Iraí, são informações necessárias para buscar um planejamento sustentável da bacia.

O levantamento de solos identifica e separa unidades de mapeamento. Compreende um mapa com legenda e um texto explicativo, que define, descreve e interpreta, para diversos fins, as classes de solos componentes das unidades de mapeamento (SOUZA *et al.*, 1995).

As informações contidas em um levantamento pedológico são essenciais para a avaliação do potencial e das limitações de uma área, constituindo uma base de dados para estudos de viabilidade técnica e econômica de projetos e planejamento de uso, manejo e conservação de solos (EMBRAPA, 1995a). Os levantamentos também proporcionam subsídios que podem evitar que áreas desaconselháveis para exploração agropecuária sejam desmatadas ou alteradas em suas condições naturais de equilíbrio, causando danos irreversíveis à natureza (SOUZA *et al.*, 1995).

Os levantamentos pedológicos contém informações essenciais para bancos de dados e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), visando interpretações de grande alcance em planejamento, ordenamento territoriais e zoneamentos, em combinações com outros fatores ecológicos determinantes do equilíbrio dos ambientes (EMBRAPA, 1995a).

No gerenciamento de bacias hidrográficas torna-se necessário a integração de um elevado número de variáveis, sejam elas, espaciais ou na forma de dados. Sendo assim, existe a necessidade da utilização de sistemas computacionais, como os programas de geoprocessamento e suas funções avançadas no apoio a decisão (SARMENTO *et al.*, 2000). A Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento

Ambiental (SUDERHSA) tem utilizado os recursos do SIG para a gestão dos recursos hídricos na bacia do alto Iguaçu (SOLDA, 2001).

A necessidade de se obter informações pedológicas mais detalhadas, prende-se ao fato de que os dados disponíveis para a bacia do rio Iraí (EMBRAPA, 1974; EMBRAPA, 1984), encontram-se em escala 1:300.000 ou menor, dificultando inferências à respeito da sustentabilidade do uso agrícola das áreas na escala das unidades de produção agropecuária ou das parcelas de cultivo existentes dentro da bacia.

A obtenção de informações pedológicas, em maior escala, pode fornecer informações mais detalhadas sobre: classe dos solos, profundidade, textura, estrutura, declividade, e disponibilidade de nutrientes, que são úteis à estimação de processos como a retenção de água, erosão do solo, ou o assoreamento e eutrofização dos corpos d'água. O levantamento também permite identificar as características dos solos existentes na proximidade dos cursos d'água e da própria represa, que são importantes para a recomposição florística da mata ciliar da bacia do rio Iraí e afluentes.

Com base nas informações pedológicas podem ser identificadas áreas de risco à eutrofização dos corpos d'água, devido às condições ambientais e uso atual, e poderiam ser sugeridas práticas ou o cultivo de espécies que possam contribuir para reduzir este impacto.

A identificação dos solos que ocorrem em uma paisagem pode prestar uma contribuição valiosa a equipes interdisciplinares que trabalham no planejamento e/ou gerenciamento de uma bacia hidrográfica destinada ao abastecimento público de água.

2.3.2 Macrófitas aquáticas flutuantes e seu uso na fitodepuração de cursos d'água

2.3.2.1 Características de algumas macrófitas aquáticas flutuantes

As macrófitas aquáticas são plantas herbáceas que crescem na água, em solos cobertos por água ou em solos saturados com água, incluindo vegetais que habitam desde banhados até ambientes verdadeiramente aquáticos, incluindo desde macroalgas, até plantas vasculares, podendo viver livres, enraizadas ou flutuantes.

As macrófitas aquáticas podem ser utilizadas como bioindicadoras da qualidade da água em ambientes lóticos e lênticos (THOMAZ e BINI, 2003). Porém, para seu uso faz-se necessário ter conhecimento prévio das suas características, bem como as condições que limitam sua ocorrência e crescimento.

No Brasil as macrófitas aquáticas flutuantes mais estudadas são o aguapé (*Eichornia crassipes* (Martius) Solms), a alface ou repolho d'água (*Pistia stratiotes* L.) e a salvinia (*Salvinia auriculata* Aublet). Estas espécies são nativas e as mais reportadas causando problemas de crescimento excessivo em reservatórios (THOMAZ, 2002). Além destas, ainda

são comuns outra espécie de aguapé (*Eichornia azurea* (Swartz) Kunth.), azola (*Azolla caroliniana* Willd.) , lentilha d'água (*Lemna minor* L. e *Spirodela polyrrhiza* L.) (KLEIN e AMARAL, 1988).

A família Pontederiaceae inclui as espécies conhecidas popularmente como aguapés, representadas no Brasil principalmente pelos gêneros *Heteranthera*, *Pontederia* e *Eichornia*, sendo esta última a de maior importância e ocorrência. O aguapé (*Eichornia crassipes*) é uma macrófita aquática herbácea com brotamento lateral de estolões que lançam regularmente, de espaço a espaço, raízes para baixo e folhas para cima. Possui folhas com pecíolos inflados a partir de sua metade até a base, cuja parte interna é constituída de tecido aerenquimatoso, lâmina foliar redonda e achatada, flores azuis ou arroxeadas, dispostas em espigas (KLEIN e AMARAL, 1988, p. 36). Possui raízes longas (até um metro), podendo atingir altura variando desde alguns centímetros fora d'água, até um metro. É um vegetal composto por cerca de 950 g água/kg de matéria fresca (MANFRINATO, 1991). A reprodução do aguapé pode ser vegetativa ou por sementes, sendo que estas apresentam longevidade de até 15 anos (PEDRALLI, 1989).

Segundo GRECO e FREITAS (1996), em condições favoráveis, o aguapé pode duplicar sua massa em até duas semanas, e portanto, quando em situações ideais, dez dessas plantas poderiam cobrir um acre (0,405 hm²) em apenas dez meses. A velocidade de crescimento e reprodução do aguapé está diretamente relacionada à disponibilidade de nutrientes e às condições de temperatura e luminosidade do ambiente. Assim, não se pode extrapolar os resultados de crescimento desta espécie, obtidos em determinado ambiente, para outro em condições climáticas diferentes. O aguapé não suporta baixas temperaturas, mas rebrota rapidamente com o aumento da temperatura (PEDRALLI, 1989). Segundo MUKUNO e VALIO (1985) os fatores que promovem o alongamento das folhas do aguapé são: baixas intensidades luminosas, temperaturas do ar entre 26 e 30 °C, fotoperíodos longos e alta densidade de plantas.

A alface d'água (*Pistia stratiotes*) é uma macrófita aquática flutuante da família Araceae, com brotamento lateral de estolões que soltam regularmente, de espaço a espaço, raízes para baixo e folhas para cima. Possui folhas espiraladas com pecíolo curto; lâmina foliar obcordada, com tecido aerenquimatoso ao longo das nervuras paralelas na face interior, e flores em espigas muito pequenas (KLEIN e AMARAL, 1988, p. 38). Esta espécie apresenta raízes fibrosas, porém mais curtas que o aguapé, com aproximadamente 20 a 30 cm de comprimento, em grande número (POLI *et al.*, 1999). A reprodução de *Pistia stratiotes* é principalmente vegetativa. As plantas jovens priorizam o desenvolvimento de

folhas, enquanto plantas adultas priorizam a formação de estolões. A reprodução sexual, embora ocorra, é menos eficiente (SILVA, 1981).

Na família Salviniaceae destacam-se como macrófitas aquáticas flutuantes os gêneros *Azolla* e *Salvinia*. A salvinia (*Salvinia auriculata*) é o representante mais comum desta família, sendo uma planta pequena, com folhas pedunculares em verticilos de três. Duas destas folhas são verdadeiras, inteiras e flutuantes, e a terceira dissecta, penetra na água, podendo ser confundida com a raiz. Apresenta esporocarpos ao longo das folhas submersas (KLEIN e AMARAL, 1988, p. 39). Sob condições adequadas a salvinia chega a produzir 650 g de biomassa seca por m² por ano (LORENZI, 1991).

Na família Lemnaceae, os principais gêneros de plantas aquáticas flutuantes são *Lemna* e *Spirodela*. A lentilha d'água (*Lemna minor*) é uma planta de tamanho reduzido uma planta de tamanho reduzido em relação às macrófitas aquáticas flutuantes descritas anteriormente, provida apenas de folhas solitárias, ou em grupos de 2 a 4, contendo uma única raiz não ramificada (LORENZI, 1991), e conseqüentemente sua quantidade de massa por área é menor que as outras espécies acima. Esta espécie se reproduz por sementes e, principalmente, por meios vegetativos, a partir de brotos laterais que se soltam da planta-mãe (KLEIN e AMARAL, 1988). Segundo WOLVERTON e McDONALD (1979, p. 306) as plantas do gênero *Lemna*, bem como do gênero *Spirodella*, seriam mais tolerantes ao frio do que o aguapé.

A lentilha d'água, sob condições ótimas poderia dobrar o seu número a cada três dias, sendo que o rendimento pode chegar a 100 g de matéria fresca por metro quadrado ao dia. Quando o conteúdo de N da água é de 20 a 30 mg dm⁻³ os valores de proteína ficam em torno de 350 a 400 g kg⁻¹ de massa seca (PRESTON, 2002).

2.3.2.2 Utilização das macrófitas aquáticas flutuantes na fitodepuração dos corpos d'água

Existe a possibilidade do cultivo de plantas que possam atuar como atenuadoras do processo de eutrofização, ação esta também denominada fitodepuração, que pode resultar em uma melhoria da qualidade da água enquanto as plantas se desenvolvem.

Este método tem baixo custo de implantação, e as plantas aquáticas e sua microbiota poderiam remover, degradar ou isolar substâncias tóxicas do ambiente. A fitodepuração dos corpos de água, através do cultivo de espécies aquáticas, é uma alternativa proposta por DEBUSK *et al.* (1995), através de sistemas de tanques com o cultivo de macrófitas aquáticas, pelos quais a água a ser tratada passa. A utilização de macrófitas aquáticas como "agente purificador" justifica-se pela intensa absorção de nutrientes e pelo seu rápido crescimento, como também por oferecer facilidades de sua

retirada das lagoas, e ainda pelas possibilidades de aproveitamento da biomassa colhida (GRANATO, 1995). Este processo é relevante tanto ao uso agrícola deste recurso natural, como a irrigação das culturas ou o fornecimento aos animais de criação, quanto ao abastecimento público de água.

Uma das macrófitas aquáticas flutuantes mais utilizadas para a fitodepuração é o aguapé, cujo uso requer técnicas de manejo no sentido de controlá-lo, pois também pode se tornar uma planta daninha (LORENZI, 1991, p. 354). Porém oferece vantagens, por ser um vegetal com elevada capacidade produtiva de biomassa, chegando a $22,17 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ de matéria seca, em estudos conduzidos no Brasil nos meses mais quentes do ano (GRECO, 1996), e aumentar a oxigenação da água (JEDICKE et al, 1989). Na Índia, em ambiente poluído seu rendimento de biomassa num período de 10 meses foi de 40 kg ha^{-1} contra apenas 17 kg ha^{-1} em área não poluída (SRIVASTAVA et al., 1994). Isto significa que nutrientes absorvidos são convertidos em conteúdo exportável proporcionalmente à biomassa produzida. No entanto, no aguapé tem exigências em termos de disponibilidade de nutrientes, temperatura e luminosidade, e, por isso, resultados experimentais obtidos com aguapé em um determinado ambiente não representam o mesmo crescimento em outra situação (PEDRALLI, 1989).

Em regiões onde ocorre pequena variação sazonal das características físicas e químicas da água e uniformidade climática, não deve ser constatado um padrão de variação da biomassa, como foi constatado em *Eichornia azurea* (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2003) e *Salvinia molesta* (RUBIM e CAMARGO, 2001) no litoral sul de São Paulo. No entanto, em condições climáticas e de composição da água variáveis ao longo do ano, espera-se que as macrófitas aquáticas apresentem grandes diferenças em termos de rendimento de biomassa.

Quando se analisa especificamente o comportamento das macrófitas aquáticas em reservatórios artificiais, como aqueles formados para o abastecimento público de água, segundo THOMAZ (2002), há alteração das condições originais, tais como: a) redução da velocidade da água e aumento do desenvolvimento de margem; b) aumento das taxas de sedimentação; c) redução da diversidade de *habitats*; d) aumento da exposição ao vento; e) alteração do regime de flutuação dos níveis de água, na área alagada e a jusante. Todas estas mudanças tendem a alterar a diversidade e produtividade das macrófitas aquáticas, não somente das flutuantes, como também daquelas submersas.

Certas espécies utilizadas na fitodepuração também podem melhorar a oxigenação das águas, como é o caso de *Lemna minor* (COSSU et al., 2001), além de ter alta capacidade de absorção de P e grande capacidade produtiva (LORENZI, 1991). Segundo

JEDICKE *et al.* (1989) o aguapé pode duplicar a concentração de oxigênio dissolvido na água, proveniente da fotossíntese das folhas e fluxo interno nos aerênquimas. No entanto, este efeito é dependente da morfologia da macrófita aquática. Em *Eichornia crassipes* o sistema lacunar é contínuo entre os órgãos aéreos e raízes, suportando a afirmação de que há transporte interno de gases das folhas às raízes, enquanto na alface d'água (*Pistia stratiotes*) as lacunas estão ausentes no caule (BOEGER, 1997). Apesar disto, a *Pistia stratiotes* também oxigena a água (JEDICK *et al.*, 1989; BOEGER, 1997), embora apresente menor capacidade de desenvolvimento que o aguapé (KLEIN e AMARAL, 1988).

MARS e KURUVILLA (1999) recomendam um conjunto de espécies submergentes, sugerindo que as mesmas são mais eficientes na remoção de N e P dos cursos d'água. Neste caso em particular, recomendam que um sistema de tanques, aliando-se um conjunto de macrófitas aquáticas é mais eficiente que sistemas de monoculturas para extrair e reciclar nutrientes, purificando a água.

Além de sua contribuição para o ciclo de matéria orgânica e nutrientes, as macrófitas aquáticas flutuantes também atuam nos ecossistemas aquáticos através da redução da iluminação do corpo d'água (BEYRUTH, 1992), o que pode desfavorecer o crescimento do fitoplâncton.

FERREIRA e AQUILA (2000) observaram que as folhas de aguapé (*Eichornia crassipes*) tiveram efeito alelopático negativo sobre invasoras. O próprio aguapé mostrou ser um poderoso algicida contra a alga verde *Chlamydomonas reinhardtii*. Também foi verificado que *Pistia stratiotes* possui atividade alelopática negativa em relação às algas (GRECA *et al.*, 1999). A presença de macrófitas aquáticas com potencial alelopático negativo pode resultar em decréscimo do crescimento de algas ou outros organismos indesejados. Deve-se salientar que no meio aquático os aleloquímicos movimentam-se com muito maior velocidade do que no solo.

Segundo TRIPATHI e SHUKLA (1991) e MANFRINATO (1991), as macrófitas aquáticas flutuantes, além de impedirem o crescimento de algas, permitem também a remoção de N, P, sólidos suspensos, e carga orgânica.

O aguapé (*Eichornia crassipes*) é considerado uma planta eficiente na absorção do N e P dos corpos d'água SRIVASTAVA *et al.*, 1994; AOYAMA *et al.*, 1993). Porém, a capacidade extratora de nutrientes pelas macrófitas aquáticas flutuantes é muito influenciada pela concentração dos mesmos na água. Segundo BINI *et al.* (1999), em estudo realizado na represa de Itaipu, a concentração de nutrientes na água e sedimentos é o principal preditor, dentre as diversas variáveis que poderiam afetar a distribuição de macrófitas aquáticas flutuantes (principalmente *Salvinia auriculata*, *Pistia stratiotes* e

Eichornia crassipes). Embora macrófitas aquáticas flutuantes normalmente proliferem em ambientes com altas concentrações de N e P, as necessidades nutricionais das espécies podem ser bastante distintas (CAMARGO *et al.*, 2003). Em uma mesma concentração de nutrientes, as diferentes espécies de macrófitas aquáticas flutuantes apresentam diferenças em sua capacidade de absorção. Resultados de pesquisa conduzidos por BENASSI e CAMARGO (2000), em condição de baixas concentrações de P e N, indicam que *Salvinia molesta* apresenta maior habilidade competitiva do que *Pistia stratiotes*, sendo que esta última inclusive reduziu a sua massa fresca total ao longo do estudo. Outra vantagem apresentada pelo aguapé, é que esta espécie também é capaz de absorver também quantidades expressivas de metais pesados (PERAZZA *et al.*, 1981). Segundo LENZI *et al.* (1994) o aguapé poderia ser utilizado na descontaminação de águas poluídas com baixas concentrações de cromo (até 10 mg dm⁻³).

Uma característica que deve ser notada no caso do aguapé é que, em seu processo metabólico, esta espécie pode absorver alguns elementos poluidores da água, e os transformar em biomassa fresca, através da fotossíntese; a matéria tóxica que é retirada por ele, cerca de 95 a 98%, acumula-se nas raízes, preservando as folhas da contaminação (MANFRINATO, 1991). Por outro lado, LENZI *et al.* (1995) observaram que o Cu se acumula em maior concentração nas folhas do que nas raízes desta espécie.

2.3.2.3 Alternativas de uso da biomassa produzida na fitorremediação

Apesar de algumas macrófitas aquáticas flutuantes apresentarem potencial na fitodepuração, podem causar problemas devido ao crescimento excessivo, quando não há controle da população, podendo prejudicar os usos consultivos e não consultivos da água.

Os reservatórios tem sido os ambientes mais afetados pelo crescimento excessivo de macrófitas aquáticas, pois, ao contrário de seus ambientes naturais, as terras alagáveis, não há ciclos de inundação e seca que atuam como um mecanismo natural de controle (Bonetto¹, citado por THOMAZ, 2002). Muitas vezes o aguapé, e outras macrófitas aquáticas flutuantes, podem se tornar uma praga, alastrando-se nos corpos d'água. Portanto, há a necessidade de dar destino a biomassa formada, já que periodicamente há necessidade da colheita parcial da planta, necessária para a retirada dos poluentes do sistema na forma de biomassa viva, além de permitir que as plantas remanescentes continuem em intenso crescimento ativo (POMPÊO, 1996).

O aguapé é sugerido para uso como fertilizante, ração animal (PERAZZA *et al.*, 1981), geração de energia (biogás ou queima direta), fabricação de papel, cobertura

orgânica morta (mulching), matéria prima para compostagem (MEDEIROS *et al.*, 1999). No entanto, antes de se destinar o aguapé à alimentação animal, devem ser feitas análises de concentrações de macro e micronutrientes, bem como de metais pesados.

Uma das possibilidades de utilização da biomassa de macrófitas aquáticas é a incorporação destes materiais à dieta de ruminantes ou na composição de rações. Em estudo de composição química de macrófitas aquáticas flutuantes, realizado por HENRY-SILVA e CAMARGO (2002, p. 524), foi observado o potencial de lâminas foliares de *Eichornia crassipes* e *Salvinia molesta*, e a planta toda de *Pistia stratiotes* como alimento, condicionado a estudos de aceitabilidade pelos animais. O aguapé pode ser utilizado em proporção de até 3% em rações de poedeiras comerciais (BENÍCIO *et al.*, 1993a) e frangos de corte na fase inicial (BENÍCIO *et al.*, 1993b). Depois de seca, a lentilha d'água estaria pronta para ser utilizada tanto para complementação de ração animal (PRESTON, 2002), como para incorporação no solo, enquanto que o aguapé e a alface d'água precisariam ser triturados e moídos, dependendo da utilização. Em qualquer dos casos seria necessário conhecer a natureza e a concentração de outras substâncias, tóxicas aos animais, e que podem estar presentes na ração.

A reciclagem de nutrientes perdidos pela erosão dos solos agrícolas para os corpos de água, através da utilização de macrófitas aquáticas flutuantes como adubação orgânica, seria, segundo KLEIN e AMARAL (1988) uma forma barata e eficiente de proporcionar uma maior estabilidade no ciclo dos nutrientes na bacia hidrográfica.

No entanto, considerando o importante papel ecológico das macrófitas aquáticas flutuantes, uma parcela de suas populações deve sempre ser mantida no sentido de preservar seus benefícios. Assim, embora em muitas situações o manejo seja necessário no sentido de reduzir a população destas plantas, em outras este deveria ser exercido para estimular a colonização e o incremento desta vegetação (THOMAZ, 2002).

¹ BONETTO, A.A. Hydrologic regime of the Parana River and its influence on ecosystems. In: HASLER, A.D. **Coupling of land and water systems**. New York: Springer Verlag, 1975. p. 175-197.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO – A BACIA A MONTANTE DA BARRAGEM DO RIO IRAÍ

A bacia do rio Iraí situa-se, predominantemente, nos domínios do primeiro planalto paranaense, o qual se limita, a leste, pela Serra do Mar e, a oeste, pela Escarpa Devoniana, apresentando larguras que oscilam de 70 a 80 km. Entalhada neste domínio geomorfológico e ocupando grande parte desta área, encontra-se a Bacia de Curitiba, composta por depósitos correspondentes a duas fases distintas de sedimentação sob condições ambientais diversas, a saber: sedimentos pleistocênicos da Formação Guabirota e sedimentos aluvionares holocênicos (PARANÁ, 2001, p. 130).

A bacia do rio Iraí é uma das formadoras do rio Iguaçu, sendo limitada ao norte pela bacia do rio Capivari, a oeste pela bacia do rio Palmital e a leste pela Serra da Baitaca. Situada aproximadamente entre os paralelos 25° 25' e 25° 15' S e os meridianos 49° 10' e 48° 50' O, a bacia do Iraí abrange parte dos municípios de Colombo, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras e Campina Grande do Sul (PARANÁ, 2001, p. 7). Os principais contribuintes para a formação do reservatório existentes na bacia do rio Iraí são os rios Canguiri, Timbú, Cercado e Curralinho (Figura 01).

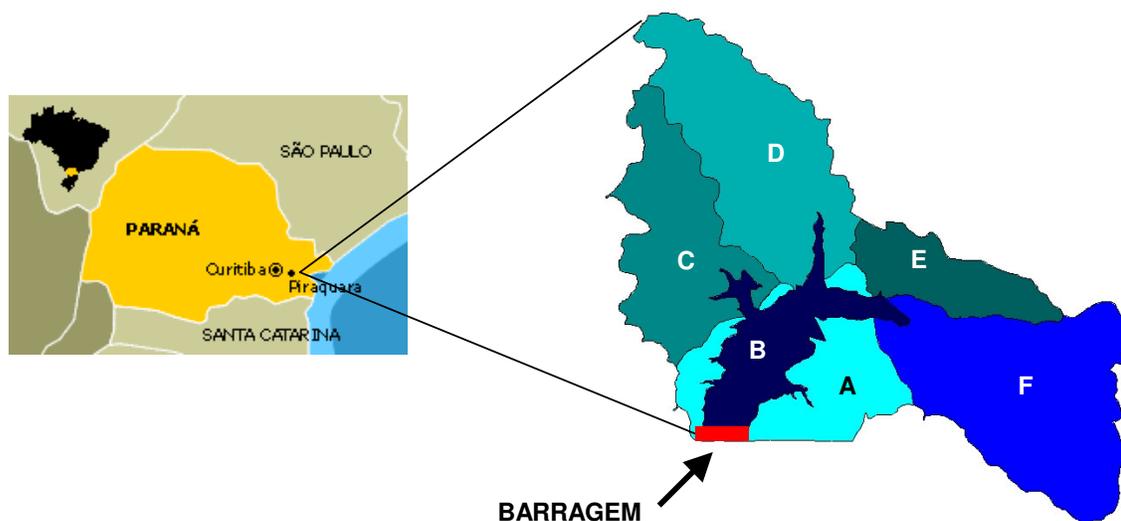
Com uma área de 113 km², a bacia do rio Iraí acrescenta ao sistema cerca de 1800 dm³ s⁻¹, dos quais 1500 dm³ s⁻¹ são provenientes da barragem que permitiu a regularização da vazão deste rio, e 300 dm³ s⁻¹ são provenientes da bacia à jusante da barragem (ANDREOLI *et al.*, 2003, p. 67). A área da bacia contribuinte é contemplada pela Área de Proteção Ambiental (APA) do Iraí (PARANÁ, 1996).

A barragem do rio Iraí situa-se na cota de 887,5 m, e o reservatório formado apresenta profundidade média de 4,13 m, com área da lâmina da água de 12,47 km², e volume total de 42,11 hm³. O tempo de residência da água é estimado em 187 dias, para uma vazão de saída de 2,60 m³ s⁻¹ (VEIGA, 2001, p. 95).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb – subtropical úmido mesotérmico, sempre úmido, pluvial, quente temperado, sujeito a geadas anuais no inverno. A temperatura média anual é de aproximadamente 16,5 °C, sendo a média do mês mais frio de 12,5 °C e do mês mais quente de 22,6 °C (IAPAR, 1994). De acordo com dados

de estações pluviométricas localizadas próximas à bacia do rio Iraí, dois são os períodos predominantes: a) chuvoso, entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro; b) com menor incidência das precipitações, entre os meses de maio e agosto. Essa sazonalidade, no entanto, não é tão marcante. De acordo com os dados das estações pluviométricas próximas, as médias anuais de precipitação variam entre 1.400 mm, no extremo de jusante da área da APA, e sendo superiores a 2.300 mm em direção às nascentes, nos limites da encosta litorânea (PARANÁ, 2001).

FIGURA 01 – REPRESENTAÇÃO DA BACIA DO RIO IRAÍ (A) À MONTANTE DO RESERVATÓRIO (B), MOSTRANDO AS BACIAS CONTRIBUINTE DOS RIOS CANGUIRI (C), TIMBÚ (D), CERCADO (E) E CURRALINHO (F)



Do ponto de vista geológico, na bacia do rio Iraí ocorrem sedimentos aluvionares e sedimentos da Formação Guabirotuba (período Quaternário), rochas ígneas intrusivas básicas (diques de diabásio do período Cretáceo Inferior), rochas graníticas (granito Anhangava – período Cambriano), e Complexo gnaíssico-migmatítico (período Pré Cambriano) (PARANÁ, 2001).

A Formação Guabirotuba é constituída predominantemente por argilitos e arcósios, seguidos por depósitos rudáceos (cascalhos) e margas. Na APA, as argilas são predominantes, apresentando intercalação com lentes de arcósios com espessuras que variam de poucos centímetros a dezenas de metros. Os depósitos rudáceos, representados por níveis basais de cascalho, encontram-se em pequenas espessuras e restritas áreas de ocorrência. As argilas da Formação Guabirotuba apresentam coloração cinza-esverdeada típica, pontuadas por grânulos de quartzo e feldspatos esbranquiçados. Quando alteradas

(saprolíticas), mostram cores variegadas com tons avermelhados, arroxeados, lilás e ocre. São argilas cujo argilo-mineral predominante é a esmectita (expansiva), o que as torna altamente erosivas quando expostas à superfície (PARANÁ, 2001, p. 123).

Os arcósios, via de regra friáveis, mostram granulação grosseira e coloração esbranquiçada a avermelhada.

As classes de solo freqüentemente encontradas na região, segundo o levantamento de solos do sudeste do estado do Paraná (realizado em escala 1:300.000), são associações de Podzólicos, Latossolos, Cambissolos, Rubrozem, e solos Hidromórficos (EMBRAPA, 1974).

A cobertura vegetal da região da bacia do rio Iraí originalmente era composta predominantemente por estepe gramíneo-lenhosa e floresta ombrófila mista (JACOBS e RIZZI, 2003, p. 104), a qual encontra-se muito antropizada, à exceção da porção leste, onde se situa o Parque Estadual da Serra da Baitaca (PARANÁ, 2002).

3.2 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DAS PRINCIPAIS UNIDADES DE MAPEAMENTO EXISTENTES NAS BACIAS DOS RIOS CANGUIRI E TIMBÚ

Para identificar quais áreas agrícolas são mais sensíveis à degradação, na bacia do rio Iraí, foi necessário inicialmente avaliar os solos existentes na região. Através deste estudo foram identificadas as áreas agrícolas que apresentavam maior risco de degradação e de contribuição na eutrofização do reservatório do rio Iraí, que é formado pelos rios Canguiri, Timbú, Cercado e Curralinho.

A necessidade de executar o levantamento prende-se ao fato de que a informação pedológica disponível (EMBRAPA, 1984), encontra-se em escala pequena, dificultando inferências a respeito da sustentabilidade do uso agrícola das áreas.

Tendo em vista que as zonas de uso agropecuário (ZUA) previstas no Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) da APA do Rio Iraí (PARANÁ, 2000) se concentram na bacias dos rios Timbú e Canguiri, optou-se por desenvolver este levantamento preliminar nestas bacias, que são contíguas. Além disto, estas duas bacias apresentam maior uniformidade geológica e climática, e a maior concentração de urbanização consolidada na bacia do rio Iraí.

O levantamento pedológico preliminar foi executado observando genericamente os procedimentos descritos por EMBRAPA (1995a) e SOUZA *et al.* (1995), visando produzir um mapa expedito de solos e o relato descritivo do levantamento. O mapa expedito é uma informação preliminar sobre os solos desta região, não se configurando necessariamente em um dos tipos de levantamento descritos por EMBRAPA (1995a).

3.2.1 Bases de referência utilizadas

As bases cartográficas utilizadas no mapeamento de solos efetuado na área de estudo foram cartas planialtimétricas na escala de 1:10 000, produzidas pela Coordenadoria para a Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), e a ortofoto digital, obtida à partir de vôo efetuado em 2000, sob encomenda da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA).

As informações das curvas de nível cotadas (planialtimetria) foram disponibilizadas em meio digital pela COMEC, bem como já se encontravam devidamente georreferenciadas.

Também foram utilizados, como material de apoio, o Levantamento de Solos de Reconhecimento de Baixa Intensidade do Paraná (EMBRAPA, 1984), em escala 1:600.000, o Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Sudeste do Paraná (EMBRAPA, 1974), em escala 1:300.000, e o mapa geológico do diagnóstico da APA Estadual do Iraí (PARANÁ, 2001), em escala 1:20.000.

3.2.2 Processamento digital de informações georreferenciadas

O software usado para o processamento das informações georreferenciadas foi o SPRING 3.6.03 (CAMARA *et al.*, 1996) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Inicialmente foi criado no SPRING um projeto com as coordenadas envolvidas da área em estudo. Após, foram definidas as categorias de dados para modelos numéricos, imagem, cadastral e temática.

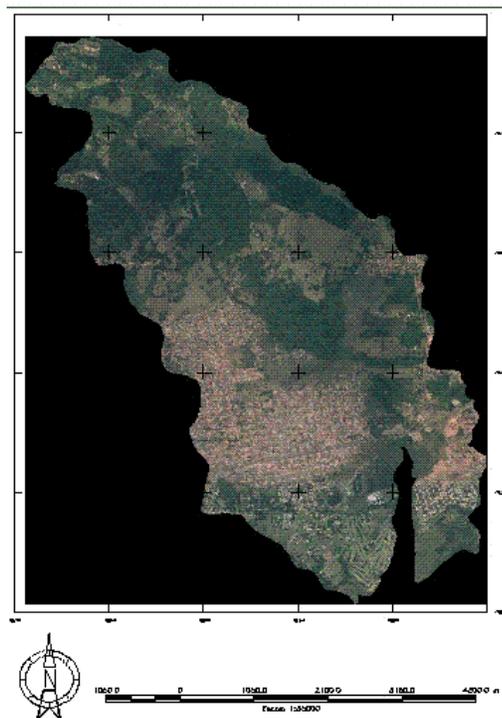
A ortofoto digital foi recortada (Figura 02), pelas ferramentas de edição do SPRING 3.6.03, a partir do limites de cada bacia hidrográfica, que correspondem aos divisores de águas das mesmas. A ortofoto digital foi utilizada como auxiliar ao mapeamento de solos, principalmente para separar as unidades tipos de terreno, ou seja, as áreas correspondentes às ocupações urbanas nas bacias hidrográficas.

Com base nas curvas de nível, foram realizados processamento para a obtenção do modelo numérico de terreno (MNT), que é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real (INPE, 2000).

Procedeu-se à modelagem numérica para a geração das grades numéricas triangular e retangular, que consistem basicamente na interpolação das curvas de nível cotadas. Nessa interpolação foi criada uma malha de valores de cota sobre a área do projeto, a qual possibilita a geração de imagens digitais, que irão expressar os diferentes aspectos de relevo da paisagem. O processo de geração de uma grade regular retangular

(Figura 03), consiste em estimar os valores de cota de cada ponto da grade a partir de um conjunto de amostras de entrada.

FIGURA 02 – RECORTE DE ORTOFOTO DIGITAL DA BACIA DO RIO TIMBÚ



A grade triangular (Figura 04) é um poliedro de faces triangulares e, em um modelo de grade irregular triangular os pontos amostrados são conectados por linhas para formar triângulos. Assim, diferentemente da geração de grade regular, os valores de cota dos vértices dos elementos triangulares da malha triangular não precisam ser estimados por interpolação. No processamento da grade triangular foram utilizados os rios digitalizados como linhas de quebra. O uso de linhas de quebra aumenta a fidelidade na geração dos modelos de relevo do terreno (NAMIKAWA, 1995). A partir destas grades foram gerados, em cada bacia, o modelo de sombreamento (Figura 05) e a imagem modelo numérico do terreno (MNT) (Figura 06).

FIGURA 03 – CURVAS DE NÍVEL COM SOBREPOSIÇÃO DE GRADE RETANGULAR, OBTIDOS NA BACIA DO TIMBÚ

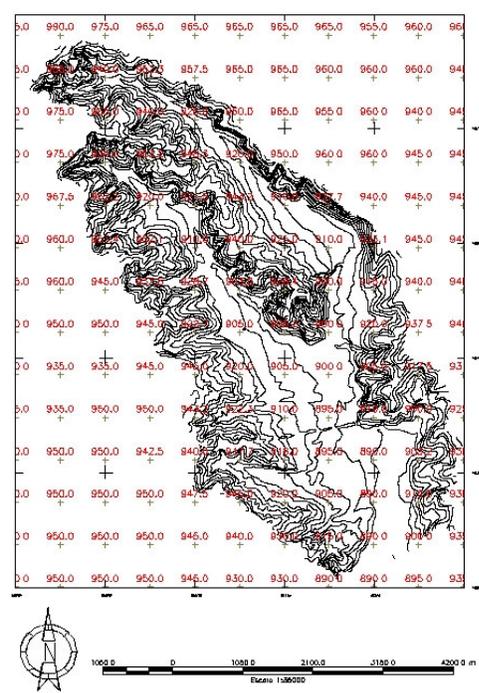
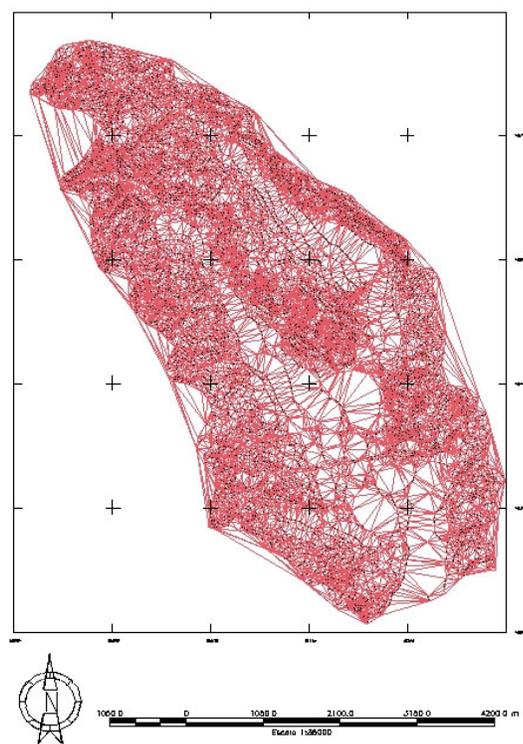


FIGURA 04 – GRADE TRIANGULAR OBTIDA NA BACIA DO RIO TIMBÚ



A partir dos tons de cinza, que se constituem em valores que variam de 0 a 255 níveis, foi possível executar composições coloridas no espaço de cores RGB (vermelho, verde, azul). Através da composição entre o modelo de sombreamento do terreno (Figura 05) e imagem MNT (Figura 06), no espaço RGB, e sua posterior conversão para o espaço IHS (intensidade, sombra e saturação), foi obtido o modelo sintético do terreno (Figura 07). Após esta primeira conversão de cores procede-se a uma segunda conversão do IHS para imagem. Na imagem do modelo sintético obtido, se observam as feições fisiográficas que estão ocorrendo em cada bacia.

Também foi obtido o mapa de classes de declividade do terreno, conforme as classes estabelecidas em EMBRAPA (1999), ou seja, plano (0 a 3%), suave ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e escarpado (mais de 75%).

Com o auxílio do modelo sintético do terreno (Figura 07), do mapa de classes de declividade do terreno, e do mapa geológico da região (PARANÁ, 2001), foi produzido o mapa expedito de solos. Por meio da interpretação das feições fisiográficas, foram digitalizados os polígonos referentes às classes de solos que possivelmente estariam ocorrendo na área. Para a obtenção da legenda preliminar de solos foram realizadas generalizações produzidas à partir do Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 1984) e do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Sudeste do Paraná (EMBRAPA, 1974). Este mapa preliminar foi utilizado como base para iniciar as atividades de campo.

FIGURA 05 – MODELO DE SOMBREAMENTO OBTIDO NA BACIA DO RIO TIMBÚ

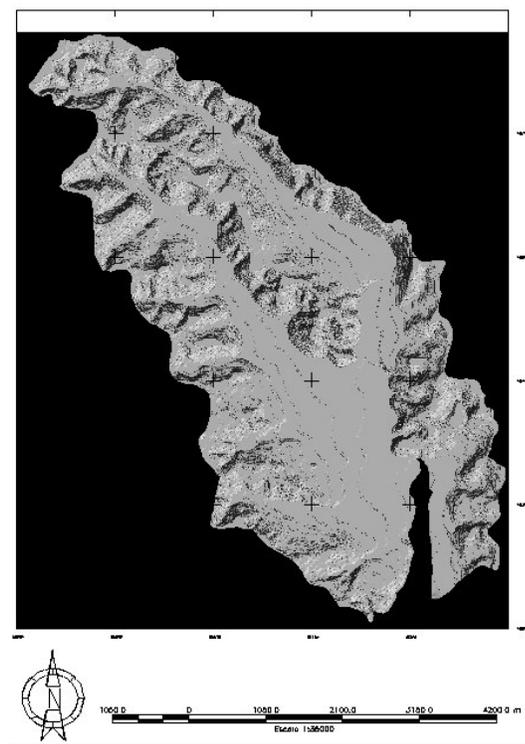


FIGURA 06 – IMAGEM MNT OBTIDA NA BACIA DO RIO TIMBÚ

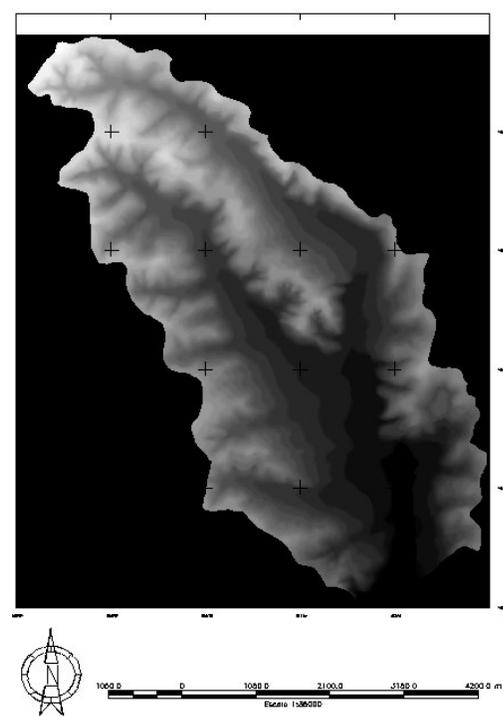
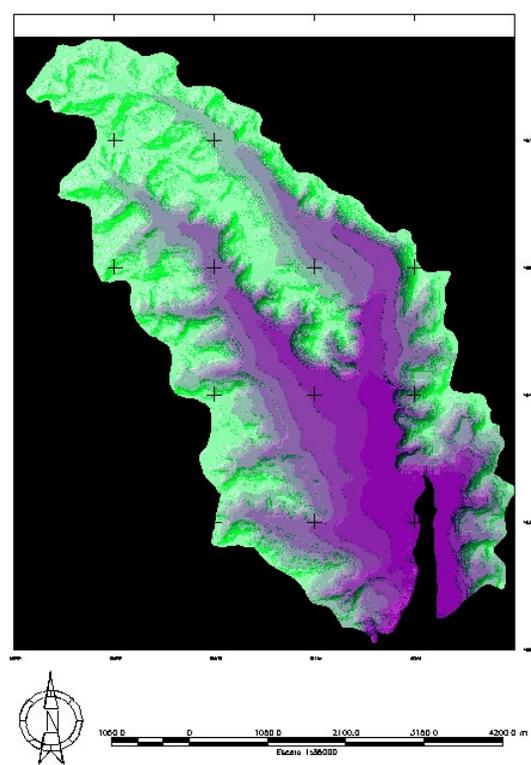


FIGURA 07 – MODELO SINTÉTICO DO TERRENO OBTIDO NA BACIA DO RIO TIMBÚ



3.2.3 Atividades de campo

Com base neste mapa preliminar, foi realizado o levantamento a campo, com a descrição e amostragem de perfis a campo, que foi realizada conforme a metodologia descrita em LEMOS e SANTOS (2002). Também foram obtidos pontos de observação (tradagens ou observação de barrancos) em locais representativos da paisagem. Os perfis descritos e amostrados foram representativos dos aspectos fisiográficos locais, escolhidos a partir da interpretação do modelo sintético do terreno (Figura 07).

Em cada perfil de solo foram coletadas amostras de cada horizonte, e acondicionadas em sacos plásticos e identificadas.

Posteriormente, foram organizadas as descrições gerais e morfológicas (conforme modelos de LEMOS e SANTOS, 2002) de cada perfil de solo.

3.2.4 Análises de laboratório

Em laboratório, as amostras de solo foram secas ao ar, moídas, passadas em peneira de 2 mm, e pesadas para a realização de análises químicas e granulométricas.

Foram realizadas análises granulométricas (areia grossa, areia fina, silte e argila), conforme a metodologia descrita por MACHADO (2003). Com base na metodologia descrita por MARQUES e MOTTA (2003), foram realizadas as seguintes análises químicas de solo: acidez ativa (pH em CaCl_2 relação solo 1:2,5 solução), Na e K disponíveis (extraídos por solução Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama), P disponível (extraído por solução Mehlich-1 e determinado por colorimetria), Ca e Mg trocáveis (extraídos por solução de KCl 1 mol dm^{-3} e determinados por complexometria com EDTA), Al trocável (extraído por solução de KCl 1 mol dm^{-3} e determinados por titulação com NaOH), acidez potencial (obtida pela correlação com o pH obtido com a solução tamponada SMP), e carbono orgânico (obtido por digestão à frio com $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ com determinação por método colorimétrico). Também foram determinados o pH em água e o pH em KCl (EMBRAPA, 1997).

Com base nestes resultados foram calculados os seguintes atributos (EMBRAPA, 1997): relação silte/argila, soma de bases (SB), saturação por bases (V), saturação por alumínio (Sat. Al.), capacidade de troca de cátions potencial (CTC potencial), e atividade da argila (CTC argila).

3.2.5 Classificação dos solos e obtenção do mapa de solos

Com base nos dados gerais, morfológicos, químicos e granulométricos, foram classificados os perfis de solos descritos nas bacias dos rios Canguiri e Timbú, conforme EMBRAPA (1999).

Com base nestes pontos de amostragem (perfis descritos) e nos pontos de observação (tradagens e observação de barrancos), foi realizada a extrapolação dos resultados obtidos para áreas com semelhança geomorfológica dentro das duas bacias, que é uma prática usual no prognóstico da ocorrência dos solos. Com base no conjunto de informações existente (mapa preliminar de solos, descrições morfológicas, análises químicas e granulométricas dos perfis de solos, imagem sintética e mapa de classes de declividade do terreno), foi elaborado o mapa expedito de solos das bacias dos rios Canguiri e Timbú, a legenda final de unidades de mapeamento de solos, e o relato descritivo do levantamento.

3.3 EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO EXPLORATÓRIA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES

3.3.1 Localização da área experimental

O experimento foi implantado na Estação Experimental Canguiri da UFPR, na bacia hidrográfica do rio Canguiri, utilizando água de um de seus afluentes, conhecido localmente

por Arroio do Corvo. A área do experimento (coordenadas UTM 687120 m e 7190080 m, Fuso 22S), situava-se a jusante da barragem de terra construída em uma microbacia hidrográfica, na qual haviam atividades de produção vegetal, e principalmente criações de suínos, aves e ovinos da Estação Experimental do Canguiri, as quais eram operacionais à época do experimento. Foi observado que na água deste tanque havia abundante desenvolvimento da macrófita aquática *Lemna* sp.

3.3.2 Tratamentos e delineamento

Cada unidade experimental era um tanque de fibrocimento com capacidade de 500 dm³ (diâmetro superior de 109 cm, altura de 67 cm), recebendo água constantemente do reservatório à jusante da barragem citada, de modo a manter uma lâmina de água constante de 0,93 m² parcela⁻¹.

Os tratamentos foram o cultivo de aguapé (*Eichhornia crassipes*), alface d'água (*Pistia stratiotes*) e lentilha d'água (*Lemna* sp.). O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com sete repetições (Figura 08) por tratamento. Os blocos foram estabelecido para evitar eventuais interferências de aspectos como a luminosidade (visto que o experimento se localizava no fundo do vale) ou proximidade da fonte de água (que afetava a vazão).

FIGURA 08 – ASPECTO DO EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES



3.3.3 Condução do experimento

Foram executados dois plantios, procurando abranger predominantemente os períodos de verão (o experimento iniciou no final da primavera) e inverno (o experimento iniciou no final do outono).

O experimento de verão foi iniciado em 10 de dezembro de 2002, sendo plantado 0,2 kg de matéria fresca em cada parcela. As plantas de aguapé e alface d'água foram provenientes do parque náutico do Parque Iguazú (administrado pela Prefeitura Municipal de Curitiba), e as plantas de lentilha d'água foram coletadas na Estação Experimental do Canguiri da UFPR.

Através de uma tubulação de 90 mm de diâmetro, a água do tanque era levada até o conjunto de tanques que constituíam o experimento. A tubulação e torneiras utilizadas eram todos de PVC. Embora houvesse preocupação em manter um suprimento constante de água, não era possível a exata verificação da quantidade de água que era suprida às parcelas, em função das torneiras utilizadas (Figura 09), da ausência de um sistema de filtragem, e da variação do nível de água do tanque de captação em função da precipitação na microbacia. A saída da água era realizada através de um sifão, permanentemente aberto, localizado 20 cm abaixo da lâmina de água, permitindo que a água tivesse circulação no tanque.

No dia da colheita, antes da retirada das plantas dos tanques, também foram recolhidas amostras da água a 10 e a 30 cm de profundidade, sendo tomadas seis subamostras em cada tanque. A colheita do experimento de verão ocorreu no dia 06 de março de 2003, sendo retirado dos tanques todo o material vegetal (plantas inteiras).

FIGURA 09 – ASPECTO DA ENTRADA DE ÁGUA NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS



Durante o período do experimento de verão (86 dias), na estação do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), em Pinhais (também localizada na Estação Experimental do Canguri) foi registrada a precipitação total de 280,3 mm (Anexo I), sendo a temperatura mínima do período de 12,3 °C e a média das mínimas de 17,6 °C (Anexo II).

Antes do plantio de inverno, houve o esvaziamento e limpeza dos tanques e torneiras. O plantio do experimento de inverno foi realizado em 07 de maio de 2003. Tendo em vista a expectativa de menor taxa de crescimento das macrófitas aquáticas no inverno, foi plantado 1 kg de matéria fresca em cada parcela.

A colheita do experimento de inverno no dia 25 de agosto de 2003, sendo retirado dos tanques todo o material vegetal (plantas inteiras) das espécies testadas.

Durante o período do experimento de inverno (110 dias), na estação do SIMEPAR, em Pinhais, foi registrada a precipitação total de 226,2 mm (Anexo III), sendo a temperatura mínima do período de 0,7 °C e a média das mínimas de 10,0 °C (Anexo IV).

3.3.4 Preparo do material colhido e análise

O material vegetal colhido foi separado em parte aérea e raízes (incluindo os estolões) no caso do aguapé e alface d'água. Devido ao pequeno tamanho das plantas, não houve separação da lentilha d'água em parte aérea e raízes. Nas amostras foi determinada a massa fresca e, após secagem a 60 °C, a massa seca. No período de verão, devido à rápida degradação da amostra de raízes da alface d'água encaminhada ao laboratório de análises de plantas, não foi possível determinar as concentrações de nutrientes.

Amostras do material fresco foram lavadas em água deionizada, secas e moídas para a determinação de alguns elementos químicos totais. O N total foi determinado pelo método Kjeldahl (BATAGLIA *et al.*, 1983). Após incineração em mufla e extração com HCl 3 mol dm⁻³, foram determinados o P (JACKSON, 1958) e o K, Ca, Mg, Na, Al, Cu, Zn, Mn e Fe (PERKIN ELMER, 1976). Nas amostras de água recolhidas no final do experimento foram determinados o nitrato (MIYAZAWA *et al.*, 1985), o P (MURPHY e RILEY, 1962) e o K (PERKIN ELMER, 1976) solúveis.

Com base nos dados de concentração de nutrientes e rendimento de matéria seca, também foi calculada a quantidade total de N, P, K, Ca, Mg, Na, Al, Zn, Cu, Mn e Fe por metro quadrado. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de significância de 5%. Quando se observou diferença significativa através desta análise, se efetuou o teste de Tukey ao nível de significância de 5% para comparar as médias de tratamentos. Para realizar estas análises foi utilizado o programa computacional SANEST (ZONTA e MACHADO, 1995).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS EXISTENTES NAS BACIAS DOS RIOS CANGUIRI E TIMBÚ

4.1.1 Classes de declividade do terreno

A declividade do terreno é um aspectos que mais influencia os processos de erosão, tendo em vista que a mesma é um dos fatores que determina a velocidade de escoamento superficial da água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985, p. 51). Em relevos mais declivosos, usualmente o risco de erosão é maior, e portanto também aumenta o risco de assoreamento e eutrofização dos rios. O mapa de declividade do terreno é um dos fatores que permite a separação das unidades de mapeamento de solos (KLINGEBIEL *et al.*, 1987), além de influenciar a análise da fragilidade ambiental (ROSS, 1994).

As Tabelas 01 e 02 mostram a área (absoluta e porcentual) de cada classe de declividade do terreno nas bacias do Canguiri e do Timbú. Pode ser observado que mais da metade dos solos destas bacias apresentam relevo plano ou suave ondulado, que oferecem menor risco de erosão e conseqüente perda de nutrientes carregados com as partículas de solo. Apenas uma pequena porcentagem da área apresenta relevo forte ondulado ou mais declivoso, que teriam maior risco de erosão.

Nas Figuras 10 e 11 é apresentada a distribuição geográfica das classes de declividade do terreno nas bacias dos rios Canguiri e Timbú.

As áreas de relevo forte ondulado ou mais declivoso são mais suscetíveis ao processo erosivo, e conseqüente carreamento de sedimentos e nutrientes aos corpos d'água. Ao se observar a localização das áreas de relevo forte ondulado ou mais declivoso, percebe-se que, embora sejam áreas menores, estão localizadas nas cabeceiras dos cursos d'água ou próximas à própria barragem do rio Iraí, o que aumenta o risco de uso destas áreas.

TABELA 01 - ÁREAS OCUPADAS PELAS DIFERENTES CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO NA BACIA DO RIO CANGUIRI

CLASSES DE DECLIVIDADE	PLANO	SUAVE ONDULADO	ONDULADO	FORTE ONDULADO	MONTANHOSO	ESCARPADO	TOTAL
Área (ha)	597,62	359,66	734,40	133,13	0,47	-	1825,28
Área (%)	32,74	19,70	40,23	7,30	0,03	-	100

TABELA 02 – ÁREAS OCUPADAS PELAS DIFERENTES CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO NA BACIA DO RIO TIMBÚ

CLASSES DE DECLIVIDADE	PLANO	SUAVE ONDULADO	ONDULADO	FORTE ONDULADO	MONTANHOSO	ESCARPADO	TOTAL
Área (ha)	909,99	451,09	965,50	150,93	92,60	11,06	2581,17
Área (%)	35,26	17,48	37,41	5,85	3,58	0,42	100

FIGURA 10 - MAPA DE CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO DA BACIA DO RIO CANGUIRI

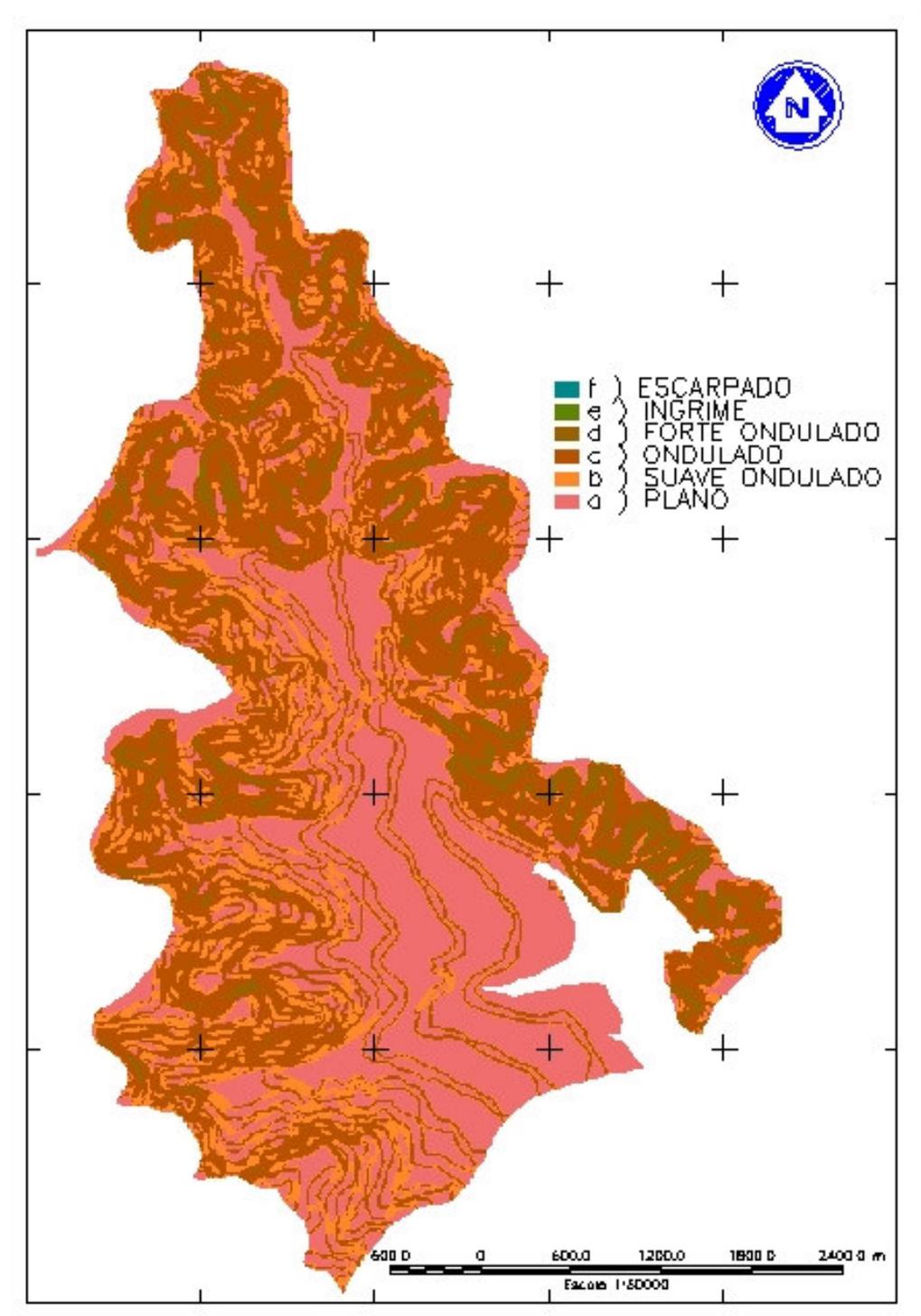
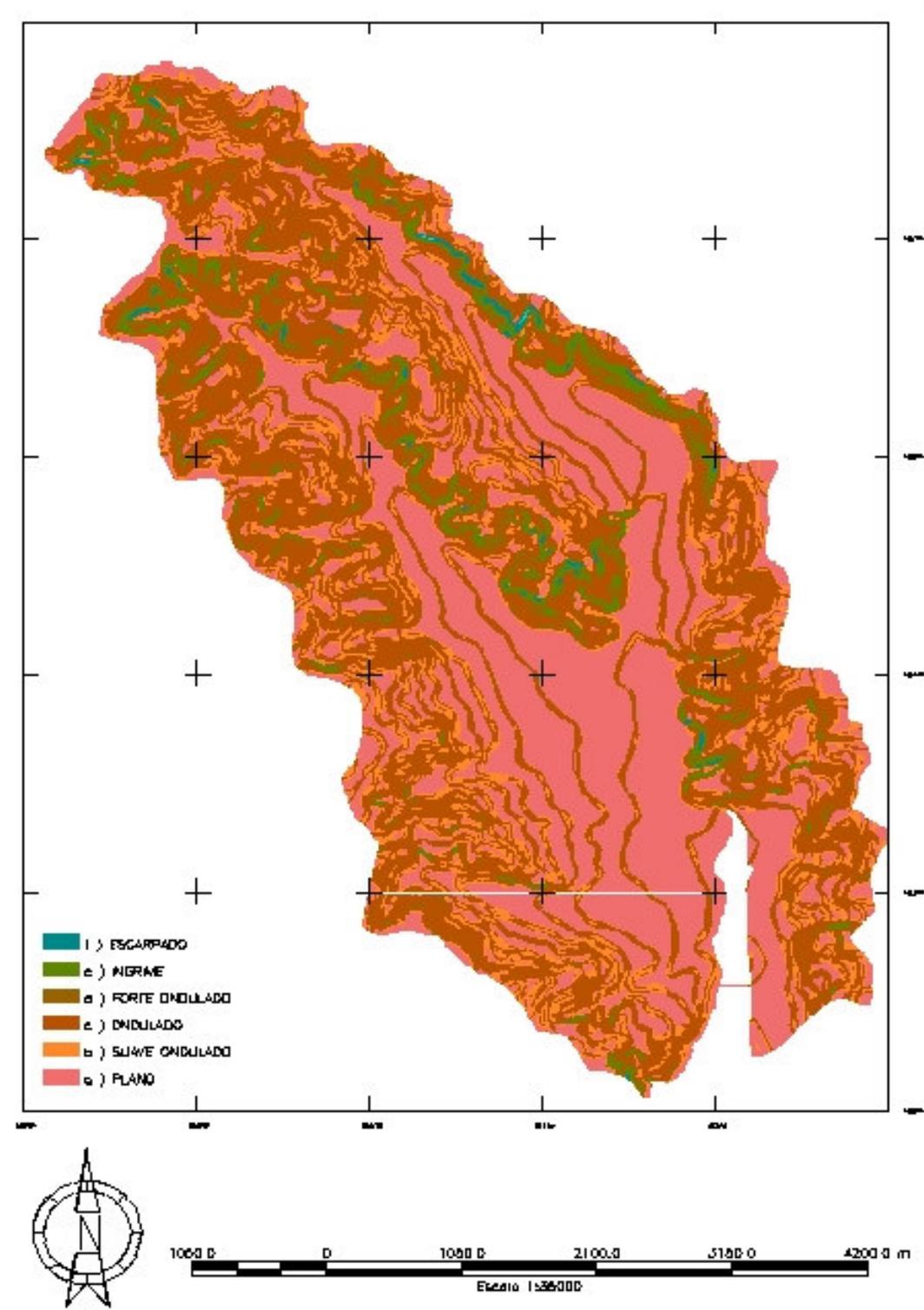


FIGURA 11 – MAPA DE CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO NA BACIA DO RIO TIMBÚ



4.1.2 Unidades de mapeamento de solos encontradas nas bacias dos rios Canguiri e Timbú

Tendo em vista que o objetivo deste trabalho era identificar as principais unidades de mapeamento de solos, visando dar suporte a estudos de fragilidade ambiental, os resultados apresentados devem ser considerados preliminares, pois ainda há a necessidade de efetuar mais pontos de observação, ou eventualmente pontos de amostragem, nas bacias dos rios Canguiri e Timbú, para a delimitação final das unidades de mapeamento.

Nas bacias do rios Canguiri e Timbú, as unidades de mapeamento identificadas neste levantamento expedito de solos foram:

- a) CXvd – Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico substrato argilitos;
- b) CHa+CHd – associação Cambissolo Húmico Alumínico típico + Cambissolo Húmico Distrófico típico ambos substrato argilitos;
- c) CHa+RLd – associação Cambissolo Húmico Alumínico típico + Neossolo Litólico Distrófico típico ambos substrato argilitos e arcósios;
- d) GXve – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico típico;
- e) Unidade OYs – Organossolo Mésico Sáprico típico;
- f) LVd – Latossolo Vermelho Distrófico típico;
- g) Tipo de terreno (área urbana).

Com base na metodologia, descrita no ítem 3.3 deste trabalho, foram obtidos os mapas expeditos de solos, que constam nas Figuras 12 e 13, cujas áreas das unidades de mapeamento são detalhadas nas Tabelas 03 e 04. Os mapas expeditos de solos das bacias dos rio Canguiri e Timbú foram originalmente plotados em escala 1:30.000 e 1:35.000, respectivamente.

TABELA 03 - AREAS DAS DIFERENTES UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS DA BACIA DO RIO CANGUIRI

UNIDADES TAXONÔMICAS	CHa+CHd	CXvd	GXve	LVd	OYs	CHa+RLd	TIPO DE TERRENO	TOTAL
Área (ha)	814,56	107,57	217,17	120,12	156,91	112,46	296,49	1825,28
Área (%)	44,6	5,9	11,9	6,6	8,6	6,2	16,2	100

TABELA 04 - AREAS DAS DIFERENTES UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS DA BACIA DO RIO TIMBÚ

UNIDADES TAXONÔMICAS	CHa+CHd	CXvd	GXve	LVd	OYs	CHa+RLd	TIPO DE TERRENO	TOTAL
Área (ha)	901,18	174,28	204,35	83,50	307,97	116,02	793,87	2581,17
Área (%)	34,9	6,8	7,9	3,2	11,9	4,5	30,8	100

FIGURA 12 – MAPA DE SOLOS DA BACIA DO RIO CANGURI

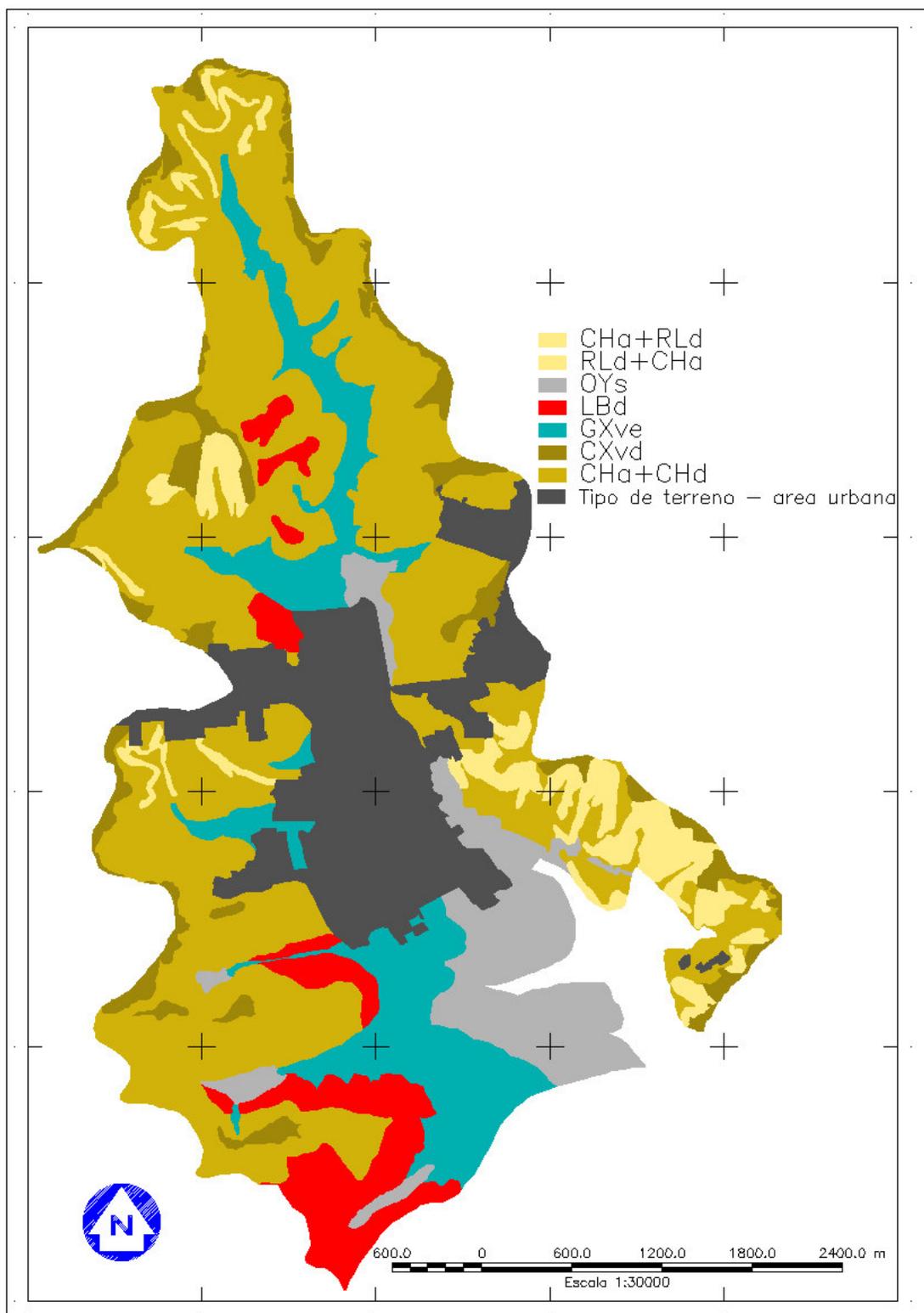
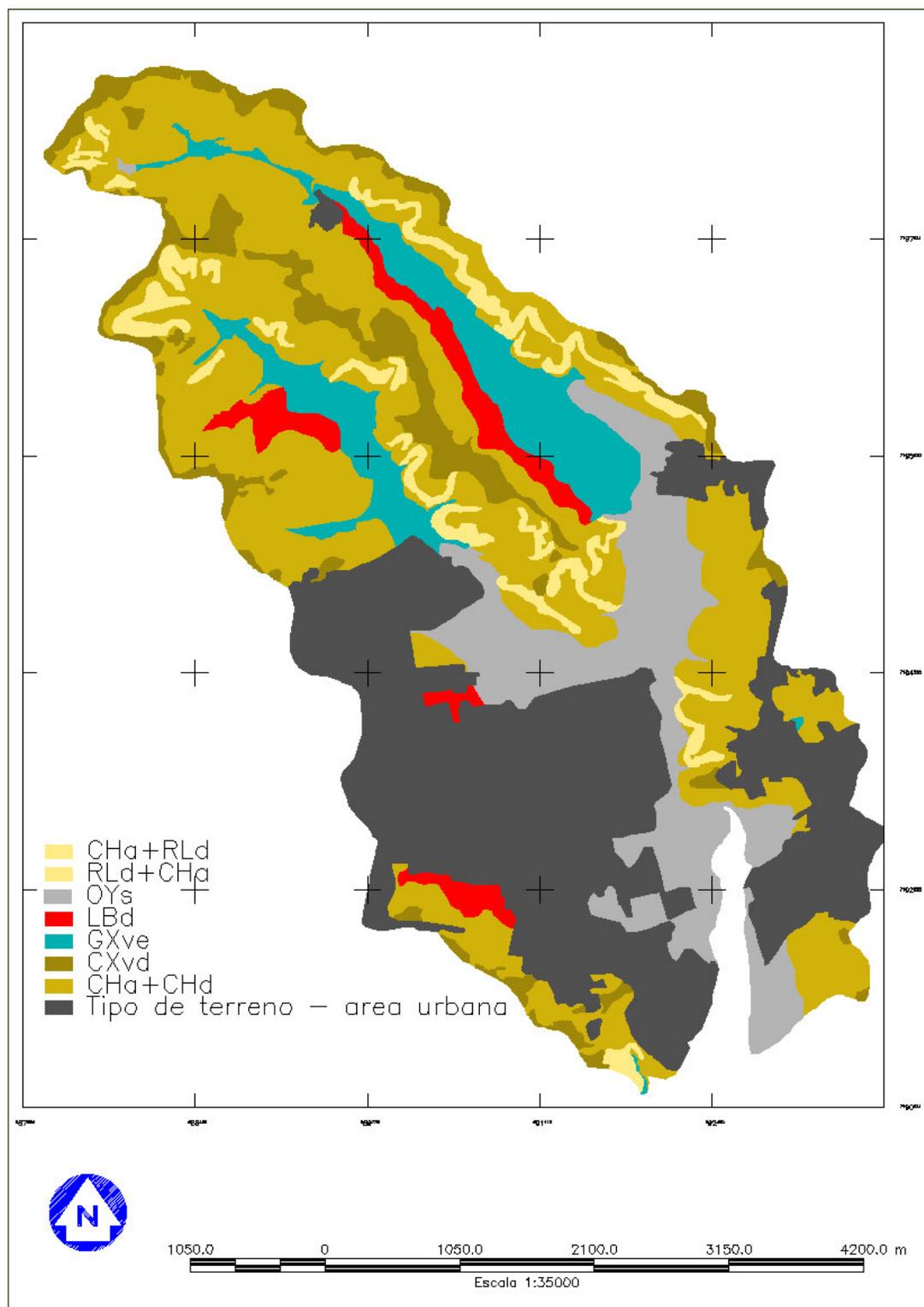


FIGURA 13 – MAPA DE SOLOS DA BACIA DO RIO TIMBÚ



4.1.2.1 Unidade CXvd – Cambissolo Háptico Ta Distrófico típico substrato argilitos

Esta unidade de mapeamento ocupa área de 107,57 ha (5,89%) na bacia do rio Canguiri (Tabela 03) e 174,28 ha (6,75%) na bacia do rio Timbú (Tabela 04), nas posições de interflúvio, nos divisores de água aplainados das bacias. Correspondem às porções mais preservadas da paisagem. Como estes divisores são relativamente estreitos não há, em geral, condições para formação de solos mais evoluídos, como os Latossolos. Esta unidade é representada pelos perfis 51 (Anexo VI) e 01 (Quadro 01 e Tabela 05).

Os solos desta unidade de mapeamento são desenvolvidos à partir do produto do intemperismo de argilitos da Formação Guabirota (Período Quaternário) (PARANÁ, 2001).

Embora esta unidade de mapeamento não se enquadre no subgrupo latossólico no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999, p. 161), deve ter comportamento mais próximo aos Latossolos em termos de risco de erosão, apesar de ter argila de atividade alta (Ta) e não possuir estrutura tão desenvolvida. Do ponto de vista de manejo, esta unidade de mapeamento pode ser considerada semelhante à unidade LVd, que será descrita adiante. Devido ao fato de ser uma unidade de mapeamento com solos bem drenados, muito profundos² e relevo suave ondulado, os solos desta unidade de mapeamento não apresentam maiores restrições à atividades mecanizadas ou elevado risco de erosão. Por se tratarem de áreas aplainadas e bem drenadas, de modo geral, foi observado durante o caminhamento nas bacias, que as áreas desta unidade de mapeamento estão ocupadas por lavouras e criações, estradas rurais, e ocupações urbanas.

Devido à condição de baixa fertilidade natural, indicada pela elevada acidez, baixos teores de nutrientes e saturação de bases, além de elevada saturação de Al (Tabela 05), não é um solo que deve apresentar elevado risco de eutrofização dos cursos d'água.

² Conforme EMBRAPA (1999) os solos são classificados quanto à profundidade em rasos (menos de 50 cm), pouco profundos (50 cm a 1 m), profundos (1 a 2 m), e muito profundos (mais de 2 m)

QUADRO 01 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 01 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CXvd - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta DISTRÓFICO

<p>Classificação: Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico</p> <p>Localização, coordenadas, município, estado: estrada rural próximo a Colônia Faria, Colombo (PR), coordenadas UTM 7193649 m e 686793 m (Fuso 22 S).</p> <p>Situação e cobertura vegetal: corte de estrada no terço superior de encosta, sob pouso</p> <p>Altitude: 945 m</p> <p>Geologia: Argilitos da formação Guabirotuba (período Quaternário)</p> <p>Pedregosidade: não pedregoso</p> <p>Rochosidade: não rochoso</p> <p>Relevo local: suave ondulado</p> <p>Relevo regional: suave ondulado a ondulado</p> <p>Erosão: laminar moderada</p> <p>Drenagem: bem drenado</p> <p>Uso atual: área de corte raso de <i>Pinus</i> sp., atualmente em pouso</p> <p>Raízes: secundárias de <i>Pinus</i> sp. Muitas até o AB e comuns até o BC</p> <p>Outras observações: resíduos de cinza na superfície do solo</p>	
<p>Descrição morfológica</p>	
Ap	0-5 cm; bruno-acinzentado-escuro (2,5 YR 4/2, úmido) e bruno (7,5 YR 4/4, seco); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
AB	5-47 cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/4, úmido) e bruno forte (7,5 YR 4/6, seco); franco argilosa; moderada média blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e plana
BA	47-70 cm; vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmido) e bruno forte (7,5 YR 5/6, seco); franco argilosa; moderada muito pequena blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
Bi1	70-120 cm; vermelho (2,5 YR 4/8, úmido) e vermelho (10 R 5/8, seco); argilosa; moderada grande blocos subangulares; firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
Bi2	120-157 cm; vermelho (2,5 YR 4/8, úmido) e vermelho (10 R 5/8, seco); franco argilosa; moderada grande blocos subangulares; firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
BC1	157-188 cm; vermelho (2,5 YR 4/8, úmido) e vermelho claro (10 R 6/8, seco) mosqueado comum pequeno distinto cinzento-esverdeado-claro (10 Y 7/1, úmido); franco argilosa; forte grande blocos angulares; firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e ondulada.
BC2	188-210 ⁺ cm; vermelho (2,5 YR 4/8, úmido) e vermelho claro (10 R 6/8, seco) mosqueado abundante pequeno proeminente cinzento-claro (N 7/, úmido); franca; fraca grande blocos angulares; friável, ligeiramente plástico e pegajoso.

TABELA 05 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 01 DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CXvd - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta DISTRÓFICO

Horiz.	Prof.	areia grossa	Areia fina	silte	Argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
	cm	dag kg ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹					
Ap	0-5	8	46	16	30	0,53	9,1	6,34	0,12	0,07	0,0	3,2
AB	5-47	12	30	22	36	0,61	0,8	0,6	0,05	0,02	2,4	9,0
BA	47-70	10	30	28	32	0,88	0,7	0,7	0,04	0,02	2,4	9,7
Bi1	70-120	8	22	26	44	0,59	0,9	0,6	0,04	0,02	2,5	8,4
Bi2	120-157	8	34	24	34	0,71	1,0	0,6	0,04	0,02	3,5	10,5
BC1	157-188	8	38	26	28	0,93	0,7	0,5	0,05	0,05	5,3	14,1
BC2	188-210	12	38	28	22	1,27	0,7	0,4	0,05	0,07	0,0	15,2

Horiz.	Prof.	pH em água	pH em KCl	pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat. Na	CTC
	cm				mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		%		cmol _c kg ⁻¹ argila	
Ap	0-5	6,3	5,5	6,2	2,6	29,3	15,6	18,8	83,0	0,0	0,4	62,8
AB	5-47	4,9	4,2	4,2	0,7	10	1,47	10,5	14,0	62,0	0,2	29,1
BA	47-70	4,9	4,2	4,1	0,8	10	1,46	11,2	13,1	62,2	0,2	34,9
Bi1	70-120	4,8	4,2	4,2	0,6	6,3	1,56	10,0	15,7	61,6	0,2	22,6
Bi2	120-157	4,9	4,2	4,2	0,6	3,9	1,66	12,2	13,7	67,8	0,2	35,8
BC1	157-188	5	4,1	4,1	0,8	2,7	1,3	15,4	8,4	80,3	0,3	55,0
BC2	188-210	5,4	4,1	4,0	0,7	3,3	1,22	16,4	7,4	0,0	0,4	74,6

Ao se analisar o P disponível, observa-se que os teores neste solo (Tabela 05) são muito baixos ou limitantes à maioria das culturas agrícolas (COMISSÃO, 1995, p. 28), não representando, nas condições naturais, grande risco de eutrofização. Segundo ANDRASKI e BUNDY (2003) os testes de P disponível, utilizados agronomicamente, fornecem uma adequada indicação da concentração de P dissolvido nas águas de escoamento. A adubação, promovida pelos produtores rurais no horizonte Ap, pode causar a elevação dos teores de nutrientes, especialmente o P. Por outro lado, a aplicação de P, dentro dos limites das doses recomendadas para as culturas, pode contribuir para reduzir a perda deste elemento por erosão, pois tenderá a aumentar o crescimento das culturas e a cobertura do solo (SHARPLEY *et al.*, 2000). Desde que sejam observadas precauções simples com relação à conservação do solo, esta unidade de mapeamento não representa grande risco à eutrofização dos corpos d'água, visto a mesma se encontra localizada distante das linhas de drenagem e apresenta relevo pouco favorável à erosão.

4.1.2.2 Unidade CHa+CHd – associação Cambissolo Húmico Alumínico típico + Cambissolo Húmico Distrófico típico ambos substrato argilitos

Esta unidade de mapeamento é a mais relevante das bacias estudadas, ocupando área de 814,56 ha (44,63%) na bacia do rio Canguiri (Tabela 03) e 901,18 ha (34,91%) na bacia do rio Timbú (Tabela 04). Esta unidade é representada pelos perfis 02 (Quadro 02 e Tabela 06), 11 (Anexo V), 56, 58 (Anexo VI) e 11.

QUADRO 02 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 10 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CHa + CHd - ASSOCIAÇÃO CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO TÍPICO + CAMBISSOLO HÚMICO DISTRÓFICO TÍPICO

Classificação: Cambissolo Húmico Distrófico típico	
Localização, coordenadas, município, estado: Estação Experimental do Canguiri, município de Pinhais (PR), coordenadas UTM 688198 m e 7190513 m (Fuso 22 S). Próximo à estação meteorológica do Instituto Agrônômico do Paraná.	
Situação e cobertura vegetal: barranco de estrada, em terço médio de encosta, com cobertura de campo.	
Altitude: 930 m	
Geologia: argilitos da Formação Guabirotuba (Período Quarternário)	
Pedregosidade: não pedregoso	
Rochosidade: não rochoso	
Relevo local: ondulado	
Relevo regional: suave ondulado a ondulado	
Erosão: não aparente	
Drenagem: bem drenado	
Uso atual: campo	
Raízes: fasciculadas comuns no A e poucas no AB	
Descrição morfológica	
A	0-26 cm; bruno (10YR 4/4, úmido) e bruno amarelado escuro (10 YR 4/4, seco); franco argilosa; moderada média a grande blocos subangulares; poros poucos e muito pequenos; firme, plástico e pegajoso; transição clara e plana.
AB	26-42 cm; bruno (7,5 YR 4/4, úmido) e bruno oliváceo (2,5 Y 4/4, seco); argilosa; moderada pequena a média blocos subangulares; poros comuns e pequenos; friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
BA	42-56 cm; vermelho amarelado (5 YR 4/6, úmido) e bruno amarelado escuro (10 YR 4/6, seco); argilosa; moderada pequena a média blocos subangulares; poros comuns e muito pequenos; friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e plana
Bi	56-98 cm; vermelho (2,5 YR 5/8, úmido) e vermelho amarelado (5 YR 5/6, seco); argilosa; moderada grande blocos subangulares; poros comuns e muito pequenos; firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana.
BC	98-110 cm; vermelho (2,5 YR 5/8, úmido) com mosqueado abundante pequeno distinto bruno claro (7,5 YR 6/4, úmido); argilosa; moderada pequena a média blocos angulares; poros comuns e muito pequenos; firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição abrupta e plana.
C1	110-126 cm; coloração variegada composta por vermelho (10 R 5/8, úmido) e cinzento brunado claro (5 PB 7/1, úmido); argilosa; maciça que se desfaz em pequena a média blocos angulares; firme, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e ondulada.
C2	126-145 cm ⁺ ; coloração variegada composta por vermelho (2,5 YR 5/8, úmido) e cinzento brunado claro (5 PB 7/1, úmido), com mosqueado proeminente comum médio preto azulado (5 PB 2,5/1, úmido); argiloso; maciça que se desfaz em média blocos angulares; firme, plástico e pegajoso.

TABELA 06 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 10 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CHa + CHd - ASSOCIAÇÃO CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO TÍPICO + CAMBISSOLO HÚMICO DISTRÓFICO TÍPICO

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	areia fina	silte	argila	Relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
A	0-26	24		42	34	1,24	3,4	2,4	0,31		0,8	9,0
AB	26-42	24		32	44	0,73	2,0	1,1	0,13		2,4	10,5
BA	42-56	22		38	40	0,95	1,9	1,0	0,09		2,4	10,5
Bi	56-98	22		36	42	0,86	1,5	0,9	0,09		2,2	12,1
BC	98-110	2	22	36	40	0,90	0,9	0,6	0,1	0,3	5,8	17,6
C1	110-126	22		36	42	0,86	0,7	0,6	0,13		6,5	17,6
C2	126-145	22		36	42	0,86	1,7	0,9	0,19		3,5	19,0

Horiz.	Prof. cm	pH em CaCl ₂	P mg kg ⁻¹	C orgânico g kg ⁻¹	SB cmol _c kg ⁻¹	CTC cmol _c kg ⁻¹	V %	Sat. Al %	Sat.Na %	CTC cmol _c kg ⁻¹ argila
AB	26-42	4,4	0,4	19,6	3,23	13,7	23,5	42,6		31,2
BA	42-56	4,4	0,3	14,2	2,99	13,5	22,2	44,5		33,7
Bi	56-98	4,3	0,1	6,9	2,49	14,6	17,1	46,9		34,7
BC	98-110	4,1	0,2	4,5	1,9	19,5	9,7	75,3	1,5	48,8
C1	110-126	4,2	0,1	2,7	1,43	19,0	7,5	82,0		45,3
C2	126-145	4,1	0,2	1,5	2,79	21,8	12,8	55,6		51,9

Esta unidade de mapeamento ocupa áreas de encostas, em ambas as bacias, estando usualmente em cotas inferiores aos solos observados na unidade de mapeamento CXvd. Correspondem à porções dissecadas da paisagem estudada.

Os Cambissolos são solos que apresentam certo grau de evolução do horizonte B, porém, não o suficiente para alterar completamente minerais primários de fácil intemperização, bem como não possuem acumulação suficiente de argila iluvial que permita classificá-los como solos com horizonte B textural ou B nítico (RESENDE *et al.*, 1988, p. 59).

Constituem inclusões desta unidade Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos gleicos (perfil 12 – Anexo V) em algumas cabeceiras e linhas de drenagem, cujo mapeamento não seria possível na escala de trabalho adotada neste mapeamento. Também constituem variação desta unidade de mapeamento Alissolos Crômicos Argilúvicos abrupticos (perfil 52 – Anexo VI) e Alissolo Crômico Húmicos câmbico (perfil 55 – Anexo VI), principalmente na porção leste da bacia do rio Timbú. Um detalhamento maior, com maior número de pontos de observação, possivelmente permitirá separar estas inclusões de Alissolos, que apresentam maior risco de erosão, devido ao gradiente textural, com conseqüente mudança na velocidade de drenagem no perfil.

Os solos desta unidade de mapeamento são desenvolvidos à partir do produto do intemperismo de argilitos da Formação Guabirotuba (Período Pleistocênico) (PARANÁ, 2001). Ocasionalmente há contribuição de arcósios da mesma formação geológica. É usual

a ocorrência de linhas de pedras, indicando o possível retrabalhamento do material formador do solo.

O relevo encontrado nesta unidade de mapeamento é predominantemente ondulado. Por se tratarem de áreas de relevo mais declivoso do que as unidades de mapeamento CXvd e LVd, foi observado no caminhamento das bacias que as áreas da unidade de mapeamento CHa+CHd estão mais ocupadas por coberturas florestais, capoeiras e pastagem permanente, muito embora não seja raro o uso com lavouras e residências.

Devido à profundidade e relevo, os solos desta unidade de mapeamento são mais frágeis que os solos da unidade CXvd, apresentando maiores restrições à atividade mecanizadas, e apresentando maior risco de erosão hídrica.

Os Cambissolos álicos, quando corrigida a acidez, tornam-se aptos à agricultura, porém exigindo altas doses de corretivo, devido aos elevados teores de Al trocável (OLIVEIRA *et al.*, 1992, p. 159). A correção da fertilidade no horizonte Ap, se promovida pelos produtores rurais, pode causar a elevação dos teores de nutrientes, especialmente o P. Por este motivo, é necessário nestas áreas com risco de eutrofização que o manejo do P solo leve em consideração este aspecto, com o uso de ferramentas como a análise de solo e de fertilizantes orgânicos (principalmente esterco), bem como considerações técnicas, como o balanço entre importação e exportação destes nutrientes pelas culturas (DANIEL *et al.*, 1998).

Por estes motivos, é necessária precaução com os aspectos relacionados à conservação do solo, pois estes solos, são susceptíveis à erosão em função do relevo ondulado. Conforme DAVEDERE *et al.* (2003) uma das formas mais eficientes de se reduzir a concentração de P total na água que escorre das áreas de lavoura, é justamente se reduzir a concentração de sedimento erodido, o que pode ser alcançado com práticas como o plantio direto. Também BERTOL *et al.* (2003) destacam que a perda de P, e outros nutrientes, como N, K, Ca e Mg é incrementada por sistema de preparo que movimentam mais o solo. Contudo, observa-se nas bacias estudadas, que o sistema usual de preparo do solo adotado utiliza grades e/ou enxada rotativa (Figura 14).

Não é esperado neste solo significativa perda de P por lixiviação devido ao teor de argila relativamente elevado (Tabela 06) e por ser um solo profundo (Quadro 02). No perfil 10 (Tabela 06 e Quadro 02) foi estudada a mineralogia por PIRES *et al.* (2005), constatando que as frações areia e silte apresentam somente quartzo (não representando a possibilidade de liberação de nutrientes através da intemperização de minerais primários), e na fração argila predomina caulinita, porém com expressiva quantidade de óxidos de Fe e Al amorfo, que possuem alta capacidade de fixação de P.

FIGURA 14 – ÁREA LOCALIZADA NA UNIDADE DE MAPEAMENTO CHa + CHd COM PREPARO INTENSIVO



4.1.2.3 Unidade CHa+RLd – associação Cambissolo Húmico Alumínico típico + Neossolo Litólico Distrófico típico ambos substrato argilitos e arcósios

Esta unidade de mapeamento ocupa área de 112,46 ha (6,16%) na bacia do rio Canguiri (Tabela 03) e 116,02 ha (4,50%) na bacia do rio Timbú (Tabela 04).

Esta unidade de mapeamento ocupa as áreas mais declivosas do terreno nas bacias dos rios Canguiri e Timbú, correspondendo às porções mais dissecadas da paisagem. Esta unidade é representada pelos perfis 07 (Anexo V) e 05 (Quadro 03 e Tabela 07).

Constituem variações desta unidade solos intermediários para Cambissolo Húmico Distrófico típico e Neossolo Regolítico Distrófico típico (perfil 57). Constituem inclusões desta unidade Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos gleicos (perfil 12) em algumas cabeceiras de drenagem, cujo mapeamento não seria possível na escala de trabalho adotada neste mapeamento.

Os solos desta unidade de mapeamento são desenvolvidos à partir do produto do intemperismo de argilitos e arcósios da Formação Guabirotuba (Período Pleistocênico) (PARANÁ, 2001). Ocasionalmente há maior contribuição de arcósios do que argilitos, o que torna os solos ainda mais frágeis.

O relevo encontrado nesta unidade de mapeamento é predominantemente forte ondulado a ondulado, correspondendo às áreas mais declivosas da bacia.

QUADRO 03 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 05 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CHa + RLd - ASSOCIAÇÃO CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO TÍPICO + NEOSSOLO LITÓLICO DISTRÓFICO TÍPICO

Classificação: Neossolo Litólico Distrófico típico
Localização, coordenadas, município, estado: estrada rural próximo a Pousada Quatro Barras, município de Quatro Barras (PR), coordenadas UTM 7191813 m e 689925 m (Fuso 22 S).
Situação e cobertura vegetal: corte de estrada no terço superior de encosta, em área de pastagem de gramíneas, principalmente capim barba de bode (<i>Aristida pallens</i>).
Altitude: 920 m
Geologia: Argilitos e arcósios da formação Guabirotuba (período Quaternário)
Pedregosidade: não pedregoso
Rochosidade: não rochoso
Relevo local: ondulado
Relevo regional: ondulado a forte ondulado
Erosão: laminar ligeira
Drenagem: bem drenado
Uso atual: área de pastagem
Raízes: fasciculadas poucas no horizonte A
Descrição morfológica
A 0-15 cm; bruno (7,5 YR 5/2, úmido) e cinzento (7,5 YR 6/1, seco); franco argilosa; moderada muito pequena granular e pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
AC 15-30 cm; bruno (7,5 YR 5/3, úmido) e bruno-amarelado (10 YR 5/3, seco); argilosa; moderada muito pequena granular e médias a pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana
CR 30-50 cm; coloração variegada composta de bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4, úmido) e amarelo brunado; argilosa; moderada muito pequena blocos subangulares e granular; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
R 50-110 cm ⁺

TABELA 07 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 05 DA UNIDADE DE MAPEAMENTO CHa + RLd - ASSOCIAÇÃO CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO TÍPICO + NEOSSOLO LITÓLICO DISTRÓFICO TÍPICO

Horiz.	Prof. cm	areia	areia	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
		grossa	fina				cmol _c kg ⁻¹					
A	0-15	14	12	40	34	1,18	4,4	2,5	0,55	0,03	3,0	11,3
AC	15-30	4	10	54	32	1,69	2,2	1,5	0,20	0,04	10,7	19,0
CR	30-50	4	10	50	36	1,39	2,0	1,6	0,18	0,06	13,9	20,4

Horiz.	Prof. cm	pH em água	pH em KCl	pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
					mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			%		cmol _c kg ⁻¹ argila
A	0-15	5,4	4,2	4,4	2,2	26,3	7,48	18,8	39,8	28,6	0,2	55,2
AC	15-30	5,2	4,1	4,1	1,3	14,2	3,94	22,9	17,2	73,1	0,2	71,7
CR	30-50	5,3	4,0	4,1	1,4	12,4	3,84	24,2	15,8	78,4	0,2	67,3

São áreas muito declivosas, sendo portanto muito frágeis caso ocupadas. Apesar desta limitação, observou-se no caminhamento das bacias que, em alguns pontos desta unidade de mapeamento, ocorriam núcleos de ocupação urbana, os quais deveriam demandar ações de reassentamento por parte dos órgãos públicos. Raramente foi observado a utilização com culturas agrícolas, limitando-se o uso à cobertura florestal ou campo.

Principalmente os Neossolos Litólicos, por serem solos muito rasos, apresentam limitação pois o substrato dificulta ou impede a penetração do sistema radicular, bem como a água de percolação tem seu fluxo interrompido ou diminuído, expondo estes solos aos efeitos das enxurradas (OLIVEIRA *et al.*, 1992, p. 177).

Devido à pequena profundidade (especialmente os Neossolos) e relevo ondulado a forte ondulado, os solos desta unidade de mapeamento são mais frágeis que os solos das unidades CXvd e CHa+CHd, apresentando restrição à qualquer atividade mecanizada, e apresentando grande risco de erosão hídrica, caso permaneçam sem cobertura vegetal.

Além destes aspectos os solos desta unidade de mapeamento apresentam grande limitação ao cultivo devido à fertilidade natural muito baixa, indicada principalmente pelo caráter alumínico no horizonte subsuperficial (Tabela 07).

Os teores de P (Tabela 07) no Neossolo Litólico podem ser classificados como muito baixos a limitantes à maioria das culturas agrícolas (COMISSÃO, 1995, p. 28). A manutenção de vegetação nativa é a recomendação mais adequada a estes solos, pois se forem cultivados e adubados, apresentam grande susceptibilidade à erosão, e podem contribuir com os processos de assoreamento dos rios, e sedimentação e eutrofização na barragem do rio Iraí.

4.1.2.4 Unidade GXve – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico típico

Esta unidade de mapeamento ocupa área de 217,17 ha (11,90%) na bacia do rio Canguiri (Tabela 03) e 204,35 ha (7,92%) na bacia do rio Timbú (Tabela 04).

Esta unidade de mapeamento ocupa as áreas aplainadas no terço superior e médio das planícies aluviais das bacias dos rios Canguiri e Timbú. Esta unidade é representada pelo perfil 03 (Quadro 04 e Tabela 08).

Constituem variações e inclusões desta unidade: a) Gleissolos Melânicos típicos (perfil 54 – Anexo VI); b) Neossolos flúvicos, nos diques marginais dos cursos d'água.

Os solos desta unidade de mapeamento são desenvolvidos à partir de sedimentos predominantemente argilosos do Holoceno (PARANÁ, 2001).

QUADRO 04 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 03 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO GX_{ve} - GLEISSOLO HÁPLICO TA EUTRÓFICO TÍPICO

Classificação: Gleissolo Háplico Ta Eutrófico típico	
Localização, coordenadas, município, estado: estrada rural próximo a Colônia Faria, Colombo (PR), coordenadas UTM 7195912 m e 687665 m (Fuso 22 S).	
Situação e cobertura vegetal: canal de drenagem na planície aluvial do rio Canguiri, sob cobertura de pastagem	
Altitude: 920 m	
Geologia: sedimentos argilosos do Holoceno	
Pedregosidade: não pedregoso	
Rochosidade: não rochoso	
Relevo local: plano	
Relevo regional: ondulado	
Erosão: não aparente	
Drenagem: mal drenado	
Uso atual: pastagem	
Raízes: fasciculadas comuns no A e poucas no C1	
Outras observações: lençol freático a 77 cm de profundidade	
Descrição morfológica	
Ap	0-12 cm; cinzento-avermelhado-escuro (5 YR 4/2, úmido); franca; fraca a moderada granular muito pequena e média blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
Cg1	12-64 cm; cinzento (N 5/, úmido) mosqueado comum médio distinto vermelho-amarelado (5 YR 5/6, úmido); franca; moderada grande blocos angulares; firme, muito plástico e pegajoso; transição clara e ondulada
Cg2	64-77 cm ⁺ ; cinzento-azulado (5 PB 5/1, úmido); franco argilo arenosa; maciço; firme, muito plástico e pegajoso.

TABELA 08 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 03 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO GX_{ve} - GLEISSOLO HÁPLICO TA EUTRÓFICO TÍPICO

Horiz.	Prof. cm	areia	areia	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
		grossa	fina				cmol _c kg ⁻¹					
		dag kg ⁻¹										
Ap	0-12	10	34	34	22	1,55	7	5	0,17	0,08	0,0	4,3
Cg1	12-64	16	34	28	22	1,27	4,7	3,6	0,06	0,02	0,6	4,6
Cg2	64-77	20	36	24	20	1,20	3,1	2,9	0,07	0,04	1,7	5,0

Horiz.	Prof. cm	pH em água	pH em KCl	pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
					mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			%		cmol _c kg ⁻¹ argila
Ap	0-12	6	5,1	5,4	2,7	29,9	12,3	16,6	74,0	0,0	0,5	75,2
C1g	12-64	5,5	4,3	4,7	1,0	3,9	8,38	13,0	64,6	6,7	0,2	59,0
C2g	64-77	5,4	4,1	4,5	1,5	3,5	6,11	11,1	55,0	21,8	0,4	55,6

Estes solos formam-se pela forte gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, que se processa em meio anaeróbio, com muita deficiência ou mesmo ausência de oxigênio, devido ao encharcamento do solo por longo período ou durante todo o ano (EMBRAPA, 1999, p. 89). Contudo, atualmente alguns solos desta unidade de mapeamento encontram-se drenados, porém ainda conservando as feições gleizadas, características desta classe de solos.

O relevo encontrado nesta unidade de mapeamento é predominantemente plano, desfavorecendo processos erosivos. Porém, estes solos representam maior risco ao cursos d'água por estarem muito próximos aos mesmos, muitas vezes sem vegetação ripária.

Os Gleissolos tem sérias limitações ao uso agrícola, devido à presença de lençol freático elevado e ao risco de inundações e alagamentos freqüentes, embora a drenagem possa torná-los aptos a atividades como cultivo de arroz, pastagens e olericultura (OLIVEIRA *et al.*, 1992, p. 168).

Foi observado no caminhar nas bacias estudadas, que grande parte dos solos desta unidade de mapeamento são ocupadas principalmente com pastagens (Figura 15), olericultura (Figura 16), e tanques utilizados em irrigação, piscicultura, ou paisagismo e recreação (Figura 17). Em alguns locais, estes solos também encontram-se antropizados, através da execução de aterros para construção de obras civis, como estradas rurais ou residências.

FIGURA 15 – PAISAGEM DE OCORRÊNCIA DA UNIDADE DE MAPEAMENTO GXve (EM PRIMEIRO PLANO) UTILIZADO COM PASTAGENS



FIGURA 16 – USO DE SOLOS DA UNIDADE DE MAPEAMENTO GXve COM OLÉRICULTURA



FIGURA 17 – USO DE SOLOS DA UNIDADE DE MAPEAMENTO GXve COM TANQUE E RESIDÊNCIA



Com relação ao P, observa-se que os teores deste elemento (Tabela 08) podem ser classificados como limitantes à maioria das culturas agrícolas (COMISSÃO, 1994, p. 28). Em condições de inundação, a disponibilidade deste elemento tende a aumentar em Gleissolos, e a diminuir quando ocorre a drenagem (MORAES e DYNIA, 1992), como é caso do perfil 05 e muitas áreas nas bacias estudadas.

A ocupação desordenada desta unidade de mapeamento deve ser analisada como um fator limitante à qualidade da água nas bacias estudadas, devido à contribuição de

sedimentos e nutrientes provenientes das lavouras, criações, piscicultura e esgotos de residências rurais. Por este motivo, é necessário um particular cuidado com estas áreas para evitar que continue o processo de retirada da vegetação ripária nesta unidade de mapeamento, e substituição do solo natural por áreas de aterro.

O ambiente da unidade de mapeamento GXve também é muito frágil devido a proximidade do lençol freático da superfície do solo, e possibilidade de dissolução dos óxidos de Fe (devido às condições de redução). Por estes motivos deveriam ser áreas destinadas à preservação permanente e/ou revegetação das áreas já ocupadas.

4.1.2.5 Unidade OYs – Organossolo Méstico Sáprico típico

Esta unidade de mapeamento ocupa área de 156,91 ha (8,60%) na bacia do rio Canguiri (Tabela 03) e 307,97 ha (11,93%) na bacia do rio Timbú (Tabela 04), sendo encontrada em áreas amplas e aplainadas no terço inferior e médio das planícies aluviais das bacias dos rios Canguiri e Timbú. Esta unidade é representada pelo perfil 08 (Quadro 05 e Tabela 09). Deve ser ressaltado que o perfil 08 (Quadro 05) foi drenado há cerca de dez anos, e o horizonte H apresenta 51 cm, enquanto nos pontos de observação avaliados nestas bacias, em condições de drenagem natural (muito mal drenado), o horizonte H possui mais de 1,2 m de profundidade. Nestes locais muito mal drenados não havia possibilidade de escavação de perfil, tendo sido avaliados com o auxílio do trado. Constituem inclusões desta unidade Neossolos flúvicos, nos diques marginais dos principais cursos d'água.

Os Organossolos são solos formados pela progressiva acumulação, em ambiente palustre, de resíduos mormente vegetais, que, com o passar do tempo, vão se decompondo em produtos orgânicos transformados (OLIVEIRA *et al.*, 1992, p. 187). Segundo estes autores, a drenagem acelera a oxidação da matéria orgânica nos primeiros anos, bem como apresentam dificuldade de se hidratarem após a secagem.

O relevo encontrado nesta unidade de mapeamento é predominantemente plano, restringido o risco de erosão. Porém estes solos devem representar risco à eutrofização dos corpos d'água por estarem muito próximos aos mesmos. Além disto, o lençol freático encontra-se usualmente à superfície durante todo o ano (exceto nas áreas drenadas), o que pode facilitar a contaminação do mesmo por nutrientes.

QUADRO 05 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 08 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO OYs - ORGANOSSOLO MÉSICO SÁPRICO TÍPICO

Classificação: Organossolo Mésico Sápico típico	
Localização, coordenadas, município, estado: Estação Experimental do Canguiri, município de Pinhais (PR), coordenadas UTM 7190095 m e 688078 m (Fuso 22 S).	
Situação e cobertura vegetal: perfil de solo situado ao lado de dreno, em planície aluvial, com sucessão secundária inicial	
Altitude: 905 m	
Geologia: Sedimentos argilosos do Holoceno	
Pedregosidade: não pedregoso	
Rochosidade: não rochoso	
Relevo local: plano	
Relevo regional: suave ondulado	
Erosão: não aparente	
Drenagem: mal drenado	
Uso atual: área de lavoura, em pousio há cerca de 10 anos	
Outras observações: a área foi drenada há cerca de 10 anos. Lençol freático a 166 cm de profundidade.	
Descrição morfológica	
H	0-51 cm; preto (2,5 YR 2,5/1, seco e úmido); siltosa; forte grande colunar que se desfaz em grande blocos subangulares; poros muito pequenos e poucos; duro, muito firme, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição gradual e plana.
A1	51-96 cm; franco argilo siltosa; estrutura maciça; ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana
A2	96-146 cm; preto (5 YR 2,5/1, seco e úmido); franco siltosa; maciça que se desfaz em grande blocos subangulares; poros poucos e grandes; muito duro, ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
Cg	146-166 cm ⁺ ; franco argilosa; estrutura maciça; muito plástico e pegajoso

TABELA 09 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 08 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO OYs - ORGANOSSOLO MÉSICO SÁPRICO TÍPICO

Horiz.	Prof. cm	Areia grossa	areia fina	Silte	Argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
H	0-51	2	88	10	8,80	1,3	1,3	0,09	0,05	8,1	19,0	
A1	51-96	2	4	56	38	1,47	1,0	1,0	0,04	0,04	7,6	16,3
A2	96-146	2	78	20	3,90	0,8	0,8	0,04	0,03	7,0	14,1	
Cg	146-166	6	16	40	38	1,05	0,8	0,8	0,04	0,03	6,0	15,2

Horiz.	Prof. cm	pH em CaCl ₂	P mg kg ⁻¹	C orgânico g kg ⁻¹	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
H	0-51	4,0	2,8	173	2,24	21,2	10,5	78,3	0,2	
A1	51-96	4,1	0,7	23,2	1,78	18,1	9,8	81,0	0,2	47,6
A2	96-146	4,2	1,0	47,4	1,47	15,6	9,4	82,6	0,2	77,9
Cg	146-166	4,0	0,6	2,7	1,47	16,7	8,8	80,3	0,2	43,9

Apesar destas limitações, foi observado no caminhamento nas bacias, que os solos desta unidade de mapeamento encontram-se antropizados, através da execução de aterros para construção de obras civis, como casas, indústrias ou estradas rurais.

A ocupação desordenada desta unidade de mapeamento deve ser analisada como um fator limitante à qualidade da água nas bacias estudadas, devido à contribuição de nutrientes e poluentes que pode gerar. Pelo menos 30 m de cada lado dos cursos de água nestas áreas deveria permanecer como área de preservação permanente, conforme prevê o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 1965) com suas alterações, devendo ser proibida a retirada da vegetação ripária nesta unidade de mapeamento, bem como a execução de aterros.

Além destes aspectos os solos desta unidade de mapeamento apresentam fertilidade natural muito baixa (Tabela 09). A correção da acidez destes solos exigiria elevada quantidade de calcário, devido ao elevado poder tampão da matéria orgânica presente.

O P neste solo é classificado como limitante à maioria das culturas agrícolas (COMISSÃO, 1995, p. 28) em sua condição natural (Tabela 09), não representando maior risco de eutrofização ao corpos d'água, salvo se artificialmente drenado e adubado. Caso adubado, os solos desta unidade de mapeamento poderiam apresentar grande risco de eutrofização aos corpos d'água pois: a) o lençol freático encontra-se muito próximo ou na superfície do terreno (Quadro 05); b) esta unidade de mapeamento encontra-se na planície aluvial (Figuras 12 e 13), muito próxima aos cursos d'água superficiais; c) as condições hidromórficas existentes no perfil 08 determinam a presença de baixos conteúdos de óxidos cristalinos de Fe, que poderiam auxiliar na retenção do P (PIRES *et al.*, 2005).

4.1.2.6. Unidade LVd – Latossolo Vermelho Distrófico típico

Esta unidade de mapeamento ocupa área de 120,12 ha (6,58%) na bacia do rio Canguiri (Tabela 03) e 83,5 ha (3,23%) na bacia do rio Timbú (Tabela 04), sendo encontrada em pedimentos amplos, entre as encostas e a planície aluvial, principalmente na porção meridional da bacia do rio Canguiri. O perfil 06 (Quadro 06 e Tabela 10) representa esta unidade de mapeamento. Constituem inclusões desta unidade Cambissolos Húmicos Distróficos típicos (perfil 04 – Anexo V).

QUADRO 06 - DESCRIÇÃO DO PERFIL 06 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO LVd - LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO

<p>Classificação: Latossolo Vermelho Distrófico típico</p> <p>Localização, coordenadas, município, estado: próximo ao antigo estábulo leiteiro do Centro de Estações Experimentais do Canguiri (UFPR), Pinhais (PR), coordenadas UTM 7190116 m e 688895 m (Fuso 22 S).</p> <p>Situação e cobertura vegetal: perfil de solo no terço inferior de encosta, em área de pousio de milho</p> <p>Altitude: 905 m</p> <p>Geologia: Argilitos da formação Guabirotuba (período Quaternário)</p> <p>Material originário: produto da alteração e retrabalhamento da rocha supracitada</p> <p>Pedregosidade: não pedregoso</p> <p>Rochosidade: não rochoso</p> <p>Relevo local: plano</p> <p>Relevo regional: suave ondulado</p> <p>Erosão: não aparente</p> <p>Drenagem: bem drenado</p> <p>Uso atual: pousio</p> <p>Raízes: presentes até o Bw2</p> <p>Outras observações: linha de pedras, composta por seixos rolados (cascalho e calhaus) de quartzo na transição do horizonte Bw2 para o 2B3. Perfil coletado úmido.</p>	
<p>Descrição morfológica</p>	
A1p	0-17 cm; preto avermelhado (2,5 YR 2,5/1, úmido) e preto avermelhado (2,5 YR 2,5/1, úmido amassado); franco argilosa; maciça que se desfaz em moderada média a grande blocos angulares; poros pequenos; muito firme, plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.
A2	17-45 cm; bruno amarelado escuro (10 YR 3/4, úmido) e vermelho muito escuro acinzentado (2,5 YR 2,5/2, úmido amassado); argilosa; maciça que se desfaz em moderada média a grande blocos angulares; poros pequenos; friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana
AB	45-62 cm; vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmido) e bruno (7,5 YR 4/4, úmido amassado); argilosa; moderada muito pequena a pequena blocos angulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
BA	62-82 cm; vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido) e vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmido amassado); argilosa; poros médios; moderada muito pequena a pequena blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
Bw1	82-107 cm; vermelho (2,5 YR 4/8, úmido); argilosa; moderada pequena blocos subangulares; poros pequenos; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
Bw2	107 a 165 cm; vermelho (10 YR 4/8, úmido); argilosa; moderada pequena a média blocos subangulares; poros pequenos; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.
2B	165-200 cm ⁺ ; vermelho (2,5 YR 4/8, úmido); argilosa; moderada a forte média blocos angulares; poros pequenos; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

TABELA 10 – ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 06 REPRESENTATIVO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO LVd - LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	Areia fina	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
A1p	0-17	10	12	42	36	1,17	7,1	4,4	0,26	0,02	0,0	6,7
A2	17-45	8	22	24	46	0,52	1,1	1,4	0,07	0,01	1,3	8,4
AB	45-62	8	22	26	44	0,59	1,0	1,0	0,05	0,01	1,1	7,8
BA	62-82	10	22	20	48	0,42	1,0	1,0	0,05	0,04	0,5	6,2
Bw1	82-107	10	22	20	48	0,42	0,8	0,7	0,04	0,16	0,2	5,0
Bw2	107-165	14	24	14	48	0,29	0,6	0,4	0,02	0,01	0,2	4,3
2B	165-200	8	16	22	54	0,41	0,6	0,4	0,05	0,01	3,8	13,1

Horiz.	Prof. cm	pH em água	pH em KCl	pH em CaCl ₂	P mg kg ⁻¹	C orgânico g kg ⁻¹	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC cmol _c kg ⁻¹ argila
A1p	0-17	5,9	5,0	5,3	1,5	40,2	11,8	18,5	63,7	0,0	0,1	51,3
A2	17-45	5,4	4,2	4,5	0,2	19,0	2,58	11,0	23,5	33,5	0,1	23,9
AB	45-62	5,4	4,3	4,5	0,2	14,2	2,06	9,9	20,9	34,8	0,1	22,4
BA	62-82	5,4	4,3	4,5	0,3	10,6	2,09	8,3	25,2	19,3	0,5	17,3
Bw1	82-107	5,6	4,7	4,8	0,4	9,4	1,7	6,7	25,4	10,5	2,4	14,0
Bw2	107-165	5,5	4,5	4,6	0,1	2,7	1,03	5,3	19,3	16,3	0,2	11,1
2B	165-200	5,0	4,0	4,2	0,2	1,5	1,06	14,2	7,5	78,2	0,1	26,2

Os solos desta unidade de mapeamento são desenvolvidos à partir do produto do intemperismo de argilitos da Formação Guabirotuba (Período Pleistocênico) (PARANÁ, 2001). Porém, o material intemperizado deve ter sido provavelmente retrabalhado das encostas à montante das posições nas quais se encontram os solos desta unidade de mapeamento, evidenciado pela presença de linha de pedras encontrada no perfil 06 (Quadro 06). Possivelmente houveram processos de rebaixamento dos topos da paisagem, que devem ter transportado materiais pré-intemperizados para cotas mais baixas, onde se desenvolveram os Latossolos da unidade de mapeamento LVd.

Os Latossolos são solos com horizonte B latossólico, em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações do material constitutivo, virtualmente desprovidos de minerais primários e secundários menos resistentes ao intemperismo (EMBRAPA, 1999, p. 91).

O relevo nesta unidade de mapeamento é predominantemente plano a suave ondulado. Por se tratarem de áreas aplainadas e bem drenadas, de modo geral as áreas desta unidade de mapeamento estão ocupadas por lavouras e criações, estradas rurais, e residências.

Devido à drenagem, profundidade e relevo, os solos desta unidade de mapeamento não apresentam maiores restrições às atividades mecanizadas.

A maior limitação destes solos para uso agrícola é a baixa fertilidade natural, indicada pela elevada acidez, baixos teores de nutrientes e baixa saturação de bases. A

correção destes aspectos, promovida pela atividade agrícola, como pode ser observado no horizonte A1p do perfil 06 (Tabela 10), pode causar a elevação do pH, saturação de bases e teor de nutrientes, como o P. Deve ser destacada a capacidade destes solos em reter P, dificultando a lixiviação, por serem muito profundos (Quadro 06) e terem elevado teor de argila (Tabela 10). Assim, segundo BENNETT *et al.* (2001), a principal perda de P destes solos é na forma particulada, através da erosão. Uma vez dentro do reservatório passam a atuar processos de liberação deste P no hipolímnio anaeróbico. Por este motivo, são necessárias precauções simples com os aspectos relacionados à conservação do solo, pois esta unidade de mapeamento apresenta relevo e textura pouco favoráveis à erosão.

4.1.2.7 Unidade Tipo de Terreno – Área Urbana

Conforme descrito no capítulo Material e Métodos, a unidade Tipo de Terreno (área urbana) foi identificada à partir da interpretação do recorte das ortofotos digitais (Figura 02).

Esta unidade de mapeamento compreende desde áreas de relevo ondulado a forte ondulado (originalmente ocupadas pelas unidades de mapeamento CHa+CHd e CHa+RLd) até áreas mais planas (originalmente ocupadas pelas unidades de mapeamento LVd, GXve e OYs) nas bacias dos rios Canguiri e Timbú.

Alguns aspectos caracterizados por CURCIO *et al.* (2004, p. 20) são encontrados nesta unidade de mapeamento, identificando a ocorrência da antropogênese: a) inversão e/ou mistura de horizontes genéticos ou diagnósticos; b) presença de materiais antrópicos (plásticos, papéis, ossos, vidros, cerâmicas, concreto, materiais de reboco, calças, e embalagens diversas); c) remoção de horizontes do solo pelo homem, manualmente ou pela utilização de máquinas e/ou implementos; d) modificações na paisagem ocasionadas pelo homem através da ação de máquinas e/ou implementos.

Na Figura 18 pode ser observado que a implantação de casas, indústrias, calçamento e asfaltamento gerou uma modificação profunda na paisagem natural e nos solos subjacentes. Em função destes aspectos, a capacidade destes solos em absorver e reter água provavelmente foi reduzida ou mesmo eliminada.

Em regiões urbanas, a ocupação desordenada do espaço provoca a exposição do solo, a degradação de margens e encostas, resultando no assoreamento e carreamento de grande quantidade de solo para os corpos d'água (BARBOSA e GARCIA, 2003, p. 129).

Esta unidade de mapeamento ocupa área de 296,49 ha (16,24%) na bacia do rio Canguiri (Tabela 03) e 793,87 ha (30,76%) na bacia do rio Timbú (Tabela 04). Deve ser ressaltado que as áreas urbanas, na bacia do rio Iraí aumentaram 360% no período de 1976 a 1999, enquanto as áreas de agricultura intensiva, aumentaram apenas 32% no mesmo

período (JACOBS e RIZZI, 2003, p. 121). Observa-se que a maior antropização do solos ocorre na bacia do rio Timbú, ocupando quase um terço da bacia (Tabela 04). Este fato se reflete na grande contribuição aos níveis de eutrofização à bacia do Iraí, pois estima-se que este rio contribui com cerca de 93% da carga pontual de P solúvel e 91% da carga de N total aportada ao reservatório do rio Iraí (BOLLMANN e ANDREOLI, 2005, p. 115).

FIGURA 18 – PAISAGEM DE OCORRÊNCIA DA UNIDADE DE MAPEAMENTO TIPO DE TERRENO – ÁREA URBANA



A maior parte dos solos desta unidade de mapeamento poderia ser incluída na classe Antropossolos, proposta por CURCIO *et al.* (2004, p. 21), “que inclui volumes constituídos por várias ou apenas uma camada antrópica, possuindo 40 cm ou mais de espessura, constituída por material orgânico e/ou inorgânico, em diferentes proporções, formado exclusivamente por intervenção humana, sobrejacente a qualquer horizonte pedogenético, ou saprólitos de rocha, ou rocha não intemperizada”.

Os Antropossolos desta unidade de mapeamento são desenvolvidos, em sua maioria, à partir de solos ou do produto do intemperismo originados dos argilitos e arcósios da Formação Guabirotuba (Período Pleistocênico), na qual podem se diagnosticar (PARANÁ, 2001): a) Problemas relacionados à expansão e contração das argilas, com mais susceptibilidade à erosão; b) Processos de ravinamento quando da retirada da camada superficial de solo que atua como agente de proteção da unidade; c) Baixa capacidade de absorção e percolação de águas (elevada impermeabilidade), restringindo loteamentos populares com conseqüente produção de alta densidade de esgotos.

Além disto, durante a realização das obras de engenharia, os solos tendem a se tornar mais impermeáveis, devido à compactação provocada por máquinas, materiais de construção e operários.

A urbanização destas áreas implica, muitas vezes na retirada de um ou mais horizontes do solo, o que corresponderia aos Antropossolos Decapíticos sugeridos por CURCIO *et al.* (2004, p. 26) , e expõe os materiais da Formação Guabirotuba. Quando os solos são mais rasos e declivosos, como nas áreas originalmente ocupadas pela unidade de mapeamento CHa+RLd, estes problemas tendem a se expressar de maneira mais intensa. Além destes aspectos os solos desta unidade de mapeamento apresentam grande limitação ao desenvolvimento das plantas, pois estes Antropossolos são derivados de solos de baixa fertilidade natural (descritos anteriormente), inclusive com caráter alumínico, especialmente nos horizontes B (quando existente) e C. Em função disto, há dificuldade da vegetação se estabelecer em locais como terrenos abandonados, favorecendo a erosão (Figura 19).

FIGURA 19 – OCORRÊNCIA DE EROSÃO APÓS A REMOÇÃO ANTRÓPICA DOS HORIZONTES SUPERFICIAIS NA UNIDADE DE MAPEAMENTO TIPO DE TERRENO – ÁREA URBANA



No caso dos Antropossolos, formados sobre a Formação Guabirotuba, que receberam principalmente restos de construção, LIMA (2001, p. 238) observou que estes solos freqüentemente sofrem alterações em suas características granulométricas e

químicas, tais como aumento da densidade do solo, do teor de areia e da saturação de bases, além da redução da saturação de Al.

Por outro lado, próximo aos rios, os Antropossolos desta unidade de mapeamento são formados sobre solos originalmente hidromórficos, correspondentes às unidades de mapeamento GXve e OYs, derivados de sedimentos predominantemente argilosos (Holoceno). Estes solos foram aterrados para construção de residências e ruas, e corresponderiam aos Antropossolos Sômicos propostos por CURCIO *et al.* (2004, p. 27), que descaracterizam o ambiente ripário e expõem os cursos dos rios a riscos de contaminação por nutrientes ou produtos tóxicos.

É comum se observar nestas duas bacias que, muito embora exista sistema de coleta de esgotos, nem sempre toda a rede doméstica está ligada à mesma, havendo a destinação de efluentes diretamente no rio ou em valetas a céu aberto. Este fato pode aumentar o potencial de contaminação dos rios com P e N, e inclusive causar problemas relacionados a aspectos de saúde pública. Observou-se inclusive a presença de uma rodovia federal e estradas secundárias cruzando estas áreas, com potencial risco de contaminação por combustíveis e/ou produtos tóxicos em caso de acidente.

4.1.3 Aplicação dos mapas de classes de declividade do terreno e mapas de solos das bacias dos rios Canguiri e Timbú

O levantamento pedológico da bacia a montante da barragem forneceu informações importantes como classe e profundidade dos solos, e declividade do terreno, que foram posteriormente utilizados em outros projetos do Programa Interdisciplinar de Pesquisa sobre Eutrofização de Águas na Bacia do Altíssimo Iguaçu.

Os dados pedológicos e de classes de declividade do terreno gerados no escopo deste trabalho permitem auxiliar a geração destes mapas de fragilidade dos ambientes, conforme a metodologia desenvolvida por ROSS (1994), que hierarquiza cinco classes de fragilidade (muito baixa, baixa, média, alta, muito alta), com base em produtos cartográficos temáticos, que envolvem, além da pedologia, dados de geomorfologia, geologia, climatologia e uso da terra. Esta metodologia foi aplicada nas bacias dos rios Nhundiaquara (SILVA, 2001), Palmital (BIANCHINI *et al.*, 2003), Xaxim (GHEZZI, 2003), e Fervida e Ribeirão das Onças (FLORIANI, 2003), todas no sul do Paraná. Nesta avaliação, além destes dois fatores, ainda são considerados o uso atual e a distância dos recursos hídricos (rios e represa) (SOUZA *et al.*, 2005).

Com base nos mapas pedológicos e de declividade do terreno, produzidos neste trabalho, foram elaborados por DONHA *et al.* (2003) os mapas de fragilidade potencial e

emergente das bacias dos rios Canguri e Timbú, utilizando a metodologia descrita por ROSS (1994), com precisão melhor do que seria obtida utilizando os levantamentos de solos em escala 1:300.000 (EMBRAPA, 1974) e 1:600.000 (EMBRAPA, 1984). Os dados pedológicos produzidos neste trabalho foram adequados para fins de estudo de fragilidade ambiental das bacias. No entanto, ainda pode ser produzido um mapa mais detalhado, tanto em termos de unidades de mapeamento, quanto de escala final, que poderia ser útil a estudos que demandam maior precisão, como a capacidade de uso dos solos (LEPSCH *et al.*, 1991). Obviamente que um maior detalhamento do levantamento permite a identificação de mais unidades de mapeamento, que constam como inclusões, como pode ser observado em DONHA (2003, p. 35) no levantamento na Estação Experimental do Canguiri da UFPR.

4.2 EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO EXPLORATÓRIA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES

4.2.1 Experimento de verão

Os rendimentos de massa fresca e massa seca totais (Tabela 11) do aguapé foram significativamente superiores aos demais tratamentos, e da alface d'água foi superior à lentilha d'água. O aguapé também apresentou maior massa seca e fresca da parte aérea e raízes em relação à alface d'água (Tabela 12).

A relação raízes/parte aérea da massa fresca do aguapé pode ser equiparada ao da alface d'água, não havendo diferença significativa entre as espécies (Tabela 12).

A massa seca da parte aérea (Tabela 12), não apresentou diferença significativa entre o aguapé e a alface d'água. Porém, o aguapé apresentou significativamente maior rendimento de massa seca de raízes (138 g m⁻² em média) em relação à alface d'água (56 g m⁻²).

TABELA 11 – MASSA FRESCA E SECA TOTAL, EM TRÊS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE VERÃO

ESPÉCIE	MASSA FRESCA TOTAL (g m ⁻²)	MASSA SECA TOTAL (g m ⁻²)
Aguapé	4391 a	224 a
Alface	2070 b	116 b
Lentilha	305 c	26 c
DMS	1410	74
CV %	43,86	42,37

NOTAS: Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. DMS = Diferença mínima significativa. C.V. = Coeficiente de variação.

TABELA 12 – MASSA DA PARTE AÉREA E RAÍZES E RELAÇÃO MASSA RAÍZES/PARTE AÉREA, EM AGUAPÉ E ALFACE D'ÁGUA, NO EXPERIMENTO DE VERÃO

ESPÉCIE	MASSA FRESCA PARTE AÉREA (g m ⁻²)	MASSA FRESCA RAÍZES (g m ⁻²)	RELAÇÃO RAÍZES/AÉREA (MASSA FRESCA)	MASSA SECA PARTE AÉREA (g m ⁻²)	MASSA SECA RAÍZES (g m ⁻²)	RELAÇÃO RAÍZES/AÉREA (MASSA SECA)
Aguapé	1596 a	2796 a	1,75 a	86 a	138 a	1,60 a
Alface	717 b	1354 b	1,89 a	61 a	56 b	0,92 b
C.V. %	25,25	28,54	22,83	24,39	27,26	19,89

NOTAS: Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste F. C.V. = Coeficiente de variação.

Observa-se que o aguapé apresentou maior relação massa seca de raízes/parte aérea, do que a alface d'água (Tabela 12), o que se reflete no rendimento total de massa seca (Tabela 11). O motivo para a superioridade do aguapé nestas variáveis, pode ser explicado pelo fato do aguapé ser uma planta que usualmente apresenta raízes longas (até um metro), explorando diretamente maior volume de água, enquanto a alface d'água apresenta raízes mais curtas, com aproximadamente 20 a 30 cm de comprimento (MANFRINATO,1991; POLI *et al.*, 1999).

A grande diferença de peso encontrado na massa fresca (4391 g m⁻²) e na massa seca (224 g m⁻²) deve-se ao fato do aguapé ser uma planta composta por cerca de 950 g água por kg matéria fresca, segundo MANFRINATO (1991). O dado deste autor foi semelhante ao encontrado para o aguapé neste experimento, ou seja, 949 g água por kg matéria fresca (conforme dados da Tabela 11). Além do baixo conteúdo de matéria seca, outro inconveniente do aguapé é a necessidade do mesmo ser triturado e moído para o seu uso, pois apresenta grande volume após secagem. Estes processos seriam dispensados no caso da lentilha d'água, a qual, após a secagem, já está adequada ao uso como adubo orgânico ou em rações, apesar de apresentar massa seca média de 26 g m⁻², quantidade bastante inferior a do aguapé.

A alface d'água também apresentou elevada quantidade de água na matéria seca (944 g água por kg de matéria fresca), o que é um valor maior que o descrito por KLEIN e AMARAL (1998, p. 38) que citam 901 g água por kg de matéria fresca.

A quantidade de N encontrada na parte aérea do aguapé e do alface d'água (Tabela 13) não apresentou diferença estatisticamente significativa. Porém, quando se compara raízes e parte aérea do aguapé, nota-se diferença significativa para N e K (Tabela 13), embora a massa seca das raízes seja maior que a parte aérea.

TABELA 13 – CONCENTRAÇÃO DE N, P, K, Na, Mg, Ca, Al, Cu, Zn, Mn E Fe NA MASSA SECA DE TRÊS MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE VERÃO

ESPÉCIE	g kg ⁻¹							mg kg ⁻¹			
	N	P	K	Na	Mg	Ca	Al	Cu	Zn	Mn	Fe
Aguapé aérea	28,9a	1,72a	44,8a	5,1b	6,2ab	19,9b	0,001b	13b	65b	916ab	116b
Aguapé raízes	11,8b	1,33a	17,6c	30,0a	7,9a	9,1c	1,7a	16a	112a	1171a	4002a
Alface aérea	25,3a	1,19a	28,0b	15,1ab	5,7b	36,9a	0,008b	15ab	81ab	593b	136b
Lentilha (total)	26,1a	1,46a	12,6c	7,8b	1,91c	18,1b	0,17b	10c	61b	557b	759b
DMS	5,7	0,89	6,6	19,0	2,0	6,1	0,28	2,4	41	428	918
C.V. (%)	16,3	41,4	17,0	86,8	24,7	19,2	38,9	11,7	34,2	35,0	48,5

NOTAS: Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. DMS = diferença mínima significativa. C.V. = Coeficiente de variação.

A concentração de P na planta não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 13). Estes teores de P estão abaixo daqueles descritos por REDDY *et al.* (1990) para o máximo rendimento do aguapé em torno de 4,3 g P kg⁻¹ de matéria seca. Deve ser considerado, porém, que devido ao maior rendimento de massa seca (Tabela 11), a quantidade total de P (Tabela 14) que o aguapé acumulou é maior que a extraída pelas outras espécies estudadas. Se for possível extrapolar os resultados da Tabela 14 para uma área maior, estima-se que, no período do experimento, o aguapé acumulou o equivalente a 3,3 kg P ha⁻¹ (ou 38,4 g ha⁻¹ dia⁻¹), seguido da alface d'água com aproximadamente 1,6 kg P ha⁻¹ (ou 18,6 g P ha⁻¹ dia⁻¹) e da lentilha d'água com 0,4 kg P ha⁻¹ (ou 4,7 g P ha⁻¹ dia⁻¹). Estes números são expressivos se for considerado que a área da lâmina da água da barragem do rio Iraí (12,47 km²) e o tempo de residência de 187 dias (VEIGA, 2001, p. 95), bem como a água do lago se encontra mais eutrofizada que neste experimento, e a entrada de P na barragem é estimada em 14,6 kg dia⁻¹, dos quais 93% provenientes do rio Timbú (BOLLMANN e FREIRE, 2003, p. 6). Isto demonstra o potencial de mitigação do aporte de P à barragem do rio Iraí, com a instalação de tanques de aguapé na entrada do rio Timbú. O problema reside justamente na operacionalização da retirada constante do excesso de biomassa produzida com alta porcentagem de água (949 g água por kg de matéria fresca) e volume, e na redução do desenvolvimento do aguapé durante o inverno (ver item 4.1.2).

A concentração de K encontrada na parte aérea do aguapé foi maior que na alface d'água, e esta em relação à lentilha d'água (Tabela 13).

Diante dos resultados encontrados de concentração de P (Tabela 15) presente na água dos tanques no momento da colheita, pode-se observar que não houve diferença significativa entre os três tratamentos, possivelmente em função da constante renovação da água. Embora não ocorra diferença significativa na concentração deste nutriente na matéria

seca entre os tratamentos (Tabela 13), observa-se que a quantidade extraída foi maior no caso do aguapé (Tabela 14). Por outro lado, o teor de P na água deste experimento é relativamente baixo, podendo ser classificado como ultraoligotrófico (SPERLING, 1996, p. 157). Segundo REDDY *et al.* (1990) a produtividade do aguapé é reduzida à metade se a concentração estiver abaixo de $0,06 \text{ mg P dm}^{-3}$. Em estudo com ambiente controlado, PETRUCIO e ESTEVES (2000a) observaram que o aguapé aumenta a absorção de P com a elevação da concentração deste elemento na água de $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ para 3 mg dm^{-3} , porém mostraram que não ocorreu maior absorção quando esta concentração foi elevada para 6 mg dm^{-3} . Na represa do rio Iraí as concentrações deste elemento são consideravelmente mais elevadas, estando acima de 30 mg P dm^{-3} em 70% da amostragens efetuadas por CARNEIRO *et al.* (2003, p. 9) ao longo de um ano. Deve ser considerado, ainda, que REDDY *et al.* (1990) enfatizam que concentrações de P maiores que $1,06 \text{ mg dm}^{-3}$ não aumentam o rendimento de biomassa do aguapé, muito embora possa haver acúmulo de P sem aumento de massa.

TABELA 14 – QUANTIDADE DE N, P, K, Na, Mg, Ca, Al, Cu, Zn, Mn E Fe NA MASSA SECA DE TRÊS MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE VERÃO (PERÍODO DE 86 DIAS)

ESPÉCIE	-----g m ⁻² -----							-----mg m ⁻² -----			
	N	P	K	Na	Mg	Ca	Al	Cu	Zn	Mn	Fe
Aguapé aérea	2,52a	0,15ab	3,78a	0,51b	0,53b	1,66ab	0,0b	1,12b	5,4b	72b	9b
Aguapé raízes	1,64ab	0,18a	2,43ab	4,60a	1,07a	1,26bc	0,24a	2,17a	15,4a	160a	562a
Alface aérea	1,54ab	0,08bc	1,71bc	0,86b	0,35bc	2,18a	0,0b	0,88b	4,9b	38bc	8b
Lentilha (total)	0,68b	0,04c	0,35c	0,22b	0,05c	0,50c	0,0b	0,26c	1,8b	15c	19b
DMS	1,19	0,08	1,44	3,54	0,30	0,85	0,06	0,59	4,5	43	164
C.V. (%)	49	49	46	151	40	40	61	35	43	40	72

NOTAS: Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. DMS = diferença mínima significativa. C.V. = Coeficiente de variação.

Segundo TRIPATHI e SHUKLA (1991), o aguapé tem boa capacidade de absorver elementos químicos da água, especialmente o N e P, que são os que mais contribuem aos processos de eutrofização. Os dados de concentração de P solúvel, no momento da colheita, foram semelhantes entre o aguapé, a lentilha d'água e a alface d'água (Tabela 15), assim como as concentrações na planta (Tabela 13). Porém a quantidade de P extraída por parcela foi superior no caso das raízes do aguapé (Tabela 14), em relação aos demais componentes analisados. Apesar da renovação constante da água, houve menor concentração de nitrato nas parcelas com lentilha d'água e a alface d'água em relação ao aguapé (Tabela 15).

Estes dados exploratórios permitem vislumbrar o potencial destas plantas, especialmente o aguapé, para a remoção de nutrientes. Embora não tenha sido avaliado, também pode ser considerado o papel na redução da entrada de luz no epilímnio no período de verão.

TABELA 15 – CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO E NITRATO SOLÚVEIS NO MOMENTO DA COLHEITA, EM DUAS PROFUNDIDADES, NA ÁGUA DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS CULTIVADAS COM DIFERENTES ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE VERÃO

	FÓSFORO (mg dm ⁻³)			NITRATO (mg dm ⁻³)		
	10 cm	30 cm	Média	10 cm	30 cm	Média
Aguapé	0,606	0,659	0,632 a	0,121	0,152	0,137 a
Lentilha	0,591	0,568	0,579 a	0,021	0,015	0,018 b
Alface	0,629	0,606	0,617 a	0,010	0,003	0,007 b
Média	0,608	0,611		0,051	0,057	

NOTAS: Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. DMS(P coluna)=0,094 mg dm⁻³ e DMS(NO₃⁻ coluna) = 0,052 mg dm⁻³. C.V.(P) =16,7% e C.V.(NO₃⁻)=104%

4.2.2 Experimento de inverno

O rendimento de massa seca e fresca total (Tabela 16) da alface d'água foi superior aos demais tratamentos, e o aguapé apresentou maior rendimento de massa fresca que a lentilha d'água. Este aspecto reflete situação contrária ao período de verão, quando o aguapé apresentou desenvolvimento superior à alface d'água e lentilha d'água (Tabela 11).

TABELA 16 – MASSA FRESCA E SECA TOTAL, EM TRÊS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE INVERNO

ESPÉCIE	MASSA FRESCA TOTAL	MASSA SECA TOTAL
	(g m ⁻²)	(g m ⁻²)
Aguapé	1948 b	107 b
Alface	2828 a	194 a
Lentilha	886 c	98 b
DMS	745	50
CV %	27,7	26,4

NOTAS: Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. DMS = diferença mínima significativa. C.V. = Coeficiente de variação.

A alface d'água também apresentou maior massa seca e fresca da parte aérea em relação ao aguapé (Tabela 17). Também pode ser observado que, de modo semelhante ao experimento de verão (Tabela 12), a massa fresca das raízes foi maior que a massa seca da parte aérea (Tabela 17), tanto no aguapé quanto na alface d'água (Figura 20).

TABELA 17 – MASSA DA PARTE AÉREA E RAÍZES E RELAÇÃO MASSA RAÍZES/PARTE AÉREA, NO AGUAPÉ E ALFACE D'ÁGUA, NO EXPERIMENTO DE INVERNO

ESPÉCIE	MASSA FRESCA PARTE AÉREA (g m ⁻²)	MASSA FRESCA RAÍZES (g m ⁻²)	RELAÇÃO RAÍZES/AÉREA (MASSA FRESCA)	MASSA SECA PARTE AÉREA (g m ⁻²)	MASSA SECA RAÍZES (g m ⁻²)	RELAÇÃO RAÍZES/AÉREA (MASSA SECA)
Aguapé	672 b	1276 a	1,90 a	36 b	71 a	1,97 a
Alface	1188 a	1640 a	1,38 b	105 a	88 a	0,84 b
C.V. %	26,3	29,8	8,7	28,1	29,6	6,7

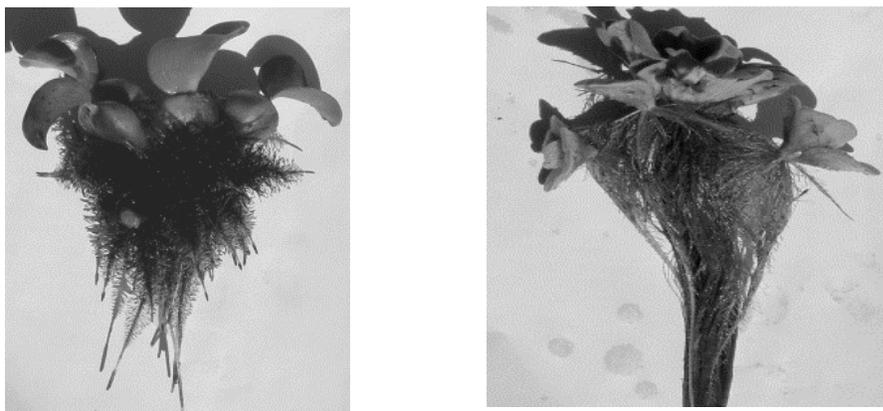
NOTAS: Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste F. C.V. = Coeficiente de variação.

Aparentemente, as condições climáticas mais frias e os dias mais curtos, no período de inverno, prejudicaram o desenvolvimento do aguapé. No experimento de inverno a média das temperaturas mínimas foi de 10,0 °C, com mínima no período de 0,7 °C (Anexo IV). Esta espécie se desenvolve melhor em condições de maior temperatura ambiente e fotoperíodos longos (MUKUNO e VALIO, 1985). Em condições de fotoperíodos mais longos o aguapé também aumenta sua capacidade de absorver nutrientes como o P e o N (PETRUCIO e ESTEVES, 2000b). WOLVERTON e McDONALD, estudando *Eichornia crassipes* na baía de Saint Louis (Mississippi, EUA) também observaram que esta espécie tem bom desenvolvimento nos meses mais quentes, mas reduz expressivamente sua capacidade depuradora nos meses mais frios. BEYRUTH (1992), em Itapecerica da Serra (SP) também observou que o aguapé tem seu período de senescência máximo no inverno, com o secamento e morte das plantas. Segundo este autor, o aguapé apresenta, na maior parte de suas estruturas, densidades menores que 1 g cm⁻³, e a decomposição desta planta pode ocorrer na superfície da água ou próximo a ela, contribuindo para o aumento do teor de nutrientes nesses estratos.

Estudos em condições controladas (temperatura, fotoperíodo e concentração de nutrientes) seriam úteis à estimativa de eficiência destas macrófitas aquáticas flutuantes em outras condições. Embora existam informações mais detalhadas para o aguapé, ainda parece haver uma carência de dados para as outras espécies.

Em lagos rasos, este processo de senescência das macrófitas aquáticas flutuantes, nos períodos mais frios, poderia contribuir ainda mais com a eutrofização, pois as raízes das macrófitas aquáticas poderiam absorver nutrientes dos sedimentos depositados no fundo, e com a morte ou senescência do vegetal, o P seria liberado para todo o lago (FERNANDES *et al.*, 2005, p. 325).

FIGURA 20 – ASPECTO DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA VERDE ENTRE A PARTE AÉREA E RAÍZES NO AGUAPÉ (ESQUERDA) E NA ALFACE D'ÁGUA (DIREITA), NA COLHEITA DO CULTIVO DE INVERNO



Assim como no período de verão, foi observada grande diferença entre a massa fresca (1948 g m^{-2}) e a massa seca (107 g m^{-2}) do aguapé, o que corresponde a 945 g água por kg matéria fresca, conforme os dados das Tabela 16, e semelhante ao observado por MANFRINATO (1991).

Também pode ser observado na Tabela 17 que a alface d'água apresenta menor relação massa fresca raízes/parte aérea em comparação ao aguapé, evidenciando que houve desenvolvimento das raízes do aguapé, que não foi acompanhado pela parte aérea, no experimento de inverno. No período de verão o aguapé e a alface d'água apresentavam relação massa fresca raízes/parte aérea estatisticamente semelhantes (Tabela 12). Estes aspectos determinaram menor cobertura da lâmina d'água nas parcelas com aguapé (Figura 21) no inverno, o que se refletiu na observação de maior quantidade de algas nestas parcelas, em comparação às parcelas com alface d'água (Figura 22) e lentilha d'água (Figura 23). Estas observações vão ao encontro do estudo de BEYRUTH (1992), que constatou, no inverno, redução da cobertura da superfície da água pelo aguapé à metade do período de verão, aumentando a densidade das comunidades fitoplanctônicas e de invertebrados bentônicos, provavelmente resultantes da liberação gradativa de matéria

orgânica e de nutrientes pela decomposição do aguapé, os quais seriam utilizados por aqueles organismos capacitados a desenvolverem-se em baixas temperaturas.

Aparentemente, o efeito alelopático negativo sobre algas, atribuído ao aguapé e ao alface d'água (FERREIRA e AQUILA, 2000; GRECA *et al.*, 1999) não se observou no período de inverno em função do reduzido crescimento (Figuras 21 e 22) e, supõe-se, menor síntese de metabólitos com atividade alelopática.

Parece adequado testar outras espécies de macrófitas aquáticas para verificar adaptação às condições climáticas existentes na região da bacia do rio Iraí. À princípio, a salvinia (*Salvinia auriculata*) é uma espécie que tem sido muito reportada na literatura, e que não foi avaliada neste trabalho. Há a necessidade de se buscar espécies que possam se desenvolver em uma taxa aceitável nas temperaturas e fotoperíodos menores existentes no período de inverno na região.

A quantidade de massa seca e fresca das raízes (Tabela 17), não mostrou diferença significativa entre o aguapé e a alface d'água. Segundo MANFRINATO (1991) e POLI *et al.* (1999), o aguapé normalmente teria melhor desenvolvimento das raízes que a alface d'água, o que foi observado no experimento de verão, mas não foi observado no inverno (Figura 20), resultando no fato do aguapé ter se equiparado à alface d'água nestes atributos.

FIGURA 21 – VISTA SUPERIOR DE PARCELA CULTIVADA COM AGUAPÉ, NO PERÍODO DE INVERNO



FIGURA 22 – VISTA SUPERIOR DE PARCELA CULTIVADA COM ALFACE D'ÁGUA, NO PERÍODO DE INVERNO



FIGURA 23 – VISTA SUPERIOR DE PARCELA CULTIVADA COM LENTILHA D'ÁGUA, NO PERÍODO DE INVERNO



Não houve diferença significativa na concentração de P entre a parte aérea do aguapé e da alface d'água, bem como entre as raízes do aguapé e da alface d'água (Tabela 18). No entanto, a lentilha d'água apresentou concentração de P significativamente maior do que a parte aérea do aguapé e da alface d'água.

Em uma extrapolação hipotética da acumulação de P nos tanques experimentais para uma área maior, com base nos dados da Tabela 19, estimou-se que, no período do experimento, a alface d'água acumulou 2,6 kg P ha⁻¹ (ou 23,6 g P ha⁻¹ dia⁻¹), seguido do aguapé com 1,6 kg P ha⁻¹ (ou 14,5 g ha⁻¹ dia⁻¹), e da lentilha d'água com 1,7 kg P ha⁻¹ (ou 15,5 g P ha⁻¹ dia⁻¹).

As concentrações de Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn e Al foram semelhantes na parte aérea do aguapé e da alface d'água (Tabela 18). Porém, quando se compara a parte aérea com as raízes destas mesmas espécies, se observa que houve concentração de Ca e K na parte aérea, e de Na, Mg, Fe, Cu e Al nas raízes.

A alface d'água apresentou maior capacidade de acumular Na e Mg nas raízes do que o aguapé. No entanto, o aguapé apresentou maior concentração de K, Fe e Al nas raízes em comparação com a alface d'água (Tabela 18).

TABELA 18 – CONCENTRAÇÃO DE P, K, Na, Mg, Ca, Al, Cu, Zn, Mn E Fe NA MASSA SECA EM TRÊS MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE INVERNO

ESPÉCIE	P	K	Na	Mg	Ca	Al	Cu	Zn	Mn	Fe
	-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----			
Aguapé aérea	1,33bc	40,3a	2,8d	3,3c	22,1a	0,004c	14b	53ab	282bc	67b
Aguapé raízes	1,55abc	24,7c	6,1b	6,8b	11,1b	2,38a	17a	76a	477ab	7494a
Alface aérea	1,12c	29,4b	6,2b	3,7c	25,5a	0,02c	13b	46b	78c	58b
Alface raízes	1,61ab	20,2d	15,6a	10,0a	12,1b	1,26b	18a	55ab	387ab	3222b
Lentilha (total)	1,82a	15,6e	4,5c	1,6d	10,7b	0,56c	14b	72ab	600a	2127b
DMS	0,46	3,41	0,59	1,12	6,42	0,6	2,9	29	222	3413
C.V. (%)	19,44	8,3	5,5	13,8	24,9	45,2	11,7	29,9	38,7	83,5

NOTAS: Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. DMS = diferença mínima significativa. C.V. = Coeficiente de variação.

Também devem ser destacadas na Tabela 18 as elevadas concentrações de Fe nas raízes do aguapé e alface d'água, e também na lentilha d'água (planta inteira), em comparação com a parte aérea do aguapé e alface d'água. Considera-se que estas espécies auxiliam a oxigenar a água (BOEGER, 1997; JEDICKE *et al.*, 1989; COSSU *et al.*, 2001), o que contribuiu para a oxidação deste elemento químico no sistema radicular. Possivelmente estas espécies formam uma rizosfera ao redor da raiz, mais oxidada, de forma semelhante ao que ocorre com o arroz irrigado por inundação (SOUZA *et al.*, 2000, p. 129). Estes teores de Fe não devem corresponder às quantidades efetivamente absorvidas pelas raízes, mas deve incluir frações deste elemento que se oxidaram na superfície das raízes ou nos espaços intercelulares. Foi observado visualmente que as raízes se

encontravam recobertas por uma camada amarelada por ocasião da colheita. Estes teores de Fe na raiz não se refletiram na parte aérea do aguapé e da alface d'água (Tabela 18). A oxigenação do epilímnio, que deve ser incrementada pela presença destas macrófitas aquáticas, também pode ter afetado a solubilidade de ortofosfatos, aumentando a co-precipitação com Fe (BOLLMANN *et al.*, 2005, p. 232).

TABELA 19 – QUANTIDADE DE P, K, Na, Mg, Ca, Al, Cu, Zn, Mn E Fe NA MASSA SECA EM TRÊS MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NO EXPERIMENTO DE INVERNO (PERÍODO DE 110 DIAS)

ESPÉCIE	P	K	Na	Mg	Ca	Al	Cu	Zn	Mn	Fe
	-----g m ⁻² -----					-----mg m ⁻² -----				
Aguapé aérea	0,05c	1,47b	0,10c	0,12c	0,80b	0,0b	0,50b	1,9c	9,8c	2c
Aguapé raízes	0,11b	1,75b	0,44bc	0,49b	0,81b	0,16b	1,26a	5,3ab	35,1b	516a
Alface aérea	0,12b	3,11a	0,66b	0,40b	2,67a	0,0b	1,38a	4,8b	8,4c	6c
Alface raízes	0,14ab	1,79b	1,39a	0,88a	1,07b	0,11b	1,61a	4,6b	34,2b	279ab
Lentilha (total)	0,17a	1,52b	0,44bc	0,16c	1,07b	0,55a	1,43a	6,7a	57,7a	205bc
DMS	0,05	0,78	0,35	0,23	0,54	0,21	0,58	1,7	19,4	244
C.V. (%)	25	25	36	35	26	80	29	23	42	76

NOTAS: Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. DMS = diferença mínima significativa. C.V. = Coeficiente de variação.

Na alface d'água foi evidenciada clorose das folhas mais velhas, seguida de necrose das pontas e margens (Figura 24). Este aspecto foi observado tanto no experimento de inverno quanto de verão. Possivelmente este fato esteja associado à deficiência de K, sendo que, em ambos os períodos de cultivo, as concentrações de K nas folhas de alface d'água foram semelhantes. A deficiência de K, segundo MARSCHNER (1986, p. 265), causa redução no crescimento, e translocação deste nutriente das folhas mais velhas e, em condições de deficiência severa, estas podem se tornar cloróticas e necróticas. A concentração de K encontrada na parte aérea e radicular da alface d'água poderia ser considerada adequada para a maioria das plantas cultivadas (DECHEN *et al.*, 1995, p. 107). No entanto, WHEELER *et al.* (1998, p. 5) ao analisar amostras de alface d'água em diversos sítios, mostram que a concentração de K na folhas usualmente se encontra na faixa de 39 a 51 g kg⁻¹, indicando uma possível condição de deficiência no presente experimento.

A concentração de K solúvel (Tabela 20) encontrado nos tanques de aguapé é significativamente menor do que as concentrações encontradas no tratamento com lentilha d'água em ambas as estações de cultivo (verão e inverno), e se equivale estatisticamente à alface d'água no inverno. Observa-se que, aparentemente, o aguapé tem maior capacidade

de extração de K da água, o que também é evidenciado pela concentração deste elemento na parte aérea do aguapé que foi a maior dentre as espécies testadas (Tabelas 13 e 18).

FIGURA 24 – OCORRÊNCIA DE CLORESE E NECROSE NAS MARGENS DAS FOLHAS MAIS VELHAS DA ALFACE D'ÁGUA DURANTE O CULTIVO DE INVERNO



TABELA 20 – CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO SOLÚVEL NO MOMENTO DA COLHEITA, EM DUAS PROFUNDIDADES, NA ÁGUA DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS CULTIVADAS COM DIFERENTES MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES, NOS EXPERIMENTOS DE VERÃO E INVERNO

	Potássio (mg dm^{-3}) – verão			Potássio (mg dm^{-3}) – inverno		
	10 cm	30 cm	Média	10 cm	30 cm	Média
Aguapé	0,67	0,61	0,64 b	0,53	0,41	0,47 b
Lentilha	1,35	1,35	1,35 a	0,80	0,79	0,80 a
Alface	1,36	1,36	1,35 a	0,54	0,55	0,55 b
Média	1,13	1,10		0,62	0,58	

NOTAS: Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. DMS (verão coluna)=0,41 mg dm^{-3} e DMS (inverno coluna)=0,16 mg dm^{-3} . C.V.(verão) =39,3% e C.V.(inverno)=29,2%

Os dados deste estudo exploratório permitem indicar que o aguapé não teria o mesmo potencial observado no período de verão para a remoção de nutrientes, em particular o P. A alface d'água foi a espécie testada que apresentou melhor desenvolvimento no período de verão, mas que não chegou a cobrir toda a superfície do corpo d'água (Figura 22).

5 CONCLUSÕES

Nas condições estudadas neste trabalho, e considerando os resultados apresentados e discutidos, podem ser apresentadas algumas conclusões gerais.

Mais da metade dos solos das bacias dos rios Canguiri e Timbú se encontram em relevo plano a suave ondulado, que são menos susceptíveis a risco de erosão, e portanto, de perda de nutrientes carregados pela enxurrada.

Do ponto de vista agrícola, dentre estas unidades de mapeamento de solos, aquelas que apresentam maior risco à eutrofização, e principalmente assoreamento dos cursos d'água, são a CHa+CHd - Associação Cambissolo Húmico Alumínico típico + Cambissolo Húmico Distrófico típico ambos substrato argilitos e principalmente CHa+RLd - Associação Cambissolo Húmico Alumínico típico + Neossolo Litólico Distrófico típico ambos substrato argilitos e arcósios, devido à condição de relevo, e as unidades GXve - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico típico e OYs - Organossolo Mésico Sáprico típico, devido à proximidade dos rios. Em sua condição natural, nenhum destes solos tem elevada disponibilidade de P, porém poderiam ter contribuição à eutrofização, caso se encontrem em uso agrícola intensivo.

A concentração de P no tecido vegetal das espécies testadas não apresentou diferença significativa no cultivo de verão. No cultivo de inverno, a concentração de P na lentilha d'água foi maior do que na parte aérea da alface d'água e do aguapé.

Ao se considerar a acumulação total de P, no período de verão, o aguapé foi a macrófita aquática que apresentou melhor potencial para remoção dos nutrientes presentes na água, em particular o P. No período de inverno, por outro lado, a espécie que apresentou melhor potencial para remoção do P da água foi a alface d'água.

No intuito de complementar os estudos realizados nesta tese, poderia ser sugerida a realização de um experimento em tanques rede, no curso final do rio Timbú, que é o mais eutrofizado da bacia (BOLLMANN e FREIRE, 2003), visando verificar o potencial de absorção de P no período de verão, especialmente pelo aguapé, que se mostrou mais eficaz neste período. No entanto, deve ser considerado que, dificilmente o aguapé (ou outra macrófita aquática) possa solucionar o problema da carga elevada de nutrientes neste curso d'água, pois o tempo de residência da água nos tanques de aguapé, bem como a área de cultivo e evaporação seriam muito grandes, o que dificultaria a adoção de uma proposta desta natureza. Há a necessidade de se adotar medidas que controlem a fonte geradora da

contaminação, principalmente com práticas de conservação dos solos agrícolas, manutenção da vegetação ripária, e efetiva ligação das unidades residenciais e industriais à rede de esgoto existente.

Há a necessidade, ainda, de estudos relativos ao aproveitamento da biomassa produzida pelas macrófitas aquáticas, bem como de métodos para a retirada da mesma, evitando tanto sua proliferação no lago, quanto a senescência e retorno dos nutrientes ao corpo d'água.

Apesar destas lacunas existentes, a fitodepuração é uma ferramenta, que apresenta potencial para auxiliar na melhoria das condições tróficas da represa do rio Iraí, desde que utilizada em conjunto com outras práticas.

6 REFERÊNCIAS

1. AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of remote sensing**. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1975.
2. ANDRASKI, T.W., BUNDY, L.G. Relationships between phosphorus levels in soil and in runoff from corn production systems. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, n. 1, p. 310-316, 2003.
3. ANDREOLI, C.V., DALARMI, O., LARA, A.I., ANDREOLI, F. de N. Limites ao desenvolvimento da região metropolitana de Curitiba, impostos pela escassez de água. **Sanare**, Curitiba, v. 12, n. 12, 1999a.
4. ANDREOLI, C.V., DALARMI, O., LARA, A.I., RODRIGUES, E.M., ANDREOLI, F. de N. Os mananciais de abastecimento integrado da Região Metropolitana de Curitiba – RMC. **Sanare**, Curitiba, v. 12, n. 12, 1999b.
5. ANDREOLI, C.V., HOPPEN, C., PEGORINI, E.S., DALARMI, O. A crise da água e os mananciais de abastecimento. In: ANDREOLI, C.V. (Ed.). **Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão**. Curitiba: Sanepar, Finep, 2003. p. 35-84.
6. AOYAMA, I.; NISHIZAKI, H.; BHAMIDIMARRI, R. Uptake of nitrogen and phosphate, and water purification by water hyacinth *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. In: AOYAMA, I.; NISHIZAKI, H.; BHAMIDIMARRI, R. (Eds.) Development and water pollution control. ASIAN WATERQUAL 91, IAWPRC REGIONAL CONFERENCE, 1991, Shanghai, China. Proceedings. **Water-Science-and-Technology**, v. 28, n. 7, p. 47-53, 1993.
7. BARBER, S.A. Soil-plant interactions in the phosphorus nutrition plants. In: KHASAWNEH, F.E., SAMPLE, E.C., KAMPRATH, E.J. (Eds.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1980. p. 591-615.
8. BARBOSA, F.A.R., GARCIA, F. da C. Eutrofização: um problema (antigo) de difícil solução. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. (Eds.). SEMINÁRIO DO PROJETO INTERDISCIPLINAR DE PESQUISA EM EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA BACIA DO ALTÍSSIMO IGUAÇÚ, 4., Curitiba, 2003. **Anais**. Curitiba: Sanepar, 2003. p. 126-140.

9. BATAGLIA, O.C., FURLANI, A.M.C., TEIXEIRA, J.P.F., FURLANI, P.R., GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48 p. (IAC. Boletim técnico, 78).
10. BENASSI, R.F., CAMARGO, A.F.M. Avaliação do processo competitivo entre duas espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, *Pistia stratiotes* L. e *Salvinia molesta* D.S. Mitchell. **Rev. Iniciação Científica**, v. 1, p. 59-66, 2000.
11. BENÍCIO, L.A.S., FONSECA, J.B., SILVA, D.J., ROSTAGNO, H.S., SILVA, M.A. A utilização do aguapé (*Eichornia crassipes*) em rações prensadas para poedeiras comerciais. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 155-166, 1993a.
12. BENÍCIO, L.A.S., FONSECA, J.B., SILVA, M.A., ROSTAGNO, H.S., GRAÇAS, A.S., SOARES, P.R. A utilização do aguapé (*Eichornia crassipes*) em rações prensadas para frangos de corte na fase inicial. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 167-175, 1993b.
13. BENNETT, E.M., CARPENTER, S.R., CARACO, N.F. Human impact on erodable phosphorus and eutrophication: a global perspective. **BioScience**, v. 51, n. 3, p. 227-234, 2001.
14. BERTOL, I., MELLO, E.L., GUADAGNIN, J.C., ZAPAROLLI, A.L.V., CARRAFA, M.R. Perdas de nutrientes na água da erosão hídrica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 581-586, 2003.
15. BERTON, R.S. Fertilizantes e poluição. In: DECHEN, A.R., BOARETTO, A.E., VERDADE, F. da C. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. **Anais dos simpósios**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 299-313.
16. BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p.
17. BEYRUTH, Z. Macrófitas aquáticas de um lago marginal ao rio Embu-mirim, São Paulo, Brasil. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v. 26 n. 4, p. 272-282, 1992.
18. BIANCHINI, V., ALMEIDA, L. de, GANDARA, G. Atividades econômicas compatíveis com áreas de mananciais no meio rural. In: ANDREOLI, C.V. (Ed.). **Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão**. Curitiba: Sanepar, Finep, 2003. p. 319-383.
19. BINI, L.M., THOMAZ, S.M., MURPHY, K.J., CAMARGO, A.F.M. Aquatic macrophyte distribution in relation to water and sediment conditions in the Itaipu Reservoir, Brazil. **Hydrobiologia**, Dordrecht, v. 415, p. 147-154, 1999.

20. BOEGER, M.R. Estudo comparativo dos sistemas lacunares de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. E *Pistia stratiotes* L. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 915-925, 1997.
21. BOLLMANN, H.A., ANDREOLI, O.R. Água no sistema urbano. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2005. p. 85-120.
22. BOLLMANN, H.A., FREIRE, S.M. Avaliação da carga de macro-nutrientes orgânicos no reservatório do rio Iraí, Região Metropolitana de Curitiba/PR, a partir de seus tributários principais. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. (Eds.). SEMINÁRIO DO PROJETO INTERDISCIPLINAR DE PESQUISA EM EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA BACIA DO ALTÍSSIMO IGUAÇÚ, 4., Curitiba, 2003. **Anais**. Curitiba: Sanepar, 2003. p. 5-7.
23. BOLLMANN, H.A., CARNEIRO, C., PEGORINI, E.S. Qualidade da água e dinâmica de nutrientes. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2005. p. 215-269.
24. BRANCO, S.M., ROCHA, A.A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: Edgard Blücher, CETESB, 1977. 185 p.
25. BRASIL. Lei 4771 de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 set. 1965.
26. CAMARA, G., SOUZA, R.C.M., FREITAS, U.M., GARRIDO, J. Spring: integrating remote sensing and GIS by object – oriented data modelling. **Computers and Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
27. CAMARGO, A.F.M., PEZZATO, M.M., HENRY-SILVA, G.G. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. In: THOMAZ, S.M., BINI, L.M. (Eds.) **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2003. p. 59-83.
28. CARNEIRO, C., PEGORINI, E.S., ANDREOLI, C.V. Avaliação temporal de fósforo em água e sedimento no reservatório Iraí, Pinhais/PR, Brasil. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. (Eds.). SEMINÁRIO DO PROJETO INTERDISCIPLINAR DE PESQUISA EM EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA BACIA DO ALTÍSSIMO IGUAÇÚ, 4., 2003, Curitiba. **Anais**. Curitiba: SANEPAR, 2003. p. 8-12.

29. CARNEIRO, C., PEGORINI, E.S., ANDREOLI, C.V. Introdução. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2005. p. 27-44.
30. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994. 224 p.
31. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005.
32. CORRELL, D.L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review. **Journal of Environmental Quality**, v. 27, n. 2, p. 261-266, 1998.
33. COSSU, R., HAARSTAD, K., LAVAGNOLO, M. C., LITTARRU, P. Removal of municipal solid waste COD and NH₄-N by phyto-reduction: A laboratory-scale comparison of terrestrial and aquatic species at different organic loads. **Ecological Engineering**, v. 16, p. 459-470, 2001.
34. CURCIO, G.R., LIMA, V.C., GIAROLA, N.F.B. **Antropossolos**: proposta de ordem. 1. aprox. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 49 p. (EMBRAPA CNPF. Documentos, 101). CD-Rom.
35. DANIEL, T.C., SHARPLEY, A.N., LEMUNYON, J.L. Agricultural phosphorus and eutrophication: a symposium overview. **Journal of Environmental Quality**, v. 27, n. 2, p. 251-257, 1998.
36. DAVEREDE, I.C., KRAVCHENKO, A.N., HOEFT, R.G., NAFZIGER, E.D., BULLOCK, D.G., WARREN, J.J., GONZINI, L.C. Phosphorus runoff: effect of tillage and soil phosphorus levels. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, n.4, p. 1436-1444, 2003.
37. DEBUSK, T. A.; PETERSON, J. E.; REDDY, K. R. Use of aquatic and terrestrial plants for removing phosphorus from dairy wastewaters. **Ecological Engineering**, v. 5, p. 371-390, 1995.
38. DECHEN, A.R., BATAGLIA, O.C., SANTOS, W.R. dos. Conceitos fundamentais da interpretação da análise de plantas. In: PEREIRA, J.R., FARIA, C.M.B. de (Eds.). REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1994. **Anais do Simpósio – Fertilizantes**: insumo básico para

- agricultura e combate à fome. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, SBSCS, 1995. p. 87-115.
39. DONHA, A.G. **Avaliação do uso de técnicas de suporte à decisão na determinação da fragilidade em ambiente de geoprocessamento: o caso do Centro de Estações Experimentais do Cangüiri – Universidade Federal do Paraná.** Curitiba, 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia –Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Paraná.
40. DONHA, A.G., SOUZA, L.C. de P., SUGAMOSTO, M.L., LIMA, V.C. Avaliação da metodologia utilizada na geração dos mapas de fragilidade ambiental em uma área piloto na APA do Iraí. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. (Eds.). SEMINÁRIO DO PROJETO INTERDISCIPLINAR DE PESQUISA EM EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA BACIA DO ALTÍSSIMO IGUAÇÚ, 4., 2003, Curitiba. **Anais.** Curitiba: SANEPAR, 2003. p. 22-26.
41. EMBRAPA. SNLCS. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Sudeste do Paraná:** 1ª parte. Curitiba, 1974. 150 p.
42. EMBRAPA. SNLCS. **Levantamento e reconhecimento de solos do estado do Paraná.** Londrina: IAPAR: Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1984. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de pesquisa, 27. IAPAR. Boletim técnico, 16.).
43. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1995a.
44. EMBRAPA. **Programa de qualidade ambiental.** Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 1995b. 30 p.
45. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
46. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
47. ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p. Cap. 14: Fósforo. p. 223-243.
48. FAGERIA, N.K. Química de solos de várzea. In: DECHEN, A.R., CARMELLO, Q.A. de; FLOSS, E.L. SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. **Anais.** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 93-114.
49. FARIA, C.M.B., PEREIRA, J.R. Movimento de fósforo no solo e seu modo de aplicação no tomateiro rasteiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 28, p. 1363-1370, 1993.

50. FERNANDES, L.F., LAGOS, P.E., VENTURA, C. Florações de cianobactérias e eutrofização no reservatório do Iraí, Curitiba, PR. II. Distribuição horizontal de algumas espécies. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. (Eds.). SEMINÁRIO DO PROJETO INTERDISCIPLINAR DE PESQUISA EM EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA BACIA DO ALTÍSSIMO IGUAÇÚ, 4., 2003, Curitiba. **Anais**. Curitiba: SANEPAR, 2003. p. 53-55.
51. FERNANDES, L.F., LAGOS, P.D., WOSIACK, A.C., PACHECO, C.V., DOMINGUES, L., ZENHDER-ALVES, L., COQUEMALA, V. Comunidades fitoplantônicas em ambientes lênticos. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2005. p. 305-366.
52. FERREIRA, A. G., AQUILA, M. E. A.. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.12, n. especial, p. 175-204, 2000.
53. FLORIANI, N. **Avaliação da fragilidade geossistêmica de uma microbacia sobre geologia cárstica**: potencial e limitações. Curitiba, 2003. 147 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
54. GOEDERT, W.; LOBATO, E. Agronomic considerations of modern agriculture on oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., 1988, Rio de Janeiro. **Proceedings**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1988. p. 203-210.
55. GRANATO, M. **Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1995. (Série Tecnologia Ambiental, 05).
56. GRECA, M.D.; FIORENTINO, A.; MONACO, P.; PREVITERA, L.; PINTO, G. & POLLIO, A. Release of potential allelochemical from aquatic plants. In: MACIAS, F.A.; GALINDO, J.C.G.; MOLINILLO, J.M.G.; CUTLER, H.G. (Eds.) **Recent advances in allelopathy**. Cadiz: Serv. Pub. Univ. Cadiz, 1999. v. 1. p. 255-262.
57. GRECO, M.K.B. **Determinação da produção de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. na represa da Pampulha BH/MG, através do método tradicional e demográfico**. Belo Horizonte, 1996. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em www.icb.ufmg.br/~ecmvs/teses/mkarla/htm
58. GRECO, M.K.B., FREITAS, J.R. Concentração de fósforo e nitrogênio na represa da Pampulha e as taxas de crescimento de *Eichhornia crassipes* (aguapé). In: ENCONTRO DE PESQUISAS DO ICB. **Livro de resumos**. Belo Horizonte, 1996.

59. GUEZZI, A.O. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da bacia do rio Xaxim, baía de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento.** Curitiba, 2003. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
60. HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Valor nutritivo de macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta*) utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 2, p. 519-526, 2002.
61. HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Avaliação sazonal da biomassa da macrófita aquática *Eichornia azurea* em um rio de águas brancas da bacia hidrográfica do rio Itanhaém (litoral sul do estado de São Paulo, Brasil). **Hoehnea**, v. 30, n. 1, p. 71-77, 2003.
62. HORNE, A.J.; GOLDMAN, C.R. **Limnology**. 2. ed. New York: McGraw Hill, 1994. Cap. 9: Phosphorus. p. 152-171.
63. IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas climáticas do estado do Paraná.** Londrina, 1994. 49 p. (IAPAR. Documentos, 18).
64. INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Apostila de curso – SPRING 3.4 (versão Windows).** São José dos Campos, 2000.
65. JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis.** Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1958. 498 p.
66. JACOBS, G.A., RIZZI, N.E. O uso dos mananciais da Região Metropolitana de Curitiba: a ocupação do espaço físico da bacia do altíssimo Iguaçu. In ANDREOLI, C.V. (Ed.). **Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão.** Curitiba: Sanepar, Finep, 2003. p. 87-132.
67. JEDICKE, A., FURCH, B., SAINT-PAUL, U., SCHLÜTER, U.B. Increase in the oxygen concentration in Amazon waters resulting from the root exudation of two notorious water plants, *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) and *Pistia stratiotes* (Araceae). **Amazoniana**, Kiel, v. 11, n. 1, p. 53-69, 1989.
68. KLEIN, V.L.G., AMARAL, F.C.S. Plantas daninhas aquáticas flutuantes. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 150, p. 35-43, 1988.
69. KLINGEBIEL, A.A., HORVATH, E.H., MOORE, D.G., REYBOLD, W.U. Use of slope, aspect, and elevation maps derived from digital elevation model data in making soil surveys. In: REYBOLD, W.U., PETERSEN, G.W. **Soil survey techniques.** Madison, Soil Science Society of America, 1987. p. 77-90.

70. LARA, A.I. de; TOSIN, P.C. Ações para o manejo e gerenciamento de mananciais. In: ANDREOLI, C.V. (Ed.). **Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão**. Curitiba: Sanepar, Finep, 2003. p.403-426.
71. LEMOS, R.C., SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4. ed., Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.
72. LENZI, E.; LUCHESE, E.B.; LIMA, S.B. Otimização da utilização de *Eichornia crassipes* – aguapé – na despoluição de soluções contaminadas com cromo. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 603-609, 1994.
73. LENZI, E.; LUCHESE, E.B.; FAVERO, L.O.B.; MALDONADO, G.Z. Níveis da concentração de cobre (Cu) na *Eichornia crassipes* de ambientes límnicos lêntico e lótico do Rio Paraná, Região de Porto Rico. Paraná. Brasil. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 521-531, 1995.
74. LEPSCH, I.F. (Coord.), BELLINAZZI JÚNIOR, R., BERTOLINI, D., ESPÍNDOLA, C.R. **Manual de levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4. aprox. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.
75. LIMA, V.C. Solos no ambiente urbano: caracterização e propriedades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Resumos**. Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p. 238.
76. LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais. 2. ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1991.
77. MACHADO, M.A. de M. Procedimentos metodológicos em física do solo relacionados ao manejo dos solos. In: LIMA, M.R. de. (Org.) *et al.* **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas**. 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2003. p. 103-122.
78. MAHAPATRA, I.C.; PATRICK JR., W.H. Inorganic phosphate transformation in waterlogged soils. **Soil Science**, v. 107, n. 4, p. 281-288, 1969.
79. MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p. Cap. 4: Funções. p. 55-114.
80. MANFRINATO, E.S.O. aguapé: fatos e fofocas. In: **Problemas ambientais brasileiros**. São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf, 1991. p. 109-112.
81. MARQUES, R., MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M.R. (Org.) *et al.* **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos**

- agrícolas**. 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2003. p. 81-102.
82. MARS, R.; KURUVILLA, M.; HO, G. The role of the submergent macrophyte *Triglochin huegelii* in domestic greywater treatment. **Ecological Engineering**, v. 12, p. 57-66, 1999.
83. MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674 p. Chap. 8: Functions of mineral nutrients: macronutrients. p. 195-267.
84. MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
85. MEDEIROS, R.M.L. *et al.* Estudo da biomassa do aguapé, para produção do seu concentrado proteico. **Revista da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 2, n. 19, p. 226-230, 1999.
86. MENGEL, K., KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p. Chap. 9: Phosphorus. p. 403-426.
87. MEURER, E.J., RHENHEIMER, D., BISSANI, C.A. Fenômenos de superfície. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 77-125.
88. MIYASAWA, M.; PAVAN, M.A.; BLOCK, M.F.M. Determinação espectrofotométrica de nitrato em extratos de solo sem redução química. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 129-133, 1985.
89. MORAES, J.F.V., DYNIA, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo gley pouco húmico sob inundação e após a drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 223-235, 1992.
90. MUKUNO, D.R.O.; VALIO, I.F.M. Efeito de fatores ambientais na morfologia das folhas de *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms. (aguapé). **Revta. brasil. Bot.**, v. 8, p. 231-239, 1985.
91. MURPHY, J.; RILEY, H.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal. Chim. Acta.**, v. 27, p. 31-36, 1962.
92. NAMIKAWA, L. M. **Um método de ajuste para grades triangulares considerando linhas características**. São José dos Campos, 1995. 134 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
93. NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F., NOVAIS, R.F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p. 25-98.

94. NOVAIS, R.F., NEVES, J.C.L., BARROS, N.F. Fósforo. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Solos. **Fertilidade do solo**. Parte 2. Viçosa, 1996. p. 2-90.
95. NOVAIS, R.F., SMITH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 1999.
96. OLIVEIRA, J.B. de, JACOMINE, P.K.T., CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil**: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.
97. OZANNE, P.G. Phosphate nutrition in plants - a general treatise. In: KHASAWNEH, F.E., SAMPLE, E.C., KAMPRATH, E.J. (Eds.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1980. p. 559-589.
98. PARANA. Decreto 1753 de 06 de maio de 1996. Cria a Área de Proteção Ambiental - APA do rio Irai. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, n. 4750, 06 jun. 1996.
99. PARANA. Decreto 2200 de 12 de junho de 2000. Acresce o nome do Município de Campina Grande do Sul na redação dos artigos 1º, 3º e 11 e ao parágrafo 1º do artigo 13 do Decreto nº 1.753, de 6 de maio de 1996, e aprova o Zoneamento Ecológico-Econômico da Área de Proteção Ambiental - APA do Iraí. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, n. 5763, 14 jun. 2000.
100. PARANÁ. Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral. Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba. **Diagnóstico da APA do rio Irai**. Curitiba: 2001. 2 v + mapas.
101. PARANA. Decreto 5765 de 05 de junho de 2002. Cria o Parque Estadual da Baitaca, localizado nos municípios de Quatro Barras e Piraquara. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, n. 6244, 06 jun. 2002.
102. PEDRALLI, G. Aguapé: solução ou problema? **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 53, p. 76-77, 1989.
103. PEGORINI, E.S., CARNEIRO, C., ANDREOLI, C.V. Mananciais de abastecimento público. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2005. p. 47-82.
104. PERAZZA, M.C.D., NAVAS-PEREIRA, D., MARTINS, M.T. O aguapé: meios de controle e possibilidades de utilização. **Revista DAE**, p.18-25, 1981.
105. PERKIN-ELMER. Environmental analysis-analysis of natural waters. In: **Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry**. Norwalk: Perkin-Elmer. 1976.
106. PETRUCIO, M.M., ESTEVES, F.A. Uptake rates of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia auriculata*. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n. 2, p. 229-236, 2000a.

107. PETRUCIO, M.M., ESTEVES, F.A. Influence of photoperiod on the uptake of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia auriculata*. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 60, n. 3, p. 373-379, 2000b.
108. PIRES, A.C.D., MELO, V. de F., MOTTA, A.C.V., LIMA, V.C. Major soil classes of the Metropolitan Region of Curitiba (PR), Brazil: I – Mineralogical Characterization of the sand, silt and clay fractions. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba. (artigo em avaliação).
109. POLI, M.A.C., LOPES FERREIRA, C., CALIJURI, M.C., ESPINDOLA, E.L.G. Avaliação do potencial de crescimento de macrófita aquática *Pistia stratiotes*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, 7., Florianópolis, 1999. **Anais**.
110. POMPÊU, M.L.M. Culturas hidropônicas, uma alternativa não uma solução. Anais SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 8., São Carlos. **Anais**. São Carlos, 1996. p. 73-80.
111. PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soil. **Advances in Agronomy**, New York, v. 24, p. 29-96. 1972.
112. PRASAD, R.; POWER, J.F. **Soil fertility management for sustainable agriculture**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1997. 356 p. Cap. 9: Phosphorus. p. 171-209.
113. PRESTON, T.R. Hacia sistemas integrados a partir de recursos locais. **Leisa Revista de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 17, 2002.
114. RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343 p. Cap. 10: Fósforo. p. 181-203.
115. REDDY, K.R., AGAMI, M., TUCKER, J.C. Influence of phosphorus on growth and nutrients storage by water hyacinth (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms) plants. **Aquatic botany**, v. 37, n. 4, p. 355-365, 1990.
116. RESENDE, M., CURI, N., SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília: Ministério da Educação; Lavras: ESAL; Piracicaba: POTAFOS, 1988. 81 p.
117. ROSS, J.L.S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.
118. ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994.
119. RUBIM, M.A.L.; CAMARGO, A.F.M. Taxa de crescimento específico da macrófita aquática *Salvinia molesta* Mitchell em um braço do Rio Preto, Itanhaém, São Paulo. **Acta Limnol. Bras.**, v. 13, n. 1, p. 75-83, 2001.

120. SARMENTO, E.C., WEBER, E., HASENACK, H. Avaliação da situação da cobertura florestal na bacia do rio Cadeia/Feitoria e identificação de áreas críticas usando técnicas de geoprocessamento. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 6., 2000, Salvador. **Resumos**. Curitiba: Sagres, 2000. 1 CD-Rom.
121. SETTI, A.A., LIMA, J.E.F., CHAVES, A.G. de M., PEREIRA, I. de C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 3. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Agência Nacional de Águas, 2001. 328 p.
122. SHARPLEY, A.N., SMITH, S.J., JONES, O.R., BERG, W.A., COLEMAN, G.A. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. **Journal of Environmental Quality**, v. 21, p. 30-35, 1992.
123. SHARPLEY, A., FOY, B., WITHERS, P. Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water: an overview. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, n.1, p. 1-9, 2000.
124. SILVA, C.J. Observações sobre a biologia reprodutiva de *Pistia stratiotes* L. (Araceae). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 11, n. 3, p. 487-504, 1981.
125. SILVA, M.C.B. **Avaliação da fragilidade ambiental da bacia do Rio Nhundiaquara**. Curitiba, 2001. 207 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
126. SOLDA, S. GIS para gestão de recursos hídricos. **InfoGEO**, p. 40-43, nov/dez 2001.
127. SOUZA, C.G. (Coord.) *et al.* **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1995. 104 p. (IBGE. Manuais Técnicos em Geociências, 04).
128. SOUZA, L.C.P., SIRTOLI, A.E., LIMA, M.R. de, DONHA, A.G. Estudo do meio físico na avaliação de bacias hidrográficas utilizadas como mananciais de abastecimento. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2005. p. 123-158.
129. SOUZA, R., CAMARGO, F.A.O., VAHL, L.C. Solos alagados. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 127-149.
130. SPERLING, M. von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.
131. SRIVASTAVA, A. K.; AMBASHT, R. S.; RAJU, K.; KUMAR, R. Enhancing effect of pollution on dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation in water hyacinth

- (*Eichhornia crassipes*) in river Ganga at Varanasi. **Indian Journal of Forestry**, v. 17, n. 4, p. 279-283, 1994.
132. THOMAZ, S.M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. especial, p. 21-33, 2002.
133. THOMAZ, S. M., BINI, L. M. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003.
134. TRIPATHI, B.D.; SHUKLA, S.C. Biological treatment of wastewater by selected aquatic plants. **Environ. Poll.**, v. 69, p. 69-78, 1991.
135. TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. **Soils and soil fertility**. New York: Oxford University Press, 1993. Cap. 20: Soil pollution. p. 401-416.
136. TURNER, F.T.; GILLIAM, J.W. Effect of moisture and oxidation status of alkaline rice soils on the adsorption of soil phosphorus by an anion resin. **Plant and Soil**, The Hague, v. 45, n. 2, p. 353-363, 1976.
137. UUSITALO, R.; EKHOLM, P. Phosphorus in runoff assessed by anion exchange resin extraction and an algal assay. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, n. 2, p. 633-641, 2003.
138. VEIGA, B.V. **Modelagem computacional do processo de eutrofização e aplicação de um modelo de balanço de nutrientes a reservatórios da Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 2001. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia.
139. WITHERS, P.J.A.; DAVIDSON, I.A.; FOY, R.H. Prospects for controlling nonpoint phosphorus loss to water: a UK perspective. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, n. 1, p. 167-175, 2000.
140. WOLVERTON, B.C.; McDONALD, R.C. Upgrading facultative wastewater lagoons with vascular aquatic plants. **Journal Water Pollution Control Federation**, v. 51, n. 2, p. 305-313, 1979.
141. XAVIER, C. da F., DIAS, L.N., BRUNKOW, R.F. Eutrofização. In: ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2005. p. 273-302.
142. WHEELER, G.S., CENTER, T.D., VAN, T.K. **Influence of *Pistia stratiotes* plant quality on the growth and development of the biological control agent *Spodoptera pectinicornis***. Washington: U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, 1998. 24 p. (Technical Report, A-98-3)

143. ZONTA, E.P., MACHADO, A.A. Sistema de análises estatísticas (SANEST) para microcomputadores. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO, 1995, Piracicaba. **Resumos**. Campinas: Fundação Cargill, 1995. p.17-18.

**ANEXO I - PRECIPITAÇÃO DIÁRIA (mm) REGISTRADA NA ESTAÇÃO
METEOROLÓGICA DE PINHAIS DURANTE O EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO DE
MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NO PERÍODO DE VERÃO**

DIA	DEZEMBRO/2002	JANEIRO/2003	FEVEREIRO/2003	MARÇO/2003
1		2,3	0,2	0,2
2		3,4	0,0	5,4
3		0,0	0,0	0,2
4		20,8	0,0	12,2
5		0,2	0,0	0,2
6		0,0	1,8	5,6
7		0,0	0,6	
8		0,0	0,2	
9		0,0	0,2	
10	1,8	24,6	9,0	
11	0,0	0,4	0,2	
12	5,6	3,0	1,8	
13	2,0	0,2	14,4	
14	1,4	0,0	7,8	
15	3,2	0,4	0,2	
16	0,0	1,0	7,8	
17	0,0	0,6	4,6	
18	0,0	0,2	5,8	
19	0,0	0,0	0,2	
20	11,4	0,8	0,0	
21	2,4	1,8	0,0	
22	0,0	0,0	1,0	
23	0,6	3,8	1,0	
24	2,6	5,8	0,0	
25	0,4	20,0	0,0	
26	0,0	22,4	3,2	
27	0,0	37,0	0,8	
28	0,0	14,8	0,0	
29	0,0	0,2		
30	0,0	0,0		
31	0,6	0,0		

**ANEXO II – TEMPERATURA MÍNIMA (°C) DIÁRIA REGISTRADA NA ESTAÇÃO
METEOROLÓGICA DE PINHAIS DURANTE O EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO DE
MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NO PERÍODO DE VERÃO**

DIA	DEZEMBRO/2002	JANEIRO/2003	FEVEREIRO/2003	MARÇO/2003
1		18,7	18,5	18,6
2		19,7	15,8	18,3
3		18,0	16,9	18,5
4		19,1	17,2	17,5
5		19,5	17,7	18,8
6		18,3	17,5	17,4
7		17,2	18,5	
8		15,4	17,8	
9		17,0	18,9	
10	14,5	18,1	19,4	
11	14,8	16,3	17,8	
12	17,3	15,8	19,1	
13	17,4	16,2	16,6	
14	15,1	17,1	17,6	
15	15,3	16,3	17,4	
16	16,4	17,5	18,3	
17	17,7	18,3	17,4	
18	14,3	18,9	16,6	
19	15,4	18,3	18,9	
20	19,1	19,2	20,8	
21	18,2	18,5	18,9	
22	18,4	17,8	18,3	
23	18,9	19,9	18,7	
24	19,9	19,5	18,2	
25	17,1	15,7	20,4	
26	14,2	17,5	18,0	
27	12,3	17,4	17,8	
28	12,9	16,3	20,7	
29	16,3	16,7		
30	16,5	15,4		
31	19,5	17,1		

**ANEXO III - PRECIPITAÇÃO DIÁRIA (mm) REGISTRADA NA ESTAÇÃO
METEOROLÓGICA DE PINHAIS DURANTE O EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO DE
MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NO PERÍODO DE INVERNO**

DIA	MAIO/2003	JUNHO/2003	JULHO/2003	AGOSTO/2003
1		0,0	0,0	0,0
2		0,0	0,0	0,0
3		6,2	0,0	0,0
4		0,0	0,0	0,0
5		19,2	0,0	0,2
6		0,6	31,4	5,2
7	0,0	20,4	31,4	4,8
8	0,0	2,8	5,4	0,0
9	0,0	0,8	4,6	0,0
10	0,6	0,0	6,4	0,0
11	0,0	0,0	0,2	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,6	0,0	0,0	0,0
14	0,4	0,0	7,8	0,0
15	0,0	0,0	8,6	1,4
16	0,0	0,0	22,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	1,6	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0
23	20,0	0,0	9,6	0,0
24	0,0	0,0	0,0	1,2
25	0,0	0,0	0,0	2,2
26	0,0	9,6	0,0	
27	0,0	0,0	1,0	
28	0,0	0,0	0,0	
29	0,0	0,0	0,0	
30	0,0	0,0	0,0	
31	0,0		0,0	

**ANEXO IV – TEMPERATURA MÍNIMA (°C) DIÁRIA REGISTRADA NA ESTAÇÃO
METEOROLÓGICA DE PINHAIS DURANTE O EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO DE
MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NO PERÍODO DE INVERNO**

DIA	MAIO/2003	JUNHO/2003	JULHO/2003	AGOSTO/2003
1		8,9	9,1	13,0
2		12,0	6,8	11,7
3		16,3	11,8	12,1
4		13,1	4,9	10,5
5		12,2	9,2	11,2
6		12,2	14,0	13,9
7	6,3	15,1	13,6	11,4
8	5,5	12,2	13,4	4,5
9	5,0	12,2	14,6	11,2
10	9,2	14,2	9,7	0,7
11	11,8	14,5	7,0	1,8
12	11,5	13,2	3,1	2,9
13	12,6	13,0	6,6	7,9
14	10,9	11,8	9,5	7,4
15	13,5	13,5	12,4	11,3
16	14,7	12,5	12,1	9,5
17	13,4	12,6	9,9	2,1
18	11,7	14,1	11,0	1,1
19	12,2	12,1	9,8	5,3
20	12,0	9,7	10,7	5,1
21	10,8	6,8	11,7	9,1
22	13,0	9,9	11,8	8,6
23	19,4	12,3	10,5	9,4
24	8,8	9,5	12,1	11,5
25	6,9	8,7	10,2	10,7
26	1,7	10,1	13,1	
27	3,1	9,2	13,3	
28	3,5	6,4	13,2	
29	3,3	9,4	13,1	
30	3,0	9,3	11,1	
31	5,9		11,8	

ANEXO V - OUTROS PERFIS DE SOLO DESCRITOS NA BACIA DO RIO CANGUIRI

PERFIL 02

Classificação: Cambissolo Húmico Alumínico típico

Localização, coordenadas, município, estado: estrada rural próximo a Colônia Faria, Colombo (PR), coordenadas UTM 7195873 m e 687606 m (Fuso 22 S).

Situação e cobertura vegetal: corte de estrada no terço inferior de encosta, sob cobertura de sucessão secundária inicial

Altitude: 930 m

Geologia: Argilitos da formação Guabirota (período Quaternário)

Pedregosidade: não pedregoso

Rochosidade: não rochoso

Relevo local e regional: ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Uso atual: sucessão secundária inicial

Raízes: fasciculadas comuns no horizonte A, secundárias comuns no AB

Outras observações: linhas de pedras nas profundidades de 55 a 64 cm, e na profundidade de 100-101 cm

Descrição morfológica

- A 0-11 cm; cinzento-avermelhado-escuro (5 YR 4/2, úmido) e cinzento avermelhado (5 YR 5/2, seco); franco argilosa; moderada muito pequena granular; ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- AB 11-55 cm; bruno (7,5 YR 4/4, úmido) e bruno forte (7,5 YR 4/6, seco); franco argilosa; moderada grande a média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso; transição clara e ondulada
- BA1 55-64 cm; bruno-avermelhado-claro (5 YR 6/4, úmido) e bruno forte (7,5 YR 5/6, seco); franco argilosa; moderada pequena a muito pequena blocos subangulares; duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
- BA2 64-84 cm; vermelho-amarelado (5 YR 5/6, úmido) e amarelo-avermelhado (5 YR 6/6, seco); franco argilosa; moderada média a pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- Bi 84-122 cm; vermelho (2,5 YR 4/6, úmido) e vermelho-amarelado (5 YR 4/6, seco); franco argilosa; moderada médio a grande blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e ondulada.
- CB 122-135 cm; bruno-avermelhado (5 YR 5/4, úmido) mosqueado comum médio distinto cinzento-esverdeado-claro (10 Y 8/1, úmido e seco), vermelho (5 R 5/8, úmido) e vermelho escuro (7,5 R 3/8, seco), amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6, úmido) e amarelo (10 YR 7/6, seco); franco argilosa; moderada grande blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e ondulada.
- C 135-200 cm⁺; coloração variegada composta de vermelho (2,5 YR 5/6, úmido e 10 R

4/8, seco), cinzento-esverdeado-claro (10 Y 7/1, úmido e 10 Y 8/1, seco), vermelho (5 R 5/8, úmido e seco); franco argilosa; moderada grande blocos angulares; duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	areia fina	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
		dag kg ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹					
A	0-11	12	24	36	28	1,29	6,0	4,2	0,13	0,03	0,0	5,0
AB	11-55	22	16	30	32	0,94	1,2	0,8	0,05	0,02	3,1	11,3
BA1	55-64	10	28	26	36	0,72	0,8	0,6	0,05	0,01	3,0	11,3
BA2	64-84	8	28	32	32	1,00	0,7	0,6	0,04	0,01	3,0	10,5
Bi	84-122	22	10	36	32	1,13	0,6	0,4	0,04	0,01	4,0	12,1
CB	122-135	4	30	28	38	0,74	0,6	0,5	0,07	0,02	5,3	15,2
C	135-200	4	36	32	28	1,14	0,5	0,5	0,07	0,02	8,8	17,6

Horiz.	Prof. cm	pH em água	pH em KCl	pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
				mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		%		cmol _c kg ⁻¹ argila		
A	0-11	5,8	5,0	5,3	1,8	31,7	10,4	15,4	67,4	0,0	0,2	54,9
AB	11-55			4,2	1,0	19,6	2,07	13,4	15,5	60,0	0,1	41,8
BA1	55-64	5,2	4,2	4,1	0,8	8,1	1,46	12,8	11,4	67,3	0,1	35,4
BA2	64-84	5,1	4,2	4,2	0,6	8,8	1,46	12,0	12,2	67,3	0,1	37,4
Bi	84-122			4,2	0,7	3,9	1,05	13,2	8,0	79,2	0,1	41,1
CB	122-135	5,4	4,2	4,2	0,7	2,1	1,19	16,4	7,3	81,7	0,1	43,1
C	135-200	5,3	4,1	4,1	0,8	1,5	1,09	18,7	5,8	89,0	0,1	66,8

PERFIL 04

Classificação: Cambissolo Húmico Distrófico típico

Localização, coordenadas, município, estado: estrada rural próximo a Colônia Faria, Colombo (PR), coordenadas UTM 7194390 m e 688354 m (Fuso 22 S).

Situação e cobertura vegetal: corte de estrada no terço inferior de encosta, em área de pousio de milho, com ocorrência de papuã (*Brachiaria plantaginea*) e serralha (*Sonchus oleraceus*).

Altitude: 930 m

Geologia: Argilitos da formação Guabirota (período Quaternário)

Pedregosidade: não pedregoso

Rochosidade: não rochoso

Relevo local: suave ondulado

Relevo regional: ondulado a suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Uso atual: área de cultivo de lavouras anuais, atualmente em pousio

Raízes: fasciculadas comuns no horizonte A, e poucas no AB e BA

Descrição morfológica

A1 0-27 cm; bruno-acinzentado (2,5 Y 3/2, úmido) e bruno amarelado escuro (10YR 4/4,

- seco); franco argilosa; moderada pequena a muito pequena granular e pequena blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- A2 27-65 cm; bruno-acinzentado-muito escuro (10 YR 3/2, úmido) e bruno forte (7,5 YR 4/6, seco); franco argilosa; moderada grande blocos subangulares; firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana
- AB 65-95 cm; bruno-amarelado (10 YR 5/4, úmido) e bruno amarelado escuro (10YR 4/6, seco); franco argilosa; moderada grande blocos subangulares; duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- BA 95-112 cm; vermelho (2,5 YR 4/8, úmido) e vermelho (1,5 YR 5/8, seco); argilosa; moderada grande a média blocos subangulares e pequena granular; muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- Bi 112-180 cm; vermelho (10 R 5/8, úmido) e vermelho (10R 5/8, seco); argilosa; moderada grande blocos angulares a subangulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
- BC 180-200 cm⁺; vermelho (10 R 5 YR 5/8, úmido) e vermelho (10R 5/8, seco) mosqueado comum pequeno proeminente cinzento claro (2,5 Y 7/1, úmido), amarelo-claro-acinzentado (2,5 Y 7/4, úmido) e cinzento-muito-escuro (2,5 Y 3/1, úmido); argilosa; moderada grande blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	areia fina	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
		dag kg ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹					
A1	0-27	8	26	36	30	1,20	1,4	1,3	0,34	0,02	1,8	9,0
A2	27-65	6	28	36	30	1,20	0,6	0,4	0,35	0,01	2,7	11,3
AB	65-95	10	26	30	34	0,88	0,6	0,4	0,11	0,01	3,7	8,4
BA	95-112	6	28	24	42	0,57	0,5	0,4	0,07	0,01	1,7	7,8
Bi	112-180	8	20	26	46	0,57	0,7	0,5	0,05	0,02	3,1	10,5
BC	180-200	4	16	40	40	1,00	0,6	0,4	0,07	0,03	4,0	13,1

Horiz.	Prof. cm	pH em água	Ph em KCl	pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
					mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			%	cmol _c kg ⁻¹ argila	
A1	0-27	5,2	4,2	4,4	2,5	34,1	3,06	12,1	25,4	37,0	0,2	40,2
A2	27-65	4,5	4,2	4,2	1,4	32,9	1,36	12,7	10,7	66,5	0,1	42,2
AB	65-95	4,9	4,3	4,3	0,2	10,6	1,12	9,5	11,8	76,8	0,1	28,0
BA	95-112	4,8	4,3	4,3	0,4	12,4	0,98	8,8	11,2	63,4	0,1	20,9
Bi	112-180	5	4,2	4,2	0,4	3,3	1,27	11,8	10,8	70,9	0,2	25,6
BC	180-200	5,2	4,2	4,2	0,4	2,7	1,1	14,2	7,7	78,4	0,2	35,5

PERFIL 07

Classificação: Cambissolo Húmico Alumínico típico

Localização, coordenadas, município, estado: estrada próximo Pousada Quatro Barras, município de Quatro Barras (PR), coordenadas 7191761 m e 690006 m (Fuso 22 S).

Situação e cobertura vegetal: corte de estrada no terço médio de encosta, sob pouso

Altitude: 920 m

Geologia: Argilitos e arcósios da formação Guabirotuba (período Quaternário)

Pedregosidade: não pedregoso

Rochosidade: não rochoso

Relevo local: ondulado

Relevo regional: ondulado a forte ondulado

Erosão: laminar ligeira

Drenagem: bem drenado

Uso atual: pousio

Raízes: fasciculadas abundantes no A1 e A2, raras no AB e BA

Descrição morfológica

- A1 0-28 cm; cinzento (7,5 YR 5/1, seco) e cinzento escuro (7,5 YR 4/1, úmido); argilosa; moderada média a pequena blocos subangulares e granular pequena a muito pequena; poros muito pequenos e poucos; muito duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- A2 28-62 cm; bruno amarelado escuro (10 YR 4/4, seco) e bruno escuro (10 YR 3/3, úmido); argilosa; moderada média a pequena blocos subangulares e granular pequena a muito pequena; poros muito pequenos e poucos; duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e plana
- AB 62-74 cm; bruno (7,5 YR 5/2, seco) e bruno escuro (7,5 YR 3/2, úmido); argilo siltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; poros muito pequenos e poucos; firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
- BA 74-88 cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco e 10 YR 5/6, úmido); argilosa; moderada muito pequena a pequena blocos subangulares; poros muito pequenos e poucos; muito duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- Bi 88-122 cm; amarelo avermelhado (7,5 YR 6/8, seco) e bruno forte (7,5 YR 5/8, úmido); argilosa; moderada pequena a média blocos subangulares a angulares; poros muito pequenos e poucos; muito duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- BC 122-137 cm; vermelho amarelado (5 YR 5/6, seco e 5YR 4/6, úmido); argilosa; moderada média a pequena blocos subangulares; poros muito pequenos e poucos; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- CB 137-147 cm; amarelo avermelhado (5 YR 6/6, seco) e vermelho amarelado (5 YR 5/6, úmido); argilosa; moderada média a grande blocos angulares; poros muito pequenos e poucos; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
- C 147-168 cm⁺; amarelo avermelhado (7,5 YR 6/8, seco) e vermelho amarelado (5 YR 5/6, úmido), com mosqueado comum médio e distinto cinza claro (5 YR 7/1, seco) e cinza (5 YR 6/1, úmido), e mosqueado pouco médio proeminente preto (5 YR 2,5/1, seco e úmido); argilosa; forte média a grande blocos angulares; muito duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	areia fina	silte	argila	Relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
A1	0-28	10	12	36	42	0,86	3,3	2,1	0,24	0,04	6,6	16,3
A2	28-62	10	10	36	44	0,82	1,1	0,6	0,18	0,04	11,4	16,3
AB	62-74	8	8	42	42	1,00	1,3	1,0	0,21	0,05	8,3	19,0
BA	74-88	6	8	32	54	0,59	1,7	1,2	0,26	0,05	15,4	22,0
Bi	88-122	8	10	34	48	0,71	3,6	2,6	0,26	0,04	13,1	19,0
BC	122-137	10	14	32	44	0,73	4,8	3,9	0,23	0,05	7,4	17,6
CB	137-147	8	6	30	56	0,54	4,9	4,0	0,33	0,06	7,2	16,3
C	147-168	2	2	38	58	0,66	14,2	9,2	0,35	0,08	7,5	16,3

Horiz.	Prof. cm	pH em CaCl ₂	P mg kg ⁻¹	C orgânico g kg ⁻¹	SB cmol _c kg ⁻¹	CTC %	V %	Sat. Al	Sat.Na	CTC cmol _c kg ⁻¹ argila
A2	28-62	4,1	1,0	22,0	1,92	18,2	10,5	85,6	0,2	41,4
AB	62-74	4,1	1,0	14,2	2,56	21,6	11,9	76,4	0,2	51,3
BA	74-88	4,1	0,4	7,5	3,21	25,2	12,7	82,8	0,2	46,7
Bi	88-122	4,2	0,7	3,9	6,50	25,5	25,5	66,8	0,2	53,1
BC	122-137	4,3	0,9	3,9	8,98	26,6	33,8	45,2	0,2	60,4
CB	137-147	4,3	0,7	2,1	9,29	25,6	36,3	43,7	0,2	45,7
C	147-168	4,4	0,8	2,1	23,8	40,1	59,4	23,9	0,2	69,2

PERFIL 11

Localização, coordenadas, município, estado: próximo à suinocultura da Estação Experimental do Canguiri, município de Pinhais (PR), coordenadas UTM 687420 m e 7190407 m (Fuso 22 S).

Situação e cobertura vegetal: barranco de estrada, em terço médio de encosta, com cobertura de estepe gramíneo lenhosa.

Altitude: 935 m

Geologia: Sedimentos argilosos do Holoceno

Pedregosidade: não pedregoso

Rochosidade: não rochoso

Relevo local: suave ondulado

Relevo regional: suave ondulado a ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Uso atual: área de campo

Raízes: muitas fasciculadas finas comuns médias no A1, comuns fasciculadas finas no A2, poucas e finas no AB e BA, raras e finas no Bi1, Bi2 e Bi3, e ausentes no C1 e C2.

Observação: linha de seixos na profundidade de 113 a 115 cm

Descrição morfológica

- A1 0-14 cm; cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmido); franco argilosa; moderada muito pequena blocos subangulares e forte pequena a muito pequena granular; muitos poros pequenos e muito pequenos, e poros comuns médios; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- A2 14-30 cm; bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmido); franca; moderada média blocos subangulares e forte pequena a muito pequena granular; muito poros pequenos e muito pequenos, e poucos poros médios; ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico, transição clara e plana.
- AB 30-45 cm; bruno escuro (10 YR 3/3, úmido); franco siltosa; moderada média e grande prismática; muitos poros muito pequenos e pequenos, e poros comuns médios; plástico a ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- BA 45-60 cm; bruno amarelado escuro (10YR 3/4, úmido); franco argilosa; moderada média blocos subangulares; muitos poros muito pequenos e pequenos, e poucos poros médios; ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana.
- Bi1 60-80 cm; bruno (7,5 YR 4/4, úmido); franco argilosa; moderada grande blocos subangulares; muitos poros muito pequenos e pequenos, e poros comuns médios; pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e plana.
- Bi2 80-92 cm; bruno forte (7,5 YR 5/6, úmido); argilo siltosa; moderada a forte grande blocos subangulares; muitos poros pequenos e médios; pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e plana.
- Bi3 92-115 cm; vermelho amarelado (5 YR 4,5/6, úmido); argilosa; moderada a forte média e grande blocos subangulares; poros poucos e pequenos; ligeiramente plástico e pegajoso; transição abrupta e plana;
- C1 115-134 cm; bruno amarelado (10 YR 5/8, úmido); argilosa; maciça coerente; poros poucos e pequenos; ligeiramente pegajoso a pegajoso, ligeiramente plástico; transição difusa e plana.
- C2 134-150 cm⁺; coloração variegada composta de amarelo brunado (10 YR 5/8, úmido) e cinzento claro (10 YR 7/1, úmido); argilo siltosa; maciça coerente; ligeiramente pegajoso a pegajoso e ligeiramente plástico.

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	Areia fina	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
		dag kg ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹					
A1	0-14	30		38	32	1,19	12,0	5,0	0,09	0,06	0,0	5,0
A2	14-30	30		48	22	2,18	4,9	4,2	0,05	0,03	0,0	7,2
AB	30-45	20		58	22	2,64	1,0	0,9	0,05	0,02	2,4	10,5
BA	45-60	28		34	38	0,89	0,9	0,6	0,05	0,02	2,8	12,1
Bi1	60-80	24		44	32	1,38	0,6	0,4	0,04	0,01	2,0	10,5
Bi2	80-92	16		44	40	1,10	1,0	0,9	0,03	0,01	1,3	7,2
Bi3	92-115	10	18	32	40	0,80	0,8	0,6	0,04	0,01	1,5	8,4
C1	115-134		12	40	48	0,83	0,8	0,7	0,20	0,01	4,0	19,0
C2	134-190	2	2	52	44	1,18	1,5	0,9	0,24	0,03	17,3	20,4

Horiz.	Prof. cm	pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
			mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		%		cmol _c kg ⁻¹ argila	
A1	0-14	5,6	1,0	45,0	17,2	22,2	77,4	0,0	0,3	69,2
A2	14-30	5,3	0,6	41,4	9,18	16,4	56,0	0,0	0,2	74,5
AB	30-45	4,5	0,1	26,3	1,97	12,5	15,8	54,9	0,2	56,7
BA	45-60	4,4	0,2	18,4	1,57	13,7	11,5	64,1	0,1	36,0
Bi1	60-80	4,4	0,2	2,7	1,05	11,6	9,1	65,6	0,1	36,1
Bi2	80-92	4,4	0,2	6,3	1,94	9,1	21,2	40,1	0,1	22,9
Bi3	92-115	4,3	0,7	5,1	1,45	9,9	14,7	50,8	0,1	24,6
C1	115-134	4,1	0,2	3,9	1,71	20,7	8,3	70,1	0,0	43,1
C2	134-190	4,1	0,7	2,7	2,67	23,1	11,6	86,6	0,1	52,4

PERFIL 12

Classificação: Cambissolo Háplico Ta Eutrófico gleico

Localização e município, estado: próximo à Igreja Maria José, Quatro Barras (PR).

Situação e cobertura vegetal: barranco de estrada, em linha de drenagem em declive, no terço superior de encosta, com cobertura de sucessão secundária intermediária.

Altitude: 920 m

Geologia: Arcósios e argilitos da Formação Guabirota

Pedregosidade: não pedregoso

Rochosidade: não rochoso

Relevo local: ondulado

Relevo regional: ondulado

Erosão: ligeira em sulcos superficiais

Drenagem: bem drenado

Uso atual: sucessão secundária intermediária

Observação: linha de seixos na profundidade de 113 a 115 cm

Descrição morfológica

- A 0-12 cm; bruno escuro (7,5 YR 3/2, úmido) e bruno (7,5 YR 4/2, seco); franco argilosa; fraca pequena a média blocos subangulares; ligeiramente duro, firme, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e difusa.
- Bi 12-28 cm; bruno amarelado (10 YR 5/4, úmido) e bruno amarelado claro (10 YR 6/4, seco); argilosa; moderada média blocos subangulares; ligeiramente duro, firme, não plástico e não pegajoso; transição gradual e ondulada.
- C 28-76 cm; bruno amarelado escuro (10 YR 4/4, úmido) e bruno amarelado claro (10 YR 6/4, seco); franco argilosa; moderada grande blocos subangulares; muito duro, muito firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
- Cg 76-147 cm⁺; cinzento escuro (10 YR 4/1, úmido) e cinzento claro (10 YR 7/2, seco); franco argilo arenosa; moderada grande blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	areia fina	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
A	0-12	8	16	48	28	1,71	17,7	6,08	0,44	0,13	0,0	2,4
Bi	12-28	12	18	30	40	0,75	8,43	5,58	0,45	0,07	0,3	4,3
C	28-76	12	24	30	34	0,88	8,23	4,93	0,21	0,07	0,4	5,0
Cg	76-147	20	34	22	24	0,92	2,1	1,73	0,06	0,02	1,2	4,6

Horiz.	Prof. cm	pH em CaCl ₂	P mg kg ⁻¹	C orgânico g kg ⁻¹	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
A	0-12	5,9	12,9	58,2	24,4	26,8	91,0	0,0	0,5	95,6
Bi	12-28	4,9	1,5	10,6	14,5	18,8	77,2	2,0	0,4	47,1
C	28-76	4,7	0,3	9,4	13,4	18,4	72,9	2,9	0,4	54,2
Cg	76-147	4,3	0,4	5,7	3,91	8,5	45,9	23,5	0,2	35,5

ANEXO VI - PERFIS DE SOLOS DA BACIA DO RIO TIMBÚ

PERFIL 51

Classificação: Cambissolo Háptico Ta Distrófico típico

Localização, coordenadas, município, estado: próximo ao Hospital Angelina Caron, município de Campina Grande do Sul (PR), coordenadas UTM 7195037 m e 692915 m (Fuso 22 S).

Situação e declive: terço superior de encosta, em declive de até 3%.

Geologia: Argilitos da formação Guabirota (período Quaternário)

Pedregosidade: não pedregosa

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: suave ondulado

Relevo regional: suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Uso atual: pastagem

Outras observações: linha de pedras na profundidade de 120 cm

Descrição morfológica

- Ap 0-20 cm; bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2, úmido) e bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4, seco); franca; fraca muito pequena blocos subangulares; macio, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- A 20-60 cm; preto (10 YR 2/1, úmido) e bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, seco); franco argilosa; fraca muito pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana
- AB 60-90 cm; bruno-avermelhado (5 YR 5/4, úmido) e vermelho-amarelado (5 YR 5/8, seco); franco argilosa; fraca pequena blocos subangulares; duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- BA 90-130 cm; vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmido) e vermelho-amarelado (5 R 5/8, seco); franco argilosa; moderada pequena blocos subangulares; duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e ondulada.
- Bi 130-215 cm; vermelho-acinzentado (10 R 4/4, úmido) e vermelho (10 R 4/8, seco); franco argilosa; forte média blocos subangulares; muito duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e ondulada.
- BC 215-250 cm; vermelho (2,5 YR 5/6, úmido) e vermelho (2,5 YR 5/8, seco); franco argilo arenosa; fraca pequena granular; macia, solta, não plástico e não pegajoso; transição gradual e ondulada.
- C 250-320+ cm; vermelho-amarelado (5 YR 5/6, úmido) e vermelho-amarelado (5 YR 5/8, seco); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares e granular; macio, solto, não plástico e não pegajoso.

Horiz.	Prof.	areia grossa	areia fina	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
Ap	0-20	18	20	38	24	1,58	0,7	0,6	0,11		4,0	12,1
A	20-60	18	22	30	30	1,00	0,5	0,3	0,05		3,5	11,3
AB	60-90	16	22	30	32	0,94	0,5	0,3	0,03		1,9	8,4
BA	90-130	18	26	26	30	0,87	0,4	0,3	0,04		3,0	11,3
Bi	130-215	20	26	24	30	0,80	0,4	0,2	0,04		3,7	11,3
BC	215-250	30	22	18	30	0,60	0,4	0,2	0,06		5,5	14,1
C	250-315	32	24	22	22	1,00	0,5	0,3	0,06		5,6	14,1

Horiz.	Prof.	pH em água	pH em KCl	pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat. Na	CTC
Ap	0-20			4,1	3,0	43,2	1,41	13,51	10,4	73,9		56,3
A	20-60			4,2	1,5	24,5	0,85	12,15	7,0	80,5		40,5
AB	60-90			4,2	0,6	6,3	0,83	9,23	9,0	69,6		28,8
BA	90-130			4,1	1,0	5,1	0,74	12,04	6,1	80,2		40,1
Bi	130-215			4,1	0,8	3,9	0,64	11,94	5,4	85,3		39,8
BC	215-250			4,1	0,4	2,7	0,66	14,76	4,5	89,3		49,2
C	250-315			4,1	0,8	2,7	0,86	14,96	5,7	86,7		68,0

PERFIL 52

Instituição: Universidade Federal do Paraná

Classificação: Alissolo Crômico Argilúvico abruptico

Localização e município, estado: estrada rural próximo ao Jardim Paulista, em área da Sanepar próximo à ponte, no município de Campina Grande do Sul (PR).

Situação e cobertura vegetal: terço inferior de encosta, sob cobertura sucessão secundária intermediária

Geologia: argilitos da formação Guabirotuba (período Quaternário)

Pedregosidade: não pedregosa

Rochosidade: não rochosa

Relevo local e regional: ondulado

Erosão: ligeira em sulcos

Drenagem: bem drenado

Uso atual: sucessão secundária intermediária

Descrição morfológica

- A1 0-19 cm; bruno-avermelhado-escuro (10 YR 3/4, úmido) e bruno-acinzentado (10 YR 5/2, seco); franco argiloso; moderada pequena granular; ligeiramente duro, friável, não plástico e não pegajoso; poros comuns e pequenos; transição gradual e plana.
- A2 19-28 cm; bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2, úmido) e cinzento-brunado-claro (10 YR 6/2, seco); franco argilo arenoso; moderada média granular; ligeiramente duro, friável, plástico e não pegajoso; poros poucos e pequenos; transição gradual e plana
- AB 28-38 cm; bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2, úmido) e bruno-claro-acinzentado

- (10 YR 6/3, seco); franco argilosa; moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente duro, firme, plástico e não pegajoso; poros pequenos; transição clara e plana.
- Bt 38-85 cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/6, úmido) e bruno-amarelado (10 YR 5/6, seco); argilosa; moderada grande a média blocos subangulares; duro, firme, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e ondulada.
- BC 85-98 cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4, úmido) e bruno-amarelado-claro (10 YR 6/4, seco); argilo siltosa; moderada média a grande blocos angulares; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e ondulada.
- CB 98-128 cm; argilosa; moderada grande blocos angulares; muito duro, muito firme, plástico e pegajoso; poros poucos e pequenos; transição difusa e ondulada.
- C 128-140⁺ cm; argilo siltosa; bruno-claro-acinzentado (10 YR 6/3, úmido) e cinzento-claro (10 YR 7/2, seco); moderada grande blocos angulares; ligeiramente duro, muito firme, plástico e não pegajoso; poros poucos e pequenos.

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	areia fina	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
A1	0-19	16	8	46	30	1,53	4,9	3,1	0,27		3,5	15,2
A2	19-28	36	14	24	26	0,92	3,1	2,1	0,15		5,0	15,2
AB	28-38	12	16	36	36	1,00	6,7	3,8	0,19		5,4	15,2
Bt	38-85	4	8	32	56	0,57	9,9	3,8	0,23		7,6	16,3
BC	85-98	4	8	44	44	1,00	10,4	5,6	0,24		8,6	17,6
CB	98-128	4	10	36	50	0,72	10,3	5,7	0,22		7,5	17,6
C	128-140	6	4	46	44	1,05	16,1	8,5	0,03		5,0	12,1

Relação textural (B/A) = 1,63

Horiz.	Prof. cm	pH em água	pH em KCl	pH em CaCl ₂	P mg kg ⁻¹	C orgânico g kg ⁻¹	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
A1	0-19			4,2	3,7	38,3	8,27	23,47	35,2	29,7		78,2
A2	19-28			4,2	1,0	18,4	5,35	20,55	26,0	48,3		79,0
AB	28-38			4,3	0,5	17,2	10,69	25,89	41,3	33,6		71,9
Bt	38-85			4,3	0,4	16,0	10,69	26,99	39,6	33,6		48,2
BC	85-98			4,3	0,1	8,1	16,24	33,84	48,0	34,6		76,9
CB	98-128			4,3	0,1	5,7	16,22	33,82	48,0	31,6		67,6
C	128-140			4,3	2,0	3,3	24,63	36,73	67,1	16,9		83,5

PERFIL 53

Classificação: Cambissolo Húmico Alumínico típico (embora não exista o subgrupo, seria mais indicado Cambissolo Húmico Alumínico argissólico)

Localização e município, estado: estrada rural próximo a Timbú Velho, no município de Campina Grande do Sul (PR).

Situação e cobertura vegetal: terço superior da encosta, sob cobertura de sucessão secundária intermediária

Geologia: argilitos da formação Guabirotuba (período Quaternário)

Pedregosidade: não pedregosa

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: plano

Relevo regional: ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Uso atual: sucessão secundária intermediária

Descrição morfológica

- A1 0-32 cm; cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2, seco); franco argilosa; moderada pequena granular; solta, friável, plástico e não pegajoso; poros poucos muito pequenos; transição difusa e ondulada.
- A2 32-43 cm; cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2, úmido); franco argilosa; moderada pequena granular; solto, friável, plástico e não pegajoso; poros poucos muito pequenos; transição difusa e ondulada
- AB 43-54 cm; moderada média a grande granular; solto, muito friável, plástico e não pegajoso; poros poucos e muito pequenos; transição gradual e ondulada.
- BA 54-64 cm; forte média blocos subangulares; argilosa; solto, firme, plástico e não pegajoso; poros poucos e pequenos; transição gradual e ondulada.
- Bi 64-92 cm; amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6, úmido) e amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/8, seco); forte média blocos subangulares; ligeiramente duro, firme, plástico e não pegajoso; poros poucos e pequenos; transição gradual e plana.
- C 92-105 cm; branco (10 YR 8/1, úmido e seco) com mosqueado bruno muito claro-acinzentado (10 YR 8/4, úmido) e amarelo (10 YR 8/6, seco); forte média blocos subangulares; poros poucos e pequenos; ligeiramente duro, muito firme, muito plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.
- CR 105-110⁺ cm; branco (10 YR 8/1, úmido e seco) com mosqueado vermelho (2,5 YR 4/6 úmido e 2,5 YR 4/8, seco), e mosqueado bruno-claro (7,5 YR 6/4, úmido) e amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6, seco); forte grande prismática.

Horiz.	Prof. cm	Areia grossa	areia fina	silte	argila	Relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
							dag kg ⁻¹					
A1	0-32	12	16	38	34	1,12	0,8	0,7	0,03		4,4	14,1
A2	32-43	16	16	34	34	1,00	0,4	0,3	0,03		3,9	14,1
BA	54-64	6	10	32	52	0,62	0,3	0,2	0,02		4,4	15,2
Bi	64-92	6	6	34	54	0,63	0,3	0,2	0,03		3,9	12,1
C	92-105	4	4	28	64	0,44	0,4	0,2	0,03		3,8	11,3
CR	105-110	6	8	38	48	0,79	0,4	0,2	0,03		3,3	11,3

Relação textural (B/A) = 1,56

Horiz.	Prof. cm	pH em água	pH em KCl	pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
					mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		%		cmol _c kg ⁻¹ argila	
A1	0-32			4,0	1,6	36,5	1,53	15,63	9,8	74,2		46,0
A2	32-43			4,0	1,6	24,5	0,73	14,83	4,9	84,2		43,6
BA	54-64			4,0	0,1	11,2	0,52	15,72	3,3	89,4		30,2
Bi	64-92			4,0	2,3	7,5	0,53	12,63	4,2	88,0		23,4
C	92-105			4,1	0,8	6,3	0,63	11,93	5,3	85,8		18,6
CR	105-110			4,2	0,4	3,3	0,63	11,93	5,3	84,0		24,9

PERFIL COMPLEMENTAR 54

Classificação provável: Gleissolo Melânico típico

Localização e município, estado: próximo a Timbú Velho, município de Campina Grande do Sul (PR).

Situação: corte de estrada no terço médio de encosta

Pedregosidade: não pedregosa

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: plano

Relevo regional: suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: mal drenado

Uso atual: área de cultivo de lavouras anuais

Descrição morfológica

- A 0-80 cm; fraca pequena a média blocos subangulares; ligeiramente duro, solto, plástico e não pegajoso; poros pequenos e muitos; transição difusa e ondulada.
- AC 80-95 cm; moderada pequena a média blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso; poros poucos pequenos; transição difusa e ondulada
- C 95-180 cm; forte média a grande prismática; duro, muito friável, não plástico e não pegajoso.

PERFIL 55

Classificação: Alissolo Crômico Húmico câmbico

Localização e município, estado: estrada rural próximo a Timbú Velho, município de Campina Grande do Sul (PR).

Situação e cobertura vegetal: terço superior de encosta, em área de ocorrência de bracatinga (*Mimosa scabrella*).

Geologia: argilitos da formação Guabirotuba (período Quaternário)

Pedregosidade: não pedregosa

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: ondulado

Relevo regional: suave ondulado a ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Uso atual: bracatinga (*Mimosa scabrella*)

Raízes: muitas fasciculadas até o horizonte C e poucas pivotantes grossas até 90 cm

Outras observações: linha de pedras (cascalhos e calhaus) na profundidade de 90 cm.

Descrição morfológica

- A1 0-28 cm; bruno-escuro (7,5 YR 3/4, úmido) e bruno-forte (7,5 YR 4/4, seco); franco argiloso; fraca pequena granular e grãos simples; muito friável, não plástico e não pegajoso; poros muitos e pequenos; transição difusa e plana.
- A2 28-86 cm; bruno-amarelado (10 YR 3/4, úmido) e bruno (10 YR 4/3, seco); franca; fraca pequena granular e grãos simples; muito friável, não plástico e não pegajoso; poros muitos e pequenos; transição abrupta e plana
- Bi 86-102 cm; vermelho (2,5 YR 4/8, úmido e 2,5 YR 5/8, seco); argilosa; moderada média blocos subangulares; friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; poros comuns e pequenos; transição clara e plana.
- BC 102-114 cm; vermelho (2,5 YR 4/8, úmido) e vermelho-claro (2,5 YR 6/6, seco); argilosa; moderada grande blocos; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; poros comuns e pequenos; transição clara e plana.
- C 114-150+ cm; vermelho (2,5 YR, úmido) e vermelho-claro (2,5 YR 7/8, seco); argilo siltsosa; maciça; firme, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso.

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	areia fina	Silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
		dag kg ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹					
A1	0-28	18	16	38	28	1.36	2.7	2.1	0.13		3.5	16.3
A2	28-86	20	20	36	24	1.50	1.1	0.6	0.07		4.2	15.2
Bi	86-102	6	8	36	50	0.72	0.7	0.5	0.04		5.7	16.3
BC	102-114	4	6	40	50	0.80	0.9	0.6	0.09		8.2	19.0
C	114-150	2	4	42	52	0.81	0.9	0.6	0.13		10.6	20.4

Horiz.	Prof. cm			pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al		CTC
					mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			%		cmol _c kg ⁻¹ argila
A1	0-28			4.1	2.3	49.8	4.93	21.23	23.2	41.5		75.8
A2	28-86			4.1	1.2	30.5	1.77	16.97	10.4	70.4		70.7
Bi	86-102			4.1	1.2	12.4	1.24	17.54	7.1	82.1		35.1
BC	102-114			4.0	0.6	11.2	1.59	20.59	7.7	83.8		41.2
C	114-150			4.0	0.6	7.5	1.63	22.03	7.4	86.7		42.4

PERFIL 56

Classificação: Cambissolo Háplico Ta Distrófico

Localização e município, estado: próximo à localidade de Roseira, município de Campina Grande do Sul (PR).

Situação e cobertura vegetal: terço superior da encosta, em área de pastagem com exemplares isolados de *Pinus* sp.

Geologia: Argilitos da formação Guabirota (período Quaternário)

Pedregosidade: ligeiramente pedregosa

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: ondulado

Relevo regional: ondulado

Erosão: laminar ligeira

Drenagem: bem drenado

Uso atual: pastagem com *Pinus* sp.

Raízes: fasciculadas pivotantes poucas no A

Outras observações: linha de pedras, composta por seixos arredondados (cascalho e calhaus) nos horizontes Bi1 e Bi2.

Descrição morfológica

- A1 0-20 cm; bruno muito escuro (10 YR 2/2, úmido) e bruno-escuro (10 YR 3/3, seco); franca; fraca média blocos subangulares; poros pequenos; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição difusa e plana.
- A2 20-32 cm; bruno (10 YR 3/3, úmido) e bruno (7,5 YR 3/2, seco); franca; fraca pequena blocos subangulares; poros pequenos; friável, não plástico e não pegajoso; transição difusa e plana
- AB 32-54 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2, seco); franca; moderada média a grande blocos angulares; poros pequenos e poucos; firme, não plástico e não pegajoso; transição difusa e plana.
- Bi1 54-88 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmido) e bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/4, seco); franco argilosa; fraca pequena blocos subangulares; poros pequenos e poucos; firme, não plástico e não pegajoso; transição difusa e plana.
- Bi2 88-118 cm; vermelho (2,5 YR 4/6, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); franco argilo arenosa; fraca pequena blocos subangulares; poros pequenos e poucos; transição abrupta e plana.
- 2C 118-214 cm⁺; vermelho-amarelado (5 YR 5/6, úmido) e amarelo-avermelhado (5 YR 6/6, seco); argilosa; moderada média a grande blocos angulares; friável; não plástico e ligeiramente pegajoso.

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	areia fina	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
		dag kg ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹					
A1	0-20	18	18	44	20	2.20	2.8	2.1	0.11		1.5	10.5
A2	20-32	16	16	42	26	1.62	1.3	0.7	0.06		2.0	12.1
AB	32-54	16	22	36	26	1.38	0.9	0.6	0.02		2.5	12.1
Bi1	54-88	22	22	24	32	0.75	0.6	0.4	0.03		3.0	10.5
Bi2	88-118	22	26	20	32	0.63	0.5	0.3	0.03		2.9	10.5
2C	118-214	4	14	40	42	0.95	0.6	0.4	0.07		6.2	16.3

Horiz.	Prof. cm	pH em água	pH em KCl	pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
					mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		%		cmol _c kg ⁻¹ argila	
A1	0-20			4.4	3.1	47.4	5.01	15.51	32.3	23.0		77.6
A2	20-32			4.3	2.1	30.5	2.06	14.16	14.5	49.3		54.5
AB	32-54			4.2	1.2	34.1	1.52	13.62	11.2	62.2		52.4
Bi1	54-88			4.2	0.6	18.4	1.03	11.53	8.9	74.4		36.0
Bi2	88-118			4.1	0.6	12.4	0.83	11.33	7.3	77.7		35.4
2C	118-214			4.0	0.6	3.3	1.07	17.37	6.2	85.3		41.4

PERFIL 57

Classificação: Neossolo Regolítico Distrófico típico

Localização, coordenadas, município, estado: município de Campina Grande do Sul (PR), coordenadas 7197585 m e 688425 m (Fuso 22 S).

Geologia: Argilitos e arcósios da formação Guabirotuba (período Quaternário)

Pedregosidade: não pedregosa

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: plano a suave ondulado

Relevo regional: suave ondulado a ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: moderadamente drenado

Uso atual: lavoura de milho

Raízes: muitas fasciculadas no A, poucas fasciculadas no AC e raras no C

Descrição morfológica

A 0-30 cm; preto (2,5 YR 2,5/1, úmido); fraca pequena granular; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.

AC 30-56 cm; bruno-acinzentado-escuro (2,5 YR 4/2, úmido); moderada pequena blocos subangulares e fraca pequena granular; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e ondulada.

C 56-143 cm⁺; coloração variegada composta de cinzento-claro (5 Y 7/2, úmido), amarelo (5 Y 8/6, úmido) e amarelo-claro-acinzentado (5 Y 8/2, úmido); grãos simples a fraca muito pequena granular.

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	areia fina	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
		dag kg ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹					
A	0-30						2.05	0.45	0.11		3.0	12.1
AC	30-56						0.30	0.21	0.01		1.6	7.2
C	56-143						0.15	0.16	0.02		1.6	5.0

Horiz.	Prof. cm	pH em água	pH em KCl	pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al	Sat.Na	CTC
					mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			%		cmol _c kg ⁻¹ argila
A	0-30			4.2	5.7	37.7	2.61	14.7	17.7	53.5		
AC	30-56			4.2	1.5	6.3	0.52	7.72	6.7	75.5		
C	56-143			4.2	0.7	3.9	0.33	5.33	6.2	82.9		

PERFIL 58

Classificação: Cambissolo Húmico Distrófico típico

Localização, coordenadas, município, estado: município de Campina Grande do Sul (PR), coordenadas UTM 7197585 m e 688425 m (Fuso 22 S).

Geologia: Argilitos e arcósios da formação Guabirotuba (período Quaternário)

Pedregosidade: Não pedregoso

Rochosidade: não rochoso

Relevo local: plano a suave ondulado

Relevo regional: suave ondulado a ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: moderadamente drenado

Uso atual: lavoura de milho

Descrição morfológica

- A1 0-40 cm; preto (5 Y 2,5/1, úmido); franco argilo arenosa; fraca pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
- A2 40-80 cm; preto (5 Y 2,5/1, úmido); argilo arenosa; moderada grande blocos angulares; muito firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
- AB 80-96 cm; cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmido); fraca pequena granular; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.
- Bi 96-114 cm; amarelo (10 YR 7/6, úmido); franco argilo arenosa; moderada média blocos angulares a subangulares; firme, plástico, ligeiramente pegajoso.
- C 114-163 cm; coloração variegada composta de amarelo-avermelhado (5 YR 6/8, úmido), branco (5 Y 8/1, úmido) e amarelo-claro-acinzentado (5 Y 8/3, úmido); franco argilo arenosa.

Horiz.	Prof. cm	areia grossa	areia fina	silte	argila	relação silte/argila	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al
		dag kg ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹					
A1	0-40	26	22	24	28	0.86	4.45	1.07	0.21		1.0	11.1
A2	40-80	28	24	14	34	0.41	1.1	0.41	0.08		1.5	9.7
AB	80-96						0.28	0.20	0.11		1.7	8.4
Bi	96-114	28	24	18	30	0.60	0.55	0.21	0.03		2.0	5.8
C	114-163	38	28	12	22	0.55	0.43	0.12	0.04		1.5	4.3

Horiz.	Prof. cm			pH em CaCl ₂	P	C orgânico	SB	CTC	V	Sat. Al		CTC
					mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			%		cmol _c kg ⁻¹ argila
A1	0-40			4.5	3.0	54.0	5.73	16.83	34.0	14.9		60.1
A2	40-80			4.4	1.5	26.9	1.59	11.29	14.1	48.5		33.2
AB	80-96			4.2	1.9	14.2	0.59	8.99	6.6	74.2		
Bi	96-114			4.2	0.4	5.1	0.79	6.59	12.0	71.7		22.0
C	114-163			4.2	0.4	2.7	0.59	4.89	12.1	71.8		22.2