



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA**

**EFEITO DO CULTIVO DE SOJA SOBRE A SAÚDE
AMBIENTAL DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA ÁREA
DE INFLUÊNCIA DA BR-163, PARÁ**

CHRISTIANE PATRÍCIA OLIVEIRA DE AGUIAR

**Santarém, Pará
Abril, 2013**

CHRISTIANE PATRÍCIA OLIVEIRA DE AGUIAR

**EFEITO DO CULTIVO DE SOJA SOBRE A SAÚDE
AMBIENTAL DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA ÁREA
DE INFLUÊNCIA DA BR-163, PARÁ**

**ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ REINALDO PACHECO PELEJA
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. KEID NOLAN SILVA SOUSA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia.

Área de concentração: Estudos e Manejos dos Ecossistemas Amazônicos.

**Santarém, Pará
Abril, 2013**

EFEITO DO CULTIVO DE SOJA SOBRE A SAÚDE AMBIENTAL DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163, PARÁ

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, Área de concentração: Estudos e Manejos dos Ecossistemas Amazônicos. Aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia, nível de mestrado, da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, em 02 de abril de 2013.

Prof. Dr. Luis Reginaldo Ribeiro Rodrigues (UFOPA)
Coordenador do PGRNA

Apresentada à Comissão Examinadora, integrada pelos Professores:

Prof. Dr. Ricardo Bezerra de Oliveira (UFOPA)
Examinador 01

Prof. Dr. Sérgio de Melo (UFOPA)
Examinador 02

Prof. Dr. Lucinewton Silva de Moura (UFOPA)
Examinador 03

Prof. Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja (UFOPA)
Orientador

Prof. Dr. Keid Nolan Silva Sousa (UFOPA)
Co-orientador

Santarém, Abril, 2013.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS RONDON - UFOPA
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: Nome

0000 De Aguiar, Christiane Patrícia Oliveira.

Efeito do cultivo de soja sobre a saúde ambiental de microbacias hidrográficas na área de influência da BR-163, Pará, Santarém, 2013.

Nº Páginas.197.

Bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia, Área de concentração: Estudos e Manejos dos Ecossistemas Amazônicos).
Universidade Federal do Oeste do Pará, 2013.

Orientador: Prof. Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja.

Co-Orientador: Prof. Dr. Keid Nolan Silva Sousa.

1. Qualidade da água 2. Uso do solo 3. Rodovia BR-163

DEDICATÓRIA

Á minha mãe, Maria das Graças, que transferiu a mim, a capacidade de sonhar, lutar e perseverar.

Ao meu esposo e companheiro, Danicley, pelo apoio e incentivos em todos os momentos da elaboração deste.

AGRADECIMENTOS

Durante a trajetória dessa longa jornada, tive a oportunidade de conhecer pessoas que agregaram conhecimento e experiências e, outras, que apoiaram e fortaleceram os alicerces da alma para a construção da dissertação ora apresentada, que julgo de grande importância para a compreensão e proteção de nossa bela e rica região, bem como para subsídio técnico e acadêmico de futuras pesquisas. Por essa razão, gostaria de agradecer a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste:

Dedico este trabalho à Deus, fonte de minha existência e de todas as vitórias até aqui alcançadas;

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia (PPGRNA), da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), na pessoa do Prof. Dr. Luís Reginaldo Ribeiro Rodrigues, Coordenador do Programa, pela oportunidade do aprimoramento acadêmico;

Aos meus orientadores Prof. Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja e Prof. Dr. Keid Nolan Silva Sousa, por acreditarem na proposta deste trabalho e por terem contribuído para meu aprimoramento profissional;

Aos professores do PPGRNA, que compartilharam além do conhecimento, experiências, competência e profissionalismo;

Ao IBAMA, pela autorização de pesquisa na Flona-Tapajós;

À ADEPARÁ, STTR-Santarém e Greenpeace, pelos relatórios e informações técnicas;

Ao Sr. Arthur Arruda Pinheiro, vulgo “Sem Terra”, e Milena Dayse Ribeiro Monteiro, pelo apoio logístico nas atividades em campo;

A toda equipe do Laboratório de Biologia Vegetal (LBV): Edvaldo, Elthon, Flávia, Maria Aparecida, Marília, Milena, Suellen, Waldinete e Zilner, pelo apoio na realização das análises e pela amizade construída;

À Wagner Luiz Gonçalves da Silva, do Laboratório de Cartografia da UFOPA, pelas contribuições e apoio na elaboração de mapas;

Aos colegas de mestrado pela amizade e companheirismo;

Agradeço ainda a todos os trabalhadores e trabalhadoras das comunidades envolvidas nessa pesquisa, razão deste trabalho, que forneceram informações locais para o entendimento da realidade vivida por eles na região.

Peço perdão àqueles que involuntariamente omiti o nome. A todos, minha sincera gratidão.

EPÍGRAFE

“O cuidado entra na natureza e na constituição do ser humano... Sem o cuidado, ele deixa de ser humano. Se não receber cuidado desde o nascimento até a morte, o ser humano desestrutura-se, definha, perde sentido e morre. Se, ao largo da vida, não fizer com cuidado tudo que empreender, acabará por prejudicar a si mesmo e por destruir o que estiver a sua volta... O cuidado deve ser entendido na linha da essência humana”.

Leonardo Boff

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xv
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xix
1 INTRODUÇÃO GERAL	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 PANORAMA DA ÁGUA COMO RECURSO NATURAL E SUA IMPORTÂNCIA	22
2.1.1 Disponibilidade de água no mundo e Brasil	22
2.1.2 Demanda dos recursos hídricos no Brasil	24
2.1.3 Microbacias hidrográficas	26
2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO SÓCIO-ECONÔMICO-AMBIENTAL DA SOJA ..	27
2.2.1 Importância da soja	27
2.2.2 Mercado nacional e internacional da soja	28
2.2.3 A expansão da soja no Brasil	29
2.2.4 Aspectos socioambientais da cadeia produtiva	31
2.3 QUALIDADE DA ÁGUA	39
2.3.1 Clorofila-a	40
2.3.2 Coliformes termotolerantes (CT)	41
2.3.3 Condutividade elétrica (CE)	41
2.3.4 Cor	42
2.3.5 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	42
2.3.6 Fósforo total (PT)	43
2.3.7 Nitrato (NO_3^{-1})	44
2.3.8 Nitrito (NO_2^{-1}).....	46
2.3.9 Nitrogênio amoniacal	47
2.3.10 Oxigênio dissolvido (OD)	47
2.3.11 Potencial hidrogeniônico (pH)	48
2.3.12 Sólidos totais (ST)	49
2.3.13 Temperatura (T)	50
2.3.14 Total de sólidos dissolvidos (TDS)	51
2.3.15 Turbidez (Tu)	51
3 OBJETIVOS	52
3.1 OBJETIVO GERAL	52
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	52
4 MATERIAL E MÉTODOS	53
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	53
4.1.1 Área de influência da rodovia Cuiabá-Santarém (rodovia BR-163)	53
4.1.2 Bacias hidrográficas de Santarém e Belterra	55
4.2 COLETA DA ÁGUA	56
4.2.1 Amostragem e delineamento experimental	56
4.2.2 Procedimentos para coleta e armazenamento das amostras de água ..	60
4.3 ANÁLISE DA ÁGUA	61

4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA	62
4.4.1 Índice de Qualidade da Água (IQA)	63
4.4.2 Índice de Estado Trófico (IET)	66
4.4.3 Resolução CONAMA nº 357/05	68
4.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DE PAISAGENS, INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA ASSOCIADOS A CAMPOS DE SOJA NO PLANALTO DE SANTARÉM E BELTERRA	69
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS SOB DIFERENTES USOS DA TERRA, NOS MUNICÍPIOS DE SANTARÉM E BELTERRA – ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR- 163	89
RESUMO	90
ABSTRACT	91
INTRODUÇÃO	92
MATERIAL E MÉTODOS	95
RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
CONCLUSÕES	118
BIBLIOGRAFIA	119
CAPÍTULO 2 - NÍVEL DE TROFIA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS SOB DIFERENTES USOS DE SOLO, NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163, PARÁ, BRASIL	125
RESUMO	126
ABSTRACT	127
INTRODUÇÃO	128
MATERIAL E MÉTODOS	130
RESULTADOS E DISCUSSÃO	136
CONCLUSÕES	151
BIBLIOGRAFIA	152
CAPÍTULO 3 - AGRICULTURA E QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163, NOS MUNICÍPIOS DE SANTARÉM E BELTERRA, PARÁ, BRASIL	157
RESUMO	158
ABSTRACT	159
INTRODUÇÃO	160
MATERIAL E MÉTODOS	163
RESULTADOS E DISCUSSÃO	167
CONCLUSÕES	178
BIBLIOGRAFIA	180
5 SÍNTESE INTEGRADORA	184
ANEXOS	185
APÊNDICES	191

LISTA DE TABELAS

INTRODUÇÃO GERAL

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos da coleta de água	57
Tabela 2 – Parâmetros medidos em campo e instrumentos utilizados	60
Tabela 3 – Parâmetros medidos em laboratório, instrumentos e métodos de análise empregados	62
Tabela 4 – Parâmetros utilizados no IQA com respectivos pesos	63
Tabela 5 – Classificação da qualidade da água, de acordo com o IQA	65
Tabela 6 – Classificação do estado trófico de rios, segundo o índice de Carlson modificado	68

CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS SOB DIFERENTES USOS DA TERRA, NOS MUNICÍPIOS DE SANTARÉM E BELTERRA – ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos da coleta de água para análises limnológicas	96
Tabela 2 – Parâmetros medidos em laboratório, instrumentos e métodos de análise empregados	98
Tabela 3 – Parâmetros utilizados no IQA com respectivos pesos	99
Tabela 4 – Classificação da qualidade água, de acordo com o IQA	100
Tabela 5 – Resultados dos IQAs e parâmetros componentes, conforme variação temporal	102
Tabela 6 – Dados morfométricos e fisiográficos de uso do solo das microbacias hidrográficas	105
Tabela 7 – Matriz de correlação de Pearson entre variáveis limnológicas, IQA, cobertura vegetal e uso agrícola, durante o período de estiagem	111
Tabela 8 – Matriz de correlação de Pearson entre variáveis limnológicas, IQA, cobertura vegetal e uso agrícola, durante o período chuvoso	113

CAPÍTULO 2 - NÍVEL DE TROFIA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS SOB DIFERENTES USOS DE SOLO, NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163, PARÁ, BRASIL

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos da coleta de água para análises limnológicas 132

Tabela 2 – Classificação do IET de rios, segundo o índice de Carlson modificado por Lamparelli 134

Tabela 3 – Classificação do IET adaptada segundo cores 135

Tabela 4 – Resultados de IET, de acordo com Carlson modificado por Lamparelli 137

Tabela 5 – Dados morfométricos e fisiográficos de uso do solo das microbacias hidrográficas 146

CAPÍTULO 3 - AGRICULTURA E QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163, NOS MUNICÍPIOS DE SANTARÉM E BELTERRA, PARÁ, BRASIL

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos da coleta de água 164

Tabela 2 – Parâmetros medidos em laboratório, instrumentos e métodos de análise empregados 166

Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas e biológicas, para o período de estiagem 168

Tabela 4 – Resultados das análises físico-químicas e biológicas, para o período chuvoso 169

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

Figura 1 – Arco do desmatamento	33
Figura 2 – Mapa temático do desmatamento acumulado até o ano de 1997 e o incremento no período entre 1997 e 2009, na região de Santarém	35
Figura 3 – Área de influência da rodovia BR-163	53
Figura 4 – Região do planalto dos municípios de Santarém e Belterra	56
Figura 5 – Localização dos pontos de amostragem por microbacias, com ênfase às suas áreas de drenagem	59
Figura 6 – Fotos da coleta e análise das águas superficiais em campo	61
Figura 7 – Curvas médias de qualidade	64
Figura 8 – Janela de inserção de dados do aplicativo de cálculo do IQA	66
Figura 9 – Demonstração esquemática dos principais procedimentos adotados para relacionar as formas de uso e cobertura do solo, com a qualidade da água amostrado nos pontos de coleta	70
Figura 10 – Exemplo de vetorização e delimitação do contexto hidrográfico envolvente na área à montante do ponto de interceptação amostral da bacia	70
Figura 11 – Exemplo de identificação e delimitação das classes de uso do solo no contexto hidrográfico envolvente da área à montante do ponto de interceptação amostral da bacia	71
 CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS SOB DIFERENTES USOS DA TERRA, NOS MUNICÍPIOS DE SANTARÉM E BELTERRA – ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163	
Figura 1 – Área de influência da rodovia BR-163	95
Figura 2 – Valores médios de IQA por microbacias, independente de região e período de coleta	103
Figura 3 – Valores médios de IQA por regiões, independente de microbacias e período de coleta	104

Figura 4 – Valores médios de IQA em função da área total da bacia, em Km ² , durante o período chuvoso	106
Figura 5 – Valores médios de IQA em função da região, durante os períodos chuvoso e de estiagem	108
Figura 6 – Valores de IQA em função da porcentagem de uso agrícola, durante o período de estiagem	109
Figura 7 – Valores de IQA em função da porcentagem de uso agrícola, durante o período chuvoso	109
Figura 8 – Mapa temático para o IQA, durante o período de estiagem	116
Figura 9 – Mapa temático para o IQA, durante o período chuvoso	117
CAPÍTULO 2 – NÍVEL DE TROFIA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICA SOB DIFERENTES USOS DO SOLO, NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163, PARÁ, BRASIL	
Figura 1 – Área de influência da rodovia BR-163	131
Figura 2 – Valores médios de IET por microbacias, independente de região e período de coleta	138
Figura 3 – Valores médios de IET por regiões, independente de microbacia e período de coleta	139
Figura 4 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento do IET quantitativo perante a variação temporal para a área da Curuá-Una	140
Figura 5 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento do IET quantitativo perante a variação temporal para a área do PA-Mojú	140
Figura 6 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento entre os tratamentos região, estação e IET	142
Figura 7 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento entre os tratamentos região, estação e concentração de fósforo total	144
Figura 8 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento entre os tratamentos região, estação e concentração de clorofila-a	145
Figura 9 – Matriz de correlação descrevendo a relação entre o fósforo total e o percentual de uso agrícola, durante os períodos de estiagem e chuvoso	147
Figura 10 – Mapa temático para o IET, durante o período de estiagem	149
Figura 11 – Mapa temático para o IET, durante o período chuvoso	150

**CAPÍTULO 3 - AGRICULTURA E QUALIDADE DA ÁGUA EM
MICROBACIAS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163, NOS
MUNICÍPIOS DE SANTARÉM E BELTERRA, PARÁ, BRASIL**

Figura 1 – Área de influência da rodovia BR-163	161
Figura 2 – Localização dos municípios de Santarém e Belterra	164

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOVE	Associação Brasileira de Indústrias de Óleos Vegetais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADEPARÁ	Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará
APHA	American Public Health Association
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AWWA	American Water Works Association
BASA	Banco da Amazônia
CE	Condutividade elétrica
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CL	Clorofila
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CT	Coliformes Termotolerantes
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio ambiente
COOPVAG	Cooperativa de Profissionais Liberais do Vale do Araguaia
CPT	Comissão Pastoral da Terra
CSD	Comissiono n Sustainable Development
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FBOMS	Fórum Brasileiro de Organizações Não Governamentais e Movimentos Sociais para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
Flona	Floresta Nacional
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FNUAP	Fundo das Nações Unidas para a População
GPS	Sistema de Posição Global
GT	Grupo de trabalho
Ha	Hectare

IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICTA	Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IET	Índice de Estado Trófico
Incra	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IQA	Índice de Qualidade da Água
J	Jusante
Km	Quilômetro
LBA	Laboratório de Biologia Ambiental
M	Montante
µg	Micrograma
µS	Microsiemens
mg	Miligrama
mL	Mililitro
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMA	Ministério do Meio Ambiente
N	Nitrogênio
NMP	Número Mais Provável
NSF	National Sanitation Foundation
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
PAM	Produção Agrícola Municipal
PA-Mojú	Projeto de Assentamento Mojú
pH	Potencial hidrogeniônico
PNCS	Programa Nacional de Conservação dos Solos
PNMH	Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PRIMAZ	Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia
PT	Fósforo Total
PRODES	Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite

SAGRI	Secretaria de Estado de Agricultura
SEMAB	Secretaria Municipal de Agricultura e Abastecimento
SEMAD	Secretaria Municipal de Administração
SEPOF	Secretaria Estadual de Planejamento, Orçamento e Finança
SIH	Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
ST	Sólidos Totais
T	Temperatura
t	Tonelada
TDS	Total Dissolvido de Sólidos
Tu	Turbidez
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará
UNESCO	Comissão das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
USDA	United States Department of Agriculture
WEF	Water Environment Federation

DE AGUIAR, Christiane Patrícia Oliveira. **Efeito do cultivo de soja sobre a saúde ambiental de microbacias hidrográficas na área de influência da BR-163, Pará.** 2013. 197 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Estudos e Manejos dos Ecossistemas Amazônicos - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2013.

RESUMO

O meio ambiente vem sofrendo as consequências do aumento populacional que busca na expansão da agricultura e pecuária, a segurança alimentar mundial. Essas atividades tem sido palco de discussões quanto aos possíveis impactos que podem acarretar aos recursos naturais, especialmente os hídricos. A finalidade deste trabalho foi a de verificar o possível efeito dos diversos usos de solo em áreas de agricultura tradicional e mecanizada, na área de influência da BR-163, nos municípios de Santarém e Belterra (PA), e relacionar os possíveis impactos aos recursos hídricos existentes. Para isso, foram pesquisadas 27 microbacias, durante a estação chuvosa e de estiagem, analisando-se parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os resultados foram comparados à legislação CONAMA nº 357/05 e utilizados para o cálculo dos Índices de Qualidade da Água (IQA) e de Estado Trófico (IET), que permitiram a classificação qualitativa dos corpos água.

Palavras-chave: Qualidade da Água, Uso do solo, Rodovia BR-163.

DE AGUIAR, Christiane Patrícia Oliveira. **Efeito do cultivo de soja sobre a saúde ambiental de microbacias hidrográficas na área de influência da BR-163, Pará.** 2013. 197 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Estudos e Manejos dos Ecossistemas Amazônicos - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2013.

ABSTRACT

The environment is suffering the consequences of population growth that seeks to expand agriculture and livestock, food security worldwide. These activities have been the stage for discussions about the possible impacts that may lead to natural resources, especially water. The purpose of this study was to test the possible effect of different land uses in areas of traditional agriculture and mechanized, the area of influence of the BR-163, in the municipalities of Santarém and Belterra (PA), and list the possible impacts to resources existing water. For this, 27 watersheds were surveyed during the rainy season and the dry season, analyzing physical, chemical and biological. The results were compared to legislation CONAMA No. 357/05 and used to calculate the Water Quality Index (WQI) and Trophic State (TSI), which allowed the qualitative classification of water bodies.

Key-Words: Water quality, Land use, BR-163 Highway.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A água do planeta é um recurso natural que recobre 77% da crosta terrestre e, apesar do grande percentual indicado, menos de 1% da água doce considerada própria para consumo, está acessível ao homem, na forma de rios e lagos, estando a maior parte da água doce imobilizada na forma de geleira e calotas de gelo ou em aquíferos subterrâneas (Barros, 2006; Rebouças, 2006; Hirata, R.; Viviani-Lima; Hirata, H., 2009; Esteves; Silva; Albertoni, 2011).

No mundo, o Brasil agrega 12% da água doce superficial, sendo a bacia amazônica detentora de 73% deste total. Tal informação causa uma falsa percepção ao coletivo, em especial ao amazônico, que se veem cercados por extensas áreas de rios, bem como de outros reservatórios, de que o recurso é infinito, causando o paradoxo entre a crescente escassez de água no planeta e a grande disponibilidade da mesma na Amazônia (Setti *et al.*, 2000; Pereira Jr., 2004; Blank; Homrich; Assis, 2008; Campos; Soares, 2008).

O crescimento demográfico, dentre outros fatores, tem provocado a intensificação das atividades agropecuárias e de indústria provocando pressão sobre os recursos hídricos para atender as demandas da população. Nesse contexto, a disponibilidade de água para a sobrevivência da espécie humana e da biosfera vem sendo comprometida, seja pela diminuição de sua disponibilidade ou pela possibilidade de contaminação provocada pelo uso de produtos químicos ou despejo de efluentes no meio ambiente (Setti *et al.*, 2000).

Os municípios de Santarém e Belterra, localizados no estado do Pará, são exemplos do processo descrito anteriormente. Nas últimas décadas, vivenciaram diversos ciclos econômicos, que trouxeram desenvolvimento a região. O mais recente é a expansão do cultivo de soja, iniciado no ano de 1997, que trouxe um novo “fôlego” a economia local. Nesse contexto, a paisagem das cidades antes ocupada por áreas florestais ou utilizada pela agricultura familiar e pecuária de pequena escala deram lugar a extensas áreas de agricultura mecanizada. Assim, será que a cadeia produtiva desse grão pode ocasionar alguma forma de degradação aos recursos hídricos existentes na região, que possam comprometer a qualidade do meio ambiente e da população?

Diante à breve exposição, o presente trabalho intitulado “Efeito do cultivo de soja sobre a saúde ambiental de microbacias hidrográficas na área de influência da BR-163, Pará” pretendeu avaliar a situação existente nos municípios de Santarém e Belterra. Para isso, o trabalho foi composto da seguinte forma: Inicialmente é apresentada a fundamentação teórica, com aspectos voltados à contextualização da água, soja e qualidade da água, para melhor compreensão do tema. O primeiro capítulo versa sobre a qualidade da água em microbacias hidrográficas, através do Índice de Qualidade das Águas (IQA). O nível de trofia das águas será abordado no capítulo 2, com finalidade de avaliar o grau de comprometimento ambiental diante do grau de enriquecimento por nutrientes. O último capítulo abordará a qualidade das águas superficiais, através de parâmetros físicos, químicos e biológicos sob a luz da legislação CONAMA 357/05. Em todos os capítulos, foi considerado o efeito espaço-temporal com finalidade de avaliar tais componentes, bem como o efeito da porcentagem da área da bacia ocupada com o cultivo. Por fim, é exibida a síntese integradora com as considerações finais do trabalho, delineando pontos relevantes do trabalho e futuras propostas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PANORAMA DA ÁGUA COMO RECURSO NATURAL E SUA IMPORTÂNCIA

2.1.1 Disponibilidade de água no mundo e Brasil

O planeta terra possui cerca de 77% da crosta recoberta por água, sendo 97,5% do total composta por água salina proveniente, na maioria, de oceanos e mares (96,5%), restando apenas 2,5% de água doce, considerada própria para uso humano (Rebouças, 2006; Esteves; Silva; Albertoni, 2011). Num contexto mais detalhado, dos 1,386 bilhões de Km³ de água no planeta, menos de 0,3% do total de água doce estão acessíveis ao homem, concentrados em reservatórios superficiais como rios e lagos, estando o restante imobilizado na forma de geleiras, calotas polares ou em aquíferos subterrâneos. Nota-se dessa forma, que apesar do volume total aparentemente alto, o nível disponível e acessível para consumo humano é de menos de 0,007% da água total na superfície terrestre, tornando a situação ainda mais flagrante (Shiklomanov, 1999; Paz; Teodoro; Mendonça, 2000). Neste contexto, um dos recursos naturais mais abundantes contrasta com a baixa quantidade de água doce, essencial a sobrevivência do homem bem como de toda a vida no planeta.

Quando se contextualiza a disponibilidade de água potável no mundo, percebe-se uma distribuição bastante heterogênea nos continentes. Sobre os continentes da América e Ásia escoam 40,2% e 31,6%, da água doce respectivamente, enquanto que os demais representam 28,2% do valor global (Maia Neto, 1997). Países como Canadá, Rússia e Austrália estão em situação privilegiada com níveis superiores a 15.000 m³/pessoa/ano enquanto outros, como Argélia e Jordânia, já apresentam risco de escassez com menos de 1.000 m³/pessoa/ano. De acordo com a classificação de disponibilidade de água de 1997, da Organização das Nações Unidas (ONU), esse é o valor limítrofe para a caracterização de estresse hídrico (Rebouças, 2003).

Em relação ao cenário global, o Brasil está em condição aparentemente confortável, detendo 12% da água doce superficial (Pereira Jr., 2004; Blank;

Homrich; Assis, 2008; Campos; Soares, 2008) e mais de 50% da América do Sul (Tucci; Hespanhol; Cordeiro, 2000), mas, da mesma maneira que no mundo, o percentual de distribuição não é distribuído uniformemente pelas regiões. De acordo com a Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (SRH/MMA), a região Norte detém cerca de 70% do volume atendendo menos de 7% da população, enquanto que as demais regiões dispõem de 30% para atender a mais de 90% dos brasileiros (Malvezzi, 2007; Barros; Amin, 2008).

Segundo pesquisadores, a capacidade de renovação e reposição seria suficiente para manter as condições de quantidade e qualidade do líquido, caso se respeitasse o ritmo do ciclo hidrológico e sua utilização racional (Mendes; Oliveira, 2004; Barros, 2006; Barros; Amin, 2008). O Ciclo Hidrológico é um processo cíclico e contínuo na biosfera onde ocorre o deslocamento das massas d'água dos mares para a atmosfera, por evaporação d'água e desta outra vez ao oceano, através de precipitações e escoamentos superficial e subterrâneo (Esteves, 1998; Setti *et al.*, 2000).

Nas últimas décadas, o ciclo hidrológico tem sofrido grandes alterações, além daquelas sofridas naturalmente ao longo dos anos, resultantes da interferência do homem sobre o meio ambiente, tais como: a destruição de matas florestais e ciliares, dragagem de áreas alagáveis, canalização e retificação de rios, dentre outros. Como consequência, pode ocorrer alteração da quantidade de água superficial escoada que, deixando de infiltrar no solo, provocará sua erosão e transporte de sedimentos para os rios, reduzindo dessa forma, a profundidade e vazão, com possível produção de enchentes, por esses leitos não suportarem as novas cargas de precipitação (Esteves; Silva; Albertoni, 2011).

Em regiões de várzea, a presença dos períodos de seca, enchente, cheia e vazante, influencia toda a vida aquática que sincroniza seu ciclo biológico às diversas alterações no meio (Bittencourt; Amadio, 2007). Nobre e colaboradores (2004) avaliaram que a existência desses ciclos da água da Amazônia é um dos responsáveis pelas mudanças climáticas e ambientais, desde a escala local a global, em virtude da modificação no uso do solo amazônico, que será discutido mais adiante.

A utilização desordenada e crescente das reservas hídricas vem promovendo o cenário de crescente escassez de água. Ainda que o ciclo se caracterize como um recurso renovável, por sua regenerativa, este é inelástico, pois os mananciais de

água doce são finitos (Barros, 2006). Assim, a fim de se evitar a gestão perniciosa das reservas disponíveis é necessária a intervenção de agentes governamentais e não governamentais para que se permita a sua sustentabilidade.

2.1.2 Demanda dos recursos hídricos no Brasil

O crescimento demográfico aliado ao desenvolvimento econômico e industrial, além da melhoria social pelo incremento da urbanização, dentre outros intensificaram a demanda por água no Brasil (Setti *et al.*, 2000; Barros, 2006; Barros; Amin, 2008).

A distribuição média de recursos hídricos utilizados no mundo é de 10% para consumo doméstico, 20% para a indústria e 70% é direcionada para a agricultura em atividades de irrigação, fornecedora de aproximadamente 40% da produção alimentar global (CSD, 1997; Campos; Soares, 2008). Na América do Sul, a produção agrícola demanda 78% dos recursos, enquanto que no Brasil, ela atinge 70,1%, estando a diferença distribuída entre a indústria (20%) e o consumo domiciliar (9,9%), (Setti *et al.*, 2000; PNUMA, 2002).

O aumento das atividades ligadas à indústria e agropecuária tem ocasionado adversidades às características limnológicas das águas ou em sua disponibilidade (Mendes; Oliveira, 2004; Barros, 2006; Barros; Amin, 2008). Margulis (1990) afirma que a má utilização do recurso hídrico, pode causar prejuízo às condições naturais de produção e de regeneração, podendo ocorrer o exaurimento do mesmo.

A prática da irrigação associada à ocupação desordenada e mal planejada dos solos nas bacias e aliado ao despejo de produtos químicos para o incremento da safra, desperta um cenário preocupante quanto à poluição e degradação dos mananciais, segundo Setti e colaboradores (2000).

Segundo Urban (2004), as atividades antrópicas utilizam em média 2,5 vezes mais água do que a existente naturalmente em todos os rios do planeta. Ayibotele (1992) revelou que a cada década, a disponibilidade de água por habitante tem diminuído em torno 20%. A América Latina, acompanhando a tendência, perdeu o equivalente a 75% de sua disponibilidade hídrica num período de 50 anos, passando de 105.000 m³, na década de cinquenta, a 28.300 m³, no ano 2000, demonstrando claramente, a acentuada perda de disponibilidade do recurso e uma forte tendência à escassez, além da crescente pressão sobre os aquíferos (Tundisi, 2003).

A Organização das Nações Unidas (ONU), citada por Camargo (2002), alertou durante a 7ª Conferência das Partes da Convenção da ONU sobre Mudanças Climáticas, em 2001, sobre o agravamento da escassez dos reservatórios de água decorrente das ações de derrubada das florestas e do desperdício e poluição dos mananciais e fez a previsão da falta de água ou de quantidade disponível ser inferior a cinquenta litros/dia, para quase metade dos habitantes no mundo, antes de 2050, tendo como as regiões mais afetadas os países em desenvolvimento, devido ao incremento populacional previsto para o mesmo período.

Em 2003, a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), responsável pelo Programa Mundial de Avaliação Hídrica, reafirmou em seu relatório sobre o desenvolvimento da água no mundo, no Terceiro Fórum Mundial da água, em Quioto, Japão, o alerta da ONU quanto à diminuição da oferta de água e sua crescente demanda, que poderão comprometer o acesso à água de boa qualidade (Camargo, 2002; Tundisi, 2003).

O mesmo relatório projetou que 2/3 dos habitantes no globo viverão em condições de estresse hídrico no ano de 2025, o que afetaria o crescimento tanto local quanto regional de países em desenvolvimento e, que até 2050, o risco de epidemias e de intensificações hidroconflitivas, como as existentes na Síria, Iraque e Turquia, pelo uso dos rios Tigre e Eufrates, seria enfrentado pela maioria dos habitantes do planeta tornando, neste contexto, a água um assunto de segurança e defesa do Estado (Santos, 2002; Tundisi, 2003).

Considerando que o aumento populacional global foi triplicado ao longo do século XX, que a área irrigada foi multiplicada por seis e que o consumo mundial foi aumentado em sete vezes, os reservatórios superficiais de água, segundo Santos (2002), estarão comprometidos até o ano de 2100, caso o crescimento continue.

Rekacewicz (2006) fez uma projeção da evolução do estresse hídrico no mundo para o ano de 2025. Comparando-se ao ano de 1995, continentes como Ásia, África e América do Norte apresentarão avanço considerável no processo de escassez e a oferta hídrica para países antes confortáveis, como Estados Unidos e China, será reduzida. Considerando a projeção exponencial para o crescimento populacional, o panorama de estresse hídrico restrito atualmente a uma pequena parcela dos continentes, poderá se estender, chegando ao colapso, caso não se ordene a gestão do recurso.

2.1.3 Microbacias hidrográficas

Em 05 março de 1987, foi instituído o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas (PNMH), através do Decreto nº 94.076, que incorporou o Programa Nacional de Conservação dos Solos (PNCS), instituído pelo Decreto nº 76.470, de 16 de outubro de 1975. O PNMH tem como diferencial o trabalho em unidades geográficas naturais visando o uso sustentável e a preservação dos recursos hídricos aliado ao aproveitamento agropecuário dessas unidades, através da adoção de práticas racionais dos recursos naturais passíveis de renovação (Brasil, 1987).

A bacia hidrográfica é conceituada como uma área de captação natural de águas pluviais, que escoam por um conjunto de superfícies e de cursos d'água, convergindo para um único leito d'água. As águas superficiais se originam por brotamento nas cabeceiras de áreas íngremes de serras e montanhas dando origem a riachos, que se unem formando rios de pequeno porte, estes por sua vez recebem água de outros tributários, dando origem a rios de maior volume que irão desembocar no oceano (Barrella *et al.*, 2001; Tucci, 2001). Cunha (2004) salienta que as bacias devem incorporar uma percepção integrada entre as condições naturais do ambiente e das atividades antrópicas nela desenvolvidas.

A microbacia hidrográfica é uma área de drenagem, com extensão inferior a 100 Km², que em conjunto com outras microbacias formam uma sub-bacia hidrográfica, com áreas entre 100 e 700 Km² (Faustino, 1996).

Os igarapés são componentes das microbacias. Estes são rios de pequena ordem que se caracterizam pelo leito bem delimitado, com correnteza relativamente acentuada, água com temperatura em torno de 26°C e pouco variável ao longo do ano, encobertos pelo dossel da floresta de terra firme, leito com presença de troncos caídos e cursos médios e superiores (Santos; Ferreira, 1999; Goch, 2007). A presença do dossel nos igarapés dificulta a penetração de luz, promovendo a baixa produção biológica e de alimentos para a biota (Walker, 1985; Espírito Santo, 2007). Dessa forma, a vegetação ripária funciona como a principal fonte de energia para sustentação da cadeia trófica. (Santos; Ferreira, 1999; Pazin, 2004; Ribeiro; Zuanon, 2006).

2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO SÓCIO-ECONÔMICO-AMBIENTAL DA SOJA

2.2.1 Importância da soja

Nos últimos 40 anos, a população mundial vem crescendo em descompasso com a produção de alimentos. Em 1970, éramos quase 3,7 bilhões de pessoas para uma produção de 1.225 toneladas (t) de grãos. Em 2005, a população chegou a 6,453 bilhões, aumentando em mais de 74%, nas últimas quatro décadas, enquanto que a produção aumentou em 81,2%, com 2.219,4 t. Este incremento na demanda por alimentos tem causado o aumento na procura por áreas aptas para o cultivo e a situação tende a aumentar ainda mais, segundo dados da FAO, que prevê 7,851 bilhões de habitantes para o ano de 2025 e que poderá chegar a mais de 9,1 bilhões, em 2050, segundo o relatório do Fundo das Nações Unidas para a População (FNUAP) (Scolari, 2006; FNUAP, 2010).

Devido ao seu elevado teor proteico com aproximadamente 38% em grãos, a soja vem despertando o interesse de nutricionistas, como produto de substituição a carnes, ovos, leite e outros derivados, em especial para regiões com menor desenvolvimento econômico, como alternativa para amenizar a carência proteica. Outro aspecto relevante está no fato de que o produto e seus derivados abrangem, basicamente, todos os países do mundo, seja este consumidor ou produtor/exportador. Dessa forma, a oleaginosa vem suprir a baixa oferta de matérias primas ricas nesse composto, demandados pelo crescimento populacional (Hühn, 1977; Bertrand *et al.*, 1987; Zanlorenzi, 1992; Barreto, 2004; Sanches; Michellon; Roessing, 2007).

A soja comercial - *Glycine max* (L) Merrill - é uma planta herbácea, pertencente a classe Dicotyledoneae, ordem Rosales, família Leguminosae, subfamília das Papilionoideae, gênero *Glycine* L (Barreto, 2004; Dong *et al.*, 2004). A leguminosa vem se destacando no mercado internacional, por sua boa adaptação aos diversos tipos de clima e fotoperíodo, além de sua notável variedade de produtos e subprodutos para alimentação humana, nutrição animal, além da indústria em geral (Muller, 1992; Sanches; Michellon; Roessing, 2007). Outras aplicações estão ligadas a medicina, produção de tintas, colas, protetores solares, biocombustíveis, dentre outros (Pinho, 2004; Sanches; Michellon; Roessing, 2007; Cavallet, 2008; Prediger *et al.*, 2011; Embrapa, 2012).

2.2.2 Mercado nacional e internacional da soja

O aumento na demanda por alimentos no mundo, decorrentes do crescimento demográfico e da renda *per capita* elevaram a exigência dos consumidores por produtos variados e de qualidade, aquecendo o mercado da soja no mundo (Flexor; Leão; Lima, 2006; Sanches; Michellon; Roessing, 2007; Matos *et al.*, 2008; Marouelli, 2009). O consumo do grão aumentou cerca de 85,0% nos países desenvolvidos na última década ao mesmo tempo em que os Estados Unidos vem reduzindo sua participação no mercado exportador (Sanches; Michellon; Roessing, 2007; Matos *et al.*, 2008). O Brasil aproveitando essa lacuna do mercado internacional, decorrente da necessidade dos países por excedentes agrícolas e industriais, ampliou inicialmente seu abastecimento interno avançando em fase posterior para o mercado externo, aumentando sua escala de produção e de lucro (Hunt, 2005).

Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), os Estados Unidos e o Brasil lideram a produção de soja no mundo com 35% e 27% do total de grãos, respectivamente, seguida pela Argentina, com 19% e China, com 6% no ano de 2010 (USDA, 2011). O Brasil, do ano de 2006 a 2011, aumentou sua produção em aproximadamente 19%, saindo de 59 para 70 milhões de toneladas, enquanto que os Estados Unidos, para o mesmo período, elevou sua produção em apenas 4,1%, saindo de 87 para 90,6 milhões de toneladas (USDA, 2012). A produção brasileira vem se demonstrado superior à norte-americana e, de acordo com o USDA e a Associação Brasileira de Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), citados por Caldarelli, Câmara e Sereia (2009), em breve, o Brasil deverá se tornar o maior produtor do grão no planeta.

O Brasil é o atual maior exportador do grão. A participação do “complexo soja” correspondeu a 20,8% das exportações mundiais, no período de 1990 a 1994, aumentando para 21,8%, de 1995 a 1999, e para 24,4% no período final de 2000 a 2004, chegando a 36,9% em 2007 e alcançando 51% no ano de 2010, desempenhado assim, papel relevante na pauta de exportações brasileiras, em especial, a partir da década de 2000 (Lima; May, 2005; FAO, 2008; WWF-Brasil 2012). O volume de exportações do complexo (grãos, farelo e óleo) no Brasil passou de US\$ 5,3 bilhões no ano de 2001 para US\$ 17 bilhões, em 2010,

equivalente a uma alta de quase 227% no período (Embrapa, 2012; WWF-Brasil, 2012).

A disponibilidade de novas tecnologias e de grandes extensões de terras a preços competitivos, fatores edafoclimáticos favoráveis, a não incidência de impostos (ICMS) na exportação de produtos agrícolas e a adoção de uma política cambial de livre flutuação do câmbio foram fatores determinantes para a expansão do agronegócio brasileiro (Mueller, 1992; Flexor; Leão; Lima, 2006; Scolari, 2006).

Ao longo das safras entre 1990/1991 e 2010/2011, a área plantada se expandiu em 248,2%, passando de 9,74 mil de hectares, na safra de 1990/1991 para 24,18 mil hectares na safra entre 2010/2011. No mesmo período, a produção quase quintuplicou, saltando de 15,4 milhões de toneladas, na safra de 1990/1991, para 75,32 milhões de toneladas na safra 2010/2011, representando um aumento de 489,1%. Se compararmos ao ano de 1975, quando a produção era de 10 milhões de toneladas/ano, o aumento foi de mais de 753%, segundo relatório da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012).

Além da expansão na produção, percebe-se no contexto internacional que o Brasil também vem se destacando graças a sua competitividade, determinadas pela abundância de recursos naturais, de mão-de-obra e pelo uso intensivo de tecnologia agropecuária, que tem proporcionado a elevação da produtividade e baixos custos (Alvim, 2004).

2.2.3 A expansão da soja no Brasil

A incorporação de grandes áreas do grão ocorreu inicialmente pelo Sul e Sudeste brasileiro, caminhando para a região Centro-Oeste, seguindo em direção aos cerrados do Nordeste e aos campos naturais da Amazônia Legal, onde foi introduzido inicialmente em caráter experimental, se expandindo rapidamente, graças ao conjunto de subsídios oferecidos pelas diversas esferas do governo (Lima; May, 2005).

O avanço do cultivo da soja para a região Amazônica se iniciou na década de 2000, com uma área irrisória em relação ao restante do país, com objetivo de reduzir custos com o escoamento do grão destinado à exportação pelos portos do Rio Madeira e através da rodovia Cuiabá-Santarém (Flexor; Leão; Lima, 2006). Contudo, o processo de desmatamento na Amazônia se iniciou ainda na década de 70,

através da ocupação pelo governo brasileiro, por meio de políticas públicas direcionadas a infraestrutura e assentamento de colonos em áreas florestais (Cohenca, 2005; Mueller; Bustamante, 2006).

A expansão da fronteira agrícola do grão no Estado do Pará se iniciou em 1994, através de incentivos governamentais, financiamentos pelo Banco da Amazônia (BASA) e pela geração de tecnologias por instituições como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa/Amazônia Oriental), que colaborou para a consolidação do desenvolvimento do monocultivo na região, em 1997, em especial para as regiões de Santarém e Paragominas (Carvalho; Tura, 2006; Flexor; Leão; Lima, 2006; Sanches; Michellon; Roessing, 2007; IBGE, 2012; SAGRI, 2012). As extensas áreas de terra, de baixo valor monetário, passíveis de mecanização pelo tipo de topografia, a abundância na oferta hídrica, condições climáticas favoráveis e mão-de-obra barata, dentre outros fatores, se acrescentaram aos fatores positivos que promoveu o avanço nas áreas de produção da oleaginosa e de outras monoculturas (Carvalho; Tura, 2006; Scolari, 2006; MAPA, 2007; Paixão Jr.; Nahum, 2010; Solinge, 2010).

No ano de 2000, a área plantada no Estado correspondia a 2,2 mil hectares. Em 2005, já chegava a 68 mil hectares e, seis anos mais tarde, alcançou o patamar 106 mil hectares. Durante o período de 1997 a 2011, a produção estadual aumentou de forma vertiginosa, passando de 1,3 mil toneladas para mais de 317,0 mil toneladas. Analisando-se o crescimento durante a última década, a produção aumentou acima dos 13.000% (IBGE, 2012). De acordo com Sanches, Michellon e Roessing, (2007), a criação de novas cultivares contribuiu para a expansão da monocultura para as regiões de clima tropical.

Atualmente, o Pará é o segundo maior produtor do grão de soja na região Norte, com 314,4 mil toneladas na safra 2010/2011, representando 15,9% do total produzido na região, de 1.977,2 mil toneladas, ficando atrás somente do estado de Tocantins que, no mesmo período, produziu 1.227,1 mil toneladas, equivalente a 62,1% da produção, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e CONAB (CONAB, 2012; MAPA, 2012b).

Santarém iniciou sua produção em 1997, com 50 hectares (Ha). Após a instalação do porto graneleiro da multinacional Cargill, em 2001, produtores de outras regiões, principalmente, dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, foram atraídos pela facilidade de escoamento da produção pela rodovia BR-163,

promovendo alterações nas atividades de uso do solo na região (Viana; Fonseca, 2009; Paixão Jr.; Nahum, 2010). Dois anos depois, a área do cultivo já tinha se expandido para mais de 4.000 Ha, chegando a 22.000 Ha, em 2005 com retração no ano de 2011 para 17.800 Ha, de acordo com a Produção Agrícola Municipal (PAM), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A produção da soja chega a Belterra, cinco anos depois do início da produção de Santarém com 150 ha, atingindo, seis anos depois, 15 mil ha e, acompanhando a tendência de Santarém, também reduziu sua área em 3.200 hectares em 2011, passando para 11.800 ha (IBGE, 2012).

Dessa forma, o agronegócio se destaca no Estado pela possibilidade de aumento da produção e pelo volume de exportações. Contudo, a expansão da monocultura na região gera preocupações sobre os possíveis impactos sociais e ambientais que podem comprometer o bioma amazônico.

2.2.4 Aspectos socioambientais da cadeia produtiva da soja

A soja, como outras culturas, possui necessidades básicas para o seu desenvolvimento. No sistema de plantio convencional, que vai da preparação do solo ao processo de colheita, diversos insumos e tecnologias são utilizados com a finalidade de melhorar a produção. A diversidade de opções existentes no mercado e o fácil acesso têm promovido o seu uso abusivo, acarretando degradação aos recursos ambientais e humanos. Por essa razão, a expansão da sojicultura tem sido palco de ampla discussão por diversos grupos onde de um lado se elenca as vantagens e, do outro, as desvantagens vinculadas ao agronegócio.

Assegurar alimentos em quantidade e qualidade a atual e futuras gerações é indiscutivelmente, um dos pontos mais favoráveis à produção de soja, mas até que ponto é possível conciliar a segurança alimentar ao desenvolvimento sustentável?

A cultura da soja tem contribuído para o desenvolvimento da economia de diversas regiões brasileiras, como no caso do Centro-Oeste do país, e para a geração de mais de 1,5 milhão de empregos na cadeia produtiva, em 17 estados, incluindo o Amazonas (CONAB, 2011; ABIOVE, 2012). Ao mesmo passo em que a cultura foi se expandindo, crimes de ordem ambiental, trabalhista e social foram crescendo.

Os impactos ambientais envolvem o desmatamento de florestas nativas com supressão de biomas. De acordo com relatórios técnicos de monitoramento do desmatamento no bioma cerrado, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), até o ano de 2010 foram desmatados 989.817 Km² de área, suprimindo o bioma em quase a metade (48,5%) de uma área de 2.039.386 Km², atingindo estados como o Mato Grosso e Bahia, produzindo danos ao solo e aos mananciais, além de conflitos fundiários (Sanchez; Shimabukuro; Barreto, 2003; MMA, 2009; Repórter Brasil, 2010; MMA, 2011).

Apesar da Moratória da Soja, o agronegócio tem sido apontado como um dos principais vetores de desflorestamento do Cerrado, que se expande para o bioma amazônico, em direção centro-norte, alterando o cenário de áreas verdes para extensos plantios do grão (Repórter Brasil, 2010; WWF-Brasil, 2012).

O monitoramento realizado pelo Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), realizado em 2005, indicou um avanço de 14% nos desmatamentos na região num período de trinta anos, que atingiu biomas da Amazônia e Cerrado, com vasta diversidade biológica, inseridas em uma área conhecida como “Arco do Desmatamento” (Figura 1), que compreende o sul da região desde o Maranhão até Rondônia (Nepstad *et al.*, 2001; INPE, 2005; Cohen *et al.*, 2007; Miragaya, 2008). De acordo com Margulis (2003), dos desmatamentos ocorridos no Arco, 75% estão localizados a menos de 25 Km de rodovias federais, estaduais e municipais do país.

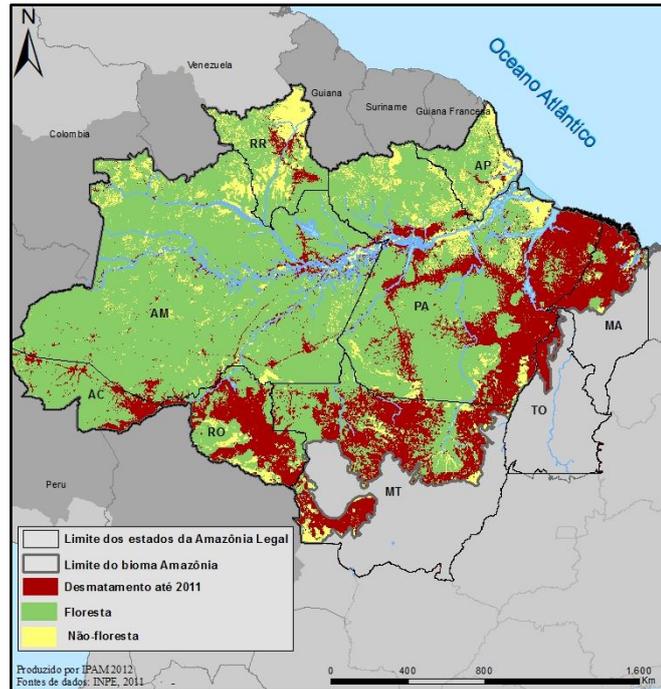


Figura 1 – Arco do desmatamento.
Fonte: IPAM, 2012.

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 33,5% do total do desmatamento acumulado na Amazônia Legal, em 2011, ocorreram no estado do Pará, correspondendo a uma área de mais de 250 mil Km² de floresta derrubada. Cerca de 14,6% da floresta amazônica foi suprimida, enquanto que no Pará, esse número cresceu para 20,1%. Em Santarém, a evolução do desflorestamento chegou a 20,2% da área do município e, em Belterra, 18,3% do território foi dizimado (INPE, 2012).

Após um pico na taxa de desmatamento da Amazônia Legal ocorrido em 2004 (27,7 mil Km²/ano), acompanhado pelo estado do Pará (8,9 mil Km²/ano), tem se observado uma considerada redução no incremento da área, passando de 19,0 mil Km², em 2005; a 12,9 Km², em 2008 e chegando a 6,4 Km², em 2011. Contudo, o Pará foi o estado que demonstrou a menor redução nessa taxa, mantendo média de 5,8 mil Km²/ano, seguida por Mato Grosso, com 5,3 Km²/ano (INPE, 2012). Segundo Souza (2010), isso está ligado ao processo de ocupação pela pecuária extensiva e pela expansão da fronteira agrícola na região.

Miragaya (2008) afirma que o vilão do desmatamento na Amazônia é a pecuária, especialmente na área que envolve o arco do desmatamento. De acordo com o autor, de 1990 a 2006, a expansão das áreas de pastagens foi de cerca de 19,3 milhões de hectares contra os 5,1 milhões de hectares de soja, correspondendo

a 68,7% e 48,6% da expansão nacional, que foi de 28,1 e 10,5 milhões de hectares, respectivamente.

Entretanto, a complexidade do processo que envolve o avanço do desmatamento é maior do que se pode imaginar. Alguns pesquisadores afirmam que o crescimento da cultura da soja na Amazônia, caminha ao lado da pecuária, envolvendo a participação de madeireiros, que iniciam o desmatamento para o aproveitamento da madeira, deixando o campo limpo para a atividade de criação de gado, fechando-se o ciclo com a compra das áreas pelos produtores de soja (Nepstad, 2001; Dantas; Fonteles, 2005). Em alguns casos, em virtude do uso exaustivo do solo e da diminuição do rendimento da produção, as áreas de plantio são abandonadas voltando às mãos dos fazendeiros, enquanto que os sojicultores iniciam a busca por novas terras para sua produção (Fearnside, 2001; Focus, 2010).

Fearnside (2001) também atribui aos pecuaristas o avanço da área descoberta nas florestas, uma vez que os sojicultores ocupam, na grande maioria, áreas antes desmatadas por produtores de gado, que se tornaram pouco produtivas ou que sentiram a pressão do avanço do grão. Dessa forma, os fazendeiros acabam por adentrar pela floresta, a procura de novas terras (Fearnside, 2001; Miragaya, 2008). Mesmo assim, o documento da pesquisa pelo grupo de trabalho sobre florestas (GT Florestas) do Fórum Brasileiro de Organizações Não Governamentais e Movimentos Sociais para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (FBOMS), realizado em Mato Grosso, indica uma correlação de 50% entre as taxas de desmatamento e o cultivo de soja (FBOMS, 2005).

O MAPA avalia que houve evolução no desmatamento para as duas áreas, independente de atividade. De acordo com o ministério, de 1960 para 2010, a área de produção bovina no Brasil passou de 122,3 para 170,0 milhões de hectares, equivalente a um aumento de 71,9%. Por outro lado, a área de plantio de soja saiu de 22 milhões de hectares, em 2006, para 47,5 milhões de hectares, em 2010, o que correspondeu a um crescimento de e 46,3% (MAPA, 2012a).

Estudos de Cohenca (2007) realizados na Flona-Tapajós apontam que a agricultura de subsistência também tem contribuído para o aumento da exploração da floresta primária. Durante o período de 1997 a 2005, 637 hectares foram desmatados em áreas menores que três hectares, consideradas de acordo com as normas de uso em unidades de conservação, enquanto que, em áreas maiores de oito hectares, de uso ilegal na maioria, foram desmatados 545 hectares de área. A

razão disso é o número excepcionalmente maior de pequenas áreas comparadas as grandes, esta última responsável por 45,6% da áreas desmatadas na região de planalto e 70,6% na área da BR-163 (21,3%).

Fato é que a área desmatada continua adentrando a cada ano na Amazônia Legal com consequências advindas da substituição da vegetação Amazônica pela cultura agrícola. A Figura 2 ilustra o processo de desmatamento acumulado até o ano de 1997 e o incremento entre o período de 1997 a 2009, período no qual ocorre a expansão do agronegócio na região santarena. Estudos afirmam que a substituição da floresta Amazônica pelo plantio de soja altera o albedo ocasionando perda de ondas longas durante o período da cultura, que poderá impactar as trocas entre a superfície e atmosfera, quando comparadas. O aumento no fluxo de calor sensível e redução do calor latente serão resultados da ausência da cobertura vegetal, na entressafra, e da redução na precipitação pluviométrica da região (Costa *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2008; Suyker; Verma, 2008; Chen *et al.*, 2009).

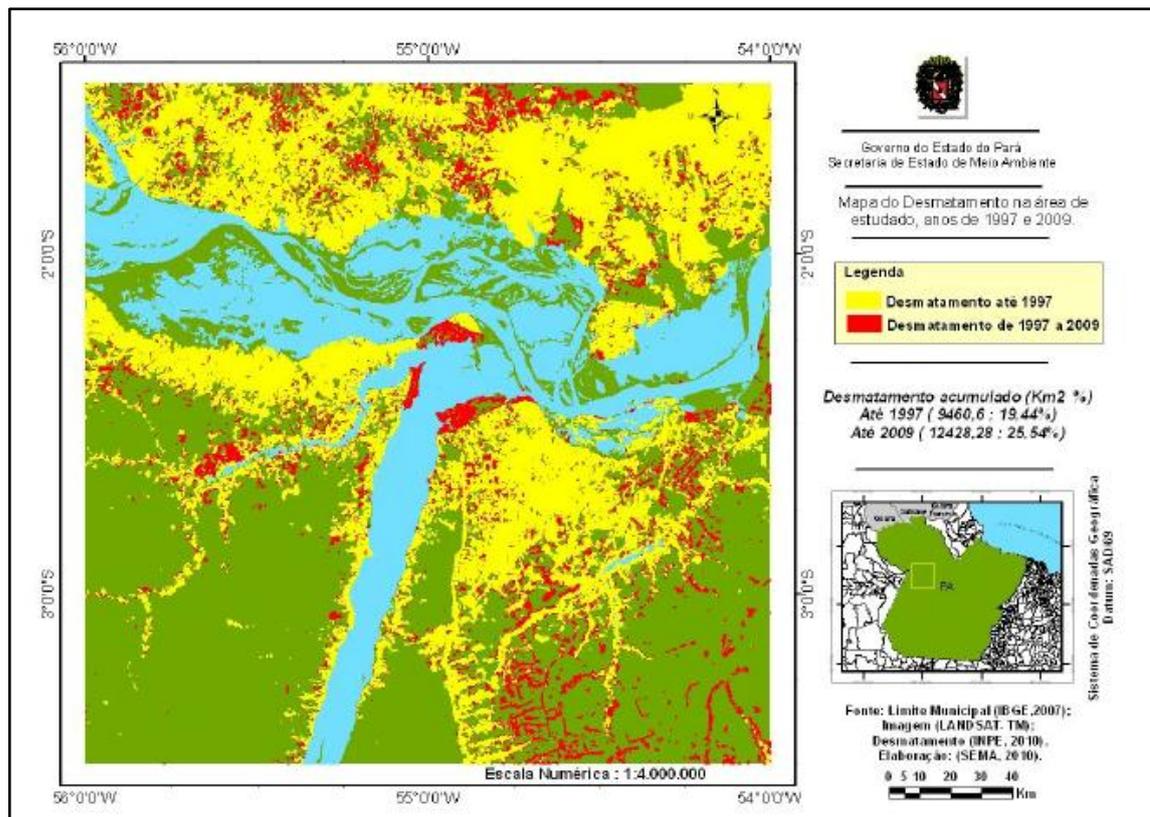


Figura 2 – Mapa temático do desmatamento acumulado até o ano de 1997 e o incremento no período entre 1997 e 2009, na região de Santarém.

Fonte: Batista, 2010.

O desaparecimento de cursos d'água e a contaminação de rios são consequências do desmatamento que ocorrem em áreas de preservação permanente ou de áreas não existentes de reserva legal, de acordo com o relatório do CMA, sobre os impactos da soja na safra 2009-2010 (Repórter Brasil, 2010). Alguns pesquisadores complementam relatando riscos que envolvem o assoreamento e contaminação das principais bacias hidrográficas, além da utilização desordenada do recurso hídrico em atividades de irrigação, com elevada perda de água do lençol freático (Santos; Câmara, 2002; Henriques, 2003).

A utilização de adubos químicos no agronegócio vem causando prejuízos tanto em nível social quanto ambiental nos continentes da Europa e América do Norte, por problemas oriundos da lixiviação dos compostos para a água. No Brasil, estados do Nordeste, como Pernambuco, já sofrem os danos das atividades agrícolas, bem como outros estados brasileiros, em vistas as atividades de agroindústria de frutas irrigadas e adubadas (Esteves; Meirelles-Pereira, 2011). De acordo com Silva e colaboradores (2005), infecções gastrintestinais até a morte podem ser causadas pelo uso de fertilizantes, pela veiculação de água contaminada dos ecossistemas aquáticos, com aumento de gastos com a saúde pública, redução da biodiversidade aquática e do estoque pesqueiro, desvalorização imobiliária, redução ou extinção de atividades turísticas, diminuição da qualidade de vida e redução nos negócios comerciais.

O uso de agrotóxicos, apesar de necessário para combater pragas e doenças, tem produzido efeitos indesejáveis a saúde humana e ambiental. A exposição vem sendo apontado por pesquisadores como agente de intoxicações, de alterações fisiológicas e psicológicas, e de óbitos em trabalhadores (Silva *et al.*, 1999; Silva, 2000; Alves Filho, 2002; Colosso; Tiramani; Maroni, 2003; Alavanja; Hoppin; Kamel, 2004; Recena; Pires; Caldas, 2006).

No ambiente, estudos têm demonstrado a presença de resíduos dos agrotóxicos em águas superficiais, de poços artesianos, chuvas, em amostras de sangue coletadas de anfíbios, alguns destes com alterações morfológicas (Moreira *et al.*, 2012). O potencial genotóxico e de toxicidade dos defensivos agrícolas foi revelado em peixes (Grisólia, 2002; Rodrigues; Almeida, 2005; Gomes *et al.*, 2007a; Gomes *et al.*, 2007b). Além disso, o aumento da concentração dos agroquímicos em águas naturais pode ocasionar a sua contaminação e fenômenos de bioacumulação e biomagnificação, ou seja, o produto químico existente nos corpos hídricos pode

ser absorvido pelos peixes, através de transferência trófica, depositando-se na camada de gordura (bioacumulação), que consumido pelo homem ou outros predadores, poderá aumentar a concentração nos tecidos destes (biomagnificação) e acarretar problemas a saúde humana (Fericola; Bohrer-Morel; Bairy, 2003).

Outro impacto negativo da cultura da soja está ligado à desagregação socioeconômica das populações rurais, que saíram dos cultivos de subsistência para o assalariamento em atividades na área rural ou urbana, como no caso dos municípios de São João D'Aliança e Alto Paraíso de Goiás, no estado de Goiás (Duarte, 1998). No Paraná, Mueller (1992) relata a expulsão de produtores rurais oriundos da expansão da cultura da soja, marcada por conflitos, violência, aumento demográfico urbano, com desemprego, sub-emprego e miséria nas cidades do Centro-Oeste e Norte (FBOMS, 2005).

A desigualdade na distribuição fundiária com grandes extensões de terra concentradas nas mãos de uma minoria de proprietários é outro fator resultante da monocultura. Os dados do censo agropecuário do IBGE, citados por Hoffmann e Ney (2010) indicam que em 1975, 13,3% das propriedades rurais eram maiores que 100 hectares, representando 80,3% da área total (231.992 mil ha), estando 56.784 mil ha concentrados em áreas inferiores a 100 hectares. O cenário em 2006 demonstrou ligeira diminuição no número de estabelecimentos com mais de 100 hectares, para 11%, contudo houve expansão da área para 244.948 mil ha, em relação às áreas com menos de 100 hectares, que foi de 61.900 (FBOMS, 2005; IBGE, 2011).

Em relação ao Pará, o mapeamento comunitário dos impactos da soja realizado nos municípios de Santarém e Belterra, durante 2007, apontou áreas de desmatamento, assoreamento e poluição de igarapés em áreas de assentamento, unidades de conservação e florestas primárias, provenientes da expansão desordenada da leguminosa e dos diversos problemas ambientais relacionados à quantidade e qualidade da água, identificadas por agricultores familiares locais. O mapeamento ainda revelou o bloqueio dos ramais de acesso a escolas e transporte público, que dificultaram a locomoção e o escoamento da produção familiar (CPT, 2008; Greenpeace, 2009).

A aplicação de adubos e agrotóxicos nos plantios do grão alterou a saúde de cultivos tradicionais, animais e dos comunitários, a exemplo do Igarapé do Pimenta, causando problemas gastrintestinais, respiratórios e dermatológicos. Dessa forma,

os pequenos produtores, sem alternativas, venderam suas terras e se refugiaram com suas famílias para os centros urbanos ou acabaram rumando ainda mais para dentro da floresta, sem perspectivas de um futuro digno, colaborando assim, para a desarticulação, desaparecimento das comunidades tradicionais ou para o desmatamento de novas áreas, inclusive em unidades de conservação. Os que permaneceram tiveram que se subjugarem ou enfrentar as regras da força do capital, na aquisição de inúmeras propriedades e, por vezes, a expropriação ilegal das terras que ocupam (grilagem), por meio do instituto da posse, de terras pertencentes, na grande maioria, à União e ao estado do Pará, agravando o clima de tensão no campo (Flexor; Leão; Lima, 2006; Cohenca, 2007; CPT, 2008; Greenpeace, 2009; Paixão Jr.; Nahum, 2010).

O avanço da cultura da soja no Pará vem sendo acompanhada e monitorada pela Comissão Pastoral da Terra (CPT), desde 2005. A Comissão relata impactos ambientais, com exploração de madeira, destruição por queimadas e desaparecimento de florestas, ocupadas posteriormente pelos produtores de grãos. Conflitos sociais, através de ameaças, intimidações e expulsão de moradores locais, grilagem de terras em áreas rurais e indígenas, e extinção de comunidades tradicionais, também são visualizados nos pólos de Paragominas, Redenção e Santarém (CPT, 2008).

Nos municípios de Santarém e Belterra, a CPT denunciou compra de áreas por produtores graneleiros próximas a assentamentos do Incra e o desaparecimento de nove comunidades localizadas no planalto santareno e belterrense. O Sindicato dos Trabalhadores Rurais dos dois municípios afirmaram que houve redução no número de famílias em 31 comunidades, advindo da cultura da soja na região, representando assim, forte ameaça à permanência das comunidades (CPT, 2008).

Desta forma, a evolução acelerada das áreas de cultivo de soja tem provocado conflitos sociais e impactos ambientais com a contaminação de águas, seja pela atividade mecânica ou pelo uso de produtos agrícolas, que comprometem a saúde ambiental e do homem. Apesar disso, existem poucas informações sobre as condições de qualidade das águas superficiais das bacias hidrográficas, nos municípios de Santarém e Belterra, fato preocupante, diante do quadro exposto.

2.3 QUALIDADE DA ÁGUA

Avaliar a qualidade da água requer visão ampliada do contexto na qual se insere. Características locais, variáveis climáticas e ações antrópicas, dentre outras, são exemplos que demonstram a complexidade de sua análise. Assim, os parâmetros físicos, químicos e biológicos são capazes de expressar informações sobre a qualidade da água.

A legislação brasileira possui uma avançada legislação no tocante a questão da proteção ambiental. Em relação à proteção dos recursos hídricos, a resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005), estabelece a classificação dos corpos da água e as diretrizes para seu enquadramento, além de definir critérios para o lançamento de efluentes, de forma a assegurar a qualidade compatível com a multiplicidade de usos e reduzir os custos de recuperação de ambientes poluídos, mediante ações permanentes de prevenção (Avanzi; Borges; Carvalho, 2009). Contudo, a análise é trabalhosa e demorada quando se considera os parâmetros de forma isolada. Além disso, os resultados se tornam pouco viáveis, devido à interpretação de seus resultados, do ponto de vista técnico.

Nesse contexto, a utilização de índices simplificados é capaz de auxiliar o diagnóstico das condições ambientais de um dado corpo aquático que, inseridos em equações matemáticas, já que incorpora um agregado de informações de parâmetros físicos, químicos e biológicos indicativos de poluição em numeral, que poderão ser aplicados para caracterizar águas de mananciais, corpos receptores, de abastecimento e residuárias. O Índice de Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET) são exemplos desses índices simplificados.

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é um valor numérico, desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos, na década de 70, obtido através da média harmônica ponderada dos nove parâmetros (coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total, temperatura, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido), selecionados por especialistas da área, considerados os mais representativos indicadores de qualidade da água (Brown *et al.*, 1970; Brown; McLelland, 1973; MMA, 2005; von Sperling, 2007; CETESB, 2011a).

O Índice de Estado Trófico (IET) tem a finalidade de classificar corpos aquáticos quanto aos graus de trofia (eutrofização), avaliando a qualidade dos corpos d'água quanto à quantidade de nutrientes e seu efeito relacionado ao

crescimento das algas ou da potencialidade para o crescimento de macrófitas aquáticas, e consequente eutrofização do meio, ou seja, representa a relação causa e efeito do processo (von Sperling, 2007; Bem, 2009; CETESB, 2011b).

Os índices ora apresentados não podem ser considerados instrumentos únicos de avaliação frente à legislação ambiental, mas sim meios de divulgação de dados para a população das condições dos corpos d'água, conforme relatado por von Sperling (2007). Diante da exposição realizada, torna-se necessário o conhecimento dos parâmetros que compõe os índices e a legislação para melhor interpretação dos dados. Estudaremos nesse trabalho, 15 parâmetros que estarão presentes para o cálculo de um dos índices apresentados ou para discussão frente à legislação ambiental.

2.3.1 Clorofila-a

A clorofila é um dos pigmentos responsáveis pelo processo da fotossíntese. Possui quatro variedades (a, b, c e d), sendo a clorofila-a indicadora de grau de trofia dos ambientes aquáticos e de biomassa das algas (CETESB, 2009).

A resposta do corpo hídrico ao agente causador pode ser medida através da clorofila-a, IET (CL), que indicará o nível de crescimento das algas em suas águas (CETESB, 2011b). A concentração de pigmentos fotossintéticos é amplamente utilizada para estimar a biomassa de fitoplâncton, pois todas as plantas verdes contêm clorofila, numa proporção de 1 a 2% do peso seco. Outros pigmentos encontrados em fitoplâncton incluem as clorofilas b e c, xantofilas, carotenos e ficobilinas. Importantes produtos de degradação da clorofila podem ser encontrados no ambiente aquático, dentre os quais clorofilídeos, feoforbídeos e feofitinas. Os produtos da degradação da clorofila encontrados no ambiente aquático são os clorofilídeos, feoforbídeos e feofitinas. A presença ou ausência de diferentes pigmentos fotossintéticos é usada para separar os grandes grupos de algas (APHA; AWWA; WEF, 2005).

A medida da clorofila-a pode ser prejudicada pela feofitina, pela absorção de luz ocorrer no mesmo comprimento de onda, necessitando assim de correção para o cálculo final que deve desconsiderá-la (CETESB, 2009).

2.3.2 Coliformes termotolerantes (CT)

Importante no monitoramento de águas para o consumo humano, bem como para águas naturais, o grupo coliforme (coliformes totais) é considerado o principal indicador de contaminação fecal de origem humana ou de animais. É representado por bactérias *gram negativas*, não esporuladas, anaeróbias ou aeróbias facultativas, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, no período de 48 H, a 35 °C. Dentre o grupo, destaca-se o subgrupo dos coliformes fecais, também conhecidos como coliformes termotolerantes, composto pelos gêneros *Escherichia* e *Aerobacter*, sendo o primeiro de grande interesse por compor 95% dos coliformes fecais, pela espécie *E. coli*, com capacidade de fermentar a glicose a 44,5 °C (Pereira, 1993; von Sperling, 1995; APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009; Brasil, 2011).

A importância desse parâmetro, quando presente, está ligada a poluição sanitária, promotora de doenças de veiculação hídrica como verminoses, disenteria bacilar, cólera, hepatite, febre tifoide e paratifóide, dentre outras, devido à existência de microrganismos patogênicos (Mato Grosso, 2006; Brasil, 2009).

2.3.3 Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica ou condutância específica pode ser definida como a capacidade que tem a água de conduzir corrente elétrica, em virtude da presença de sais, sendo considerado um indicador das alterações dos componentes no meio e, de forma indireta, da poluição dos recursos naturais (APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

Apesar de se constituir um bom indicador das alterações hídricas, a condutividade não é capaz de quantificá-los, o limitando neste quesito (Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

A CE depende dos gradientes iônicos e da temperatura, e valores acima de 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ são, geralmente, indicativos de degradação ambiental, além de sugerir qualidades hídricas corrosivas e presença aumentada de sólidos dissolvidos (Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

2.3.4 Cor

A cor em águas superficiais e subterrâneas é resultado da presença de matéria orgânica natural, por material húmico, fúlvico aquático e de folhas em decomposição, e de material inorgânico como óxidos de ferro e manganês, dissolvidos nos corpos hídricos. A presença desses materiais, principalmente de partículas coloidais em suspensão, ocasiona intensificação da cor e a interferência na passagem de luz pela amostra. Por essa razão, antes da análise, a amostra deve ser filtrada para remoção dessas partículas (APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

Efluentes de origem industrial possuem metais capazes de conferir coloração, contudo, os íons dissolvidos na água não interferem de forma expressiva na passagem de luz. Ainda, podem conter taninos (oriundo de curtumes), anilinas (de indústrias têxteis e de pigmentos), ligninas e celulose (indústrias de celulose e papel, da madeira), dentre outros. Já, os efluentes de origem sanitária possuem alta concentração de material coloidal (Mato Grosso, 2006).

A coloração da água, geralmente, não causa grandes problemas do ponto de vista da saúde, mas seu aspecto visual causa sensação desagradável aos consumidores (Mato Grosso, 2006).

2.3.5 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio é definida como a quantidade de oxigênio consumida para degradar a matéria orgânica em inorgânica estável, em um período de tempo de cinco dias de incubação (DBO_5), a temperatura específica de 20 °C, pela ação catalítica de microorganismos aeróbios presentes em uma dada amostra de água (Baird, 2002; Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

O aumento de matéria orgânica eleva a DBO, provocado por despejos, acarretando diminuição ou fim do oxigênio dissolvido na água, com desequilíbrio do ecossistema aquático, inclusive com o desaparecimento de espécies. Outra indicação da elevação desse parâmetro é o incremento da microflora existente, que promove alterações de odor e sabor, com obstrução de filtros em estações de tratamento. Por essa razão, o teste tem ampla aplicação na avaliação de cargas de resíduos nas estações de tratamento (Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

O relatório de Mato Grosso (2006) acrescenta que a presença de material biodegradável não pode ser indicada por esse parâmetro, já que mede a quantidade de oxigênio consumido. Da mesma forma, não avalia o efeito tóxico ou inibidor de materiais sobre a atividade microbiana.

2.3.6 Fósforo total (PT)

O fósforo é um elemento de grande importância para os sistemas biológicos, em processos de transferência de informações genéticas, armazenamento de energia e estruturação da membrana e metabolismo celular (Esteves; Panosso, 2011). Também é componente essencial para a estabilização do material orgânico e algas, bem como para o crescimento de organismos, sendo nutriente limitante para a produtividade primária de corpo d'água. Neste caso, a descarga de esgoto bruto ou tratado, a drenagem agrícola ou de certos resíduos industriais para que a água pode estimular o crescimento de micro-fotossintéticos aquáticos e macroorganismos em quantidades incômodas (Wetzel, 2001; APHA; AWWA; WEF, 2005).

O elemento é encontrado sob forma de ortofosfatos, polifosfato e fosfato orgânico. Outros autores preferem classificá-lo em 05 grupos: fosfina (PH_3), fósforo total (PT), fósforo particulado (P-particulado) orgânico e inorgânico, fósforo dissolvido (P-dissolvido) orgânico e inorgânico, e fósforo solúvel reativo (von Sperling, 2007; CETESB, 2009; Esteves; Panosso, 2011). Nos sistemas aquáticos, o fósforo é escasso na forma biológica disponível, quando comparado a outros elementos (Wetzel, 2001). Por essa razão, os resultados do fósforo podem indicar o potencial efeito eutrofizador do meio, já que este nutriente é o causador do processo, sendo então calculado através do Índice de Estado Trófico do Fósforo (IET-PT) (CETESB, 2011b).

Quanto a sua origem, pode ser natural, pela dissolução de compostos do solo e rochas, precipitação atmosférica, da matéria orgânica por processos biológicos, e antrópica, pela aplicação de fertilizantes utilizados na agricultura, excremento de animais, bem como pelo despejo de domésticos e de indústrias (Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009, Esteves; Panosso, 2011).

O fósforo total é a somatória de todas as formas de fósforo encontradas em uma amostra de água não filtrada, sendo determinada pela conversão do fósforo dissolvido e particulado a forma ortofosfato, sendo utilizado na determinação do

estado trófico do ambiente aquático, estimando o nível de fertilização (von Sperling, 2007; Esteves; Panosso, 2011).

Pesquisadores afirmam que esse elemento, em conjunto com o nitrogênio, é capaz de regular a produção primária aquática em grande parte das águas continentais, tanto em regiões de clima tropical, como subtropical ou temperada (Smith; Joye; Howarth, 2006; Kosten *et al.*, 2009). Downing e Rigler (1984) acrescentam que a resposta dos produtores primários ao enriquecimento desses nutrientes, também pode ser alterada por fatores como a hidrologia e uso do solo na bacia de drenagem, limitação de luz, características hidrológicas do meio aquático e padrões de herbivoria. Dessa forma, ele tem sido apontado para a caracterização do processo de eutrofização artificial dos ecossistemas aquáticos (von Sperling, 2007; Schindler *et al.*, 2008; Esteves; Panosso, 2011). Nesse contexto, o seu monitoramento na água e sedimentos é relevante para se conhecer sua ciclagem em ambientes aquáticos como no controle da eutrofização artificial (Esteves; Panosso, 2011).

De acordo com Bigarella (2003), a dinâmica dos fluxos superficiais e sub-superficiais da água em bacias hidrográficas pode ser alterada significativamente, através de atividades agrícolas e criações de animais. Dessa forma, as ações antrópicas podem causar impactos negativos, interferindo na dinâmica do fósforo na água resultando na elevação de suas concentrações pelas perdas desse nutriente pelo sistema terrestre (Reynolds; Davies, 2001).

2.3.7 Nitrato (NO_3^-)

Esteves e Amado (2011) destaca o nitrogênio (N) como principal elemento de reações metabólicas dos ecossistemas aquáticos, em virtude de sua participação na formação das proteínas e, conseqüentemente como componente básico da biomassa. No meio aquático é encontrado nas formas de nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrato, nitrito, amônia, íon amônio, óxido nitroso, nitrogênio molecular), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, etc.), nitrogênio orgânico particulado (peixes, bactérias, fitoplâncton, zooplâncton), detritos, etc. Todas estas formas são bioquimicamente interconvertíveis e componentes do ciclo de nitrogênio (von Sperling, 2007; Esteves; Amado, 2011).

O nitrogênio na forma nitrato é considerado a principal forma encontrada nas águas e importante constituinte para seres autotróficos e causador de doenças como a metemoglobinemia em lactentes. Os nitratos estimulam o desenvolvimento de plantas, sendo que organismos aquáticos, como algas, florescem na presença destes. Em concentrações acima de 5mg/L demonstram condições sanitárias inadequadas, pois os dejetos humanos e de animais são sua principal fonte (Vrede *et al.*, 2004; APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006; von Sperling, 2007; CETESB, 2009; Esteves; Amado, 2011).

O nitrato é encontrado em baixas concentrações nos corpos d'água e pode ser obtido pela fixação atmosférica, através da ligação do oxigênio molecular, existente no ar, ao átomo de nitrogênio obtido pelos relâmpagos que dissociam o nitrogênio na sua forma elementar, ou pela oxidação prévia da amônia em nitrito e deste a nitrato, por reações denominadas de nitrificação, através de ação bacteriana (Resende, 2002; von Sperling, 2007; CETESB, 2009; Esteves; Amado, 2011). De acordo com L'Hirondel J. e L'Hirondel J.L. (2002), altas concentrações de nitrato no solo podem causar seu acúmulo em tecidos vegetais, que se consumidos pelo homem e animais, podem comprometer a saúde.

Resende (2002) afirma que a agricultura e pecuária são as atividades que mais contribuem para a contaminação hídrica por nitrato. O autor explica que o íon possui maior afinidade por soluções superficiais do solo, pela baixa quantidade de matéria orgânica e pela quantidade expressiva de cargas positivas, do que pelas cargas positivas de coloides, com fraca capacidade de ligação, o que o torna mais propenso a lixiviações e, conseqüentemente, ao aumento das concentrações do ânion nas águas profundas.

A quantidade de íons nitrato existente naturalmente no solo ou adquirido através de fertilizantes nitrogenados, a forma de irrigação, a profundidade do lençol freático ou aquífero, o regime de chuvas e a permeabilidade do solo são fatores que determinam o nível de contaminação das águas (Bhumbia, 2012).

A elevação das concentrações de nitrato nas águas superficiais provoca a eutrofização de nascentes, com crescimento de algas e plantas aquáticas que reduzem a penetração da luz solar na água, comprometendo a vida aquática pela redução do oxigênio disponível (Resende, 2002; CETESB, 2009). Nugent e colaboradores (2012) alertam ainda que o enriquecimento pode indicar a presença de agrotóxicos, análogos ao íon.

A ingestão de altas doses de nitrato por adultos não causa transtornos a saúde. Por outro lado, em bebês menores de seis meses, podem ocorrer sérios transtornos. A presença de bactérias capazes de converter o nitrato a nitrito podem causar intoxicação ou reagir com a hemoglobina na corrente circulatória, formando a metahemoglobina, que reduz a capacidade de transporte de oxigênio no sangue, causando asfixia na criança, denominada como síndrome da criança azul ou metahemoglobinemia (Zublana; Cook; St Clair, 1997; CETESB, 2009). Resende (2002) informa que intoxicações pelo consumo de água com nitrato podem ocorrer pela produção de toxinas por algas, oriundas do processo de eutrofização.

Em animais (ruminantes e monogástricos) que possuem no trato digestivo bactérias capazes de promover a conversão do nitrato a nitrito, pode haver problemas de envenenamento (Zublana; Cook; St Clair, 1997). Alguns experimentos realizados em cobaias apontam a ocorrência de câncer de esôfago e estômago associada a altos níveis de nitrato, pela formação N-nitrosaminas, considerada altamente carcinogênica (Zublana; Cook; St Clair, 1997; Leifert *et al.*, 1999; Nugent *et al.*, 2012).

2.3.8 Nitrito (NO_2^-)

O nitrito é uma das formas oxidadas do nitrogênio e sua presença na água indica processo de poluição de origem orgânica com intensificação da atividade biológica. Ele atua como inibidor de corrosão em água do processo industrial e como fonte de crescimento para as plantas e, compondo a amônia, está presente naturalmente na superfície e águas residuais e na forma livre é tóxica para os peixes (Mato Grosso, 2006).

A concentração, de maneira geral, é baixa em águas subterrâneas, devido à adsorção de partículas de solo e argila, sendo lixiviados lentamente para o solo. Também seus níveis são baixos nas águas superficiais, visto sua instabilidade na presença de oxigênio, ocorrendo em uma forma intermediária (Mato Grosso, 2006).

O nitrito quando presente na corrente sanguínea compete com o oxigênio causando a metahemoglobinemia, que pode ser letal em crianças. A reação com aminas secundárias ($\text{RR}'\text{NH}$) em solução ácida pode produzir uma forma cancerígena do nitrito (APHA; AWWA; WEF, 2005; CETESB, 2009).

Concentrações de nitrito superiores a $0,25 \mu\text{g.L}^{-1}$, afetam o crescimento de peixes, tornando-se letal para doses iguais ou maiores que $0,50 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Sternberg; Elser, 2002; Vrede *et al.*, 2004; APHA; AWWA; WEF, 2005; von Sperling, 2007; Esteves; Amado, 2011).

2.3.9 Nitrogênio amoniacal

O nitrogênio amoniacal ou amônia é uma molécula tóxica não persistente, obtida através de reações hidrolíticas de material orgânico contendo nitrogênio, sendo encontrada na natureza em águas superficiais e residuárias e, em baixos gradientes, nas águas subterrâneas, devido a sua adsorção às partículas do solo e de argila e a lenta lixiviação para o solo (Mato Grosso, 2006).

Padrão de classificação das águas naturais, a amônia não acarreta acúmulo ou dano humano ou animal, mas é extremamente prejudicial à vida aquática, ocasionando morte de peixes em concentrações superiores a 5mg.L^{-1} . Produz ainda, o aumento do consumo de oxigênio dissolvido pelas águas naturais, devido à oxidação biológica, ocasionando aumento da demanda bioquímica de oxigênio (Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

A origem antrópica do nitrogênio amoniacal pode ocorrer pelo uso de fertilizantes em atividades agrícolas, que durante as águas pluviais, escoam para o corpo hídrico, contribuindo para a presença desse composto, bem como de outras formas de nitrogênio (APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

2.3.10 Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio (O_2), segundo Esteves e Furtado (2011) é um dos gases mais importantes para caracterizar ecossistemas aquáticos e compreender a sua dinâmica. Por estar diretamente vinculado com a sobrevivência dos organismos aquáticos aeróbios, o oxigênio dissolvido em um corpo d'água, é considerado um importante indicador de qualidade ambiental, já que na ausência desse componente há o crescimento de seres anaeróbios que podem conferir alterações no aspecto, odor e sabor da água, em virtude da liberação de substâncias, e comprometer a vida

aquática existente (Braga *et al.*, 2002; APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006; von Sperling, 2007).

O OD tem origem no ar, especialmente, do processo fotossintético das plantas submersas, pela lenta difusão do gás para a massa de água, por diferença de pressão parcial. Assim, cursos d'água mais acelerados aumentam a dissolução de oxigênio, em virtude da agitação e turbulência das águas (Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009). A solubilidade do oxigênio na água, também, pode ser alterada por fatores como temperatura e pressão. Dessa forma, existe uma relação direta entre esses componentes e os teores absolutos de OD, para a obtenção da quantidade máxima do gás que poderá ser dissolvida na água, conhecida como saturação de oxigênio (Esteves; Furtado, 2011).

A redução ou consumo total dos teores de oxigênio dissolvido está relacionado ao demasiado lançamento de efluentes orgânicos, de origem industrial e doméstica, que pode elevar a população de organismos consumidores do elemento (Mato Grosso, 2006). Por outro lado, o despejo de esgotos pode causar o aumento da cor, turbidez, afetando a penetração solar reduzindo, assim, a fotossíntese e população de espécies não resistentes (CETESB, 2009).

Via de regra, as águas poluídas possuem baixas concentrações de OD, devido ao consumo do gás durante a decomposição dos compostos orgânicos. Contudo, em locais eutrofizados, com crescimento exagerado de algas e macrófitas, pode haver comprometimento na avaliação de OD quanto ao nível de poluição da água, considerando-se o componente de forma isolada. Durante o dia, os níveis podem superar 10 mg/L, ainda que a temperaturas superiores a 20 °C, especialmente em corpos d'água com baixa velocidade, onde se originam algas superficiais (CETESB, 2009).

2.3.11 Potencial hidrogeniônico (pH)

A medida do pH é dos testes mais importantes e freqüentemente utilizados na química da água, devido a sensibilidade dos sistemas biológicos a suas mudanças. Esta representa a concentração de íons hidrogênio (H^+), num gradiente de 0 a 14, capaz de caracterizar uma solução alcalina ($pH > 7,0$), neutra ($pH = 7,0$) ou ácida ($pH < 7,0$). O pH do meio aquático deve estar entre 6,5 a 8,5 para que os organismos não sofram grandes estresses ou corram risco de desaparecimento

(APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006; von Sperling, 2007; CETESB, 2009).

De acordo com Mato Grosso (2006), a alteração dos valores de pH pode causar mudança no sabor da água e danificar sistemas de distribuição do líquido, em virtude das corrosões que poderão promover a dissolução de metais como cobre, ferro, chumbo, zinco e cádmio, provocando a contaminação hídrica.

Em relação aos corpos d'água, os valores elevados de pH podem estar associados à proliferação de algas (von Sperling, 2007). Segundo Esteves (1998), diversos fatores são capazes de alterar o valor do pH de forma significativa, sejam naturais, como as reações metabólicas dos microorganismos aquáticos, características do ambiente (floresta, restinga, terra firme, etc.), água das chuvas, etc., como aquelas provenientes de atividades humanas, através do despejo de substâncias no meio aquático, conforme destaca Braga e colaboradores (2002).

O potencial hidrogeniônico pode causar efeitos indiretos, como a solubilização de nutrientes ou a precipitação de metais pesados, extremamente tóxicos ao ambiente (CETESB, 2009).

2.3.12 Sólidos totais (ST)

Sólidos totais é o termo aplicado ao resíduo de material deixado no cadinho após a evaporação de uma amostra e sua posterior secagem em tempo e temperatura definida, até a constância da massa. Os dados se constituem uma fonte preliminar importante, apesar de não se constituir um componente decisivo para indicar o agente poluidor (APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

Os sólidos totais são compostos, segundo o tamanho físico das partículas, por sólidos suspensos totais (SST), correspondente à parcela de sólidos retidos após o processo de filtração, e por sólidos totais dissolvidos (TSD ou TDS), correspondente a parcela de sólidos dissolvidos na água, não retida pela filtração (Santos, 1997; APHA; AWWA; WEF, 2005; CETESB, 2009). Outros autores adotam cinco frações: resíduo total, não-filtráveis, dissolvidos, fixos e voláteis, conforme a operação empregada na separação dos resíduos (secagem, calcinação ou filtração) (Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

O excesso de sólidos podem causar problemas ao ecossistema aquático. O aumento da concentração de sólidos dissolvidos nos corpos d'água podem causar alterações no sabor e de corrosão, devido a presença de sais como cloreto e sulfato, enquanto que os sólidos em suspensão, provocam a turbidez, influenciado na atividade fotossintética de plantas (Mato Grosso, 2006).

A sedimentação de sólidos no fundo dos leitos pode acarretar a retenção de bactérias e resíduos orgânicos, além de promover decomposição anaeróbia, alterando a qualidade da água e a disponibilidade de nutrientes para a vida aquática, seja eliminando organismos fornecedores de alimentos ou prejudicando a desova de peixes (Santos, 1997; APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

2.3.13 Temperatura (T)

A temperatura é o componente do clima e dos corpos aquáticos naturais e sua variação na superfície ocorre naturalmente sobre influência de fatores como sazonalidade, altitude, latitude, período, profundidade e taxa de fluxo (Mato Grosso, 2006).

Nos estudos limnológicos, a temperatura pode indicar impactos ecológicos significativos, sendo normalmente necessária avaliá-la em função de sua estratificação vertical (APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006).

O parâmetro também tem importância por afetar parâmetros físicos, químicos e biológicos, como a densidade da água, solubidade de gases, taxa de sedimentação de fitoplâncton, tensão superficial, cinética das reações químicas e o próprio metabolismo dos seres aquáticos. O desenvolvimento de seres termófilos e o favorecimento de sinergismos nocivos ao meio é outro cenário que pode afetar a qualidade da água e ambiente (Braga *et al.*, 2002; Mato Grosso, 2006; von Sperling, 2007). De acordo com Mato Grosso (2006) e a CETESB (2009), a elevação da temperatura provoca redução do calor específico, tensão superficial, compressibilidade, viscosidade, constante de ionização e do calor latente de vaporização, e o aumento da pressão de vapor e condutividade térmica.

O lançamento de efluentes da indústria e de usinas termoelétricas pode elevar a temperatura em dado corpo aquático, alterando de forma significativa a vida aquática (Mato Grosso, 2006).

2.3.14 Total de sólidos dissolvidos (TDS)

O total de sólidos dissolvidos corresponde à parcela de sólidos que atravessam o filtro, durante o processo de filtração, estando dissolvidos na água. A determinação do TDS associada aos sólidos totais demonstra um panorama de distribuição das partículas em relação ao tamanho e a sua natureza, sendo importante parâmetro para o controle de poluição das águas naturais (APHA; AWWA; WEF, 2005; CETESB, 2009).

2.3.15 Turbidez (Tu)

A turbidez representa a interferência da passagem de luz que é absorvida, ao atravessar uma amostra de água, sendo produzida pela suspensão de material coloidal, como argila e silte, além de resíduos orgânicos, plâncton, algas, bactérias e outros organismos microscópicos (Branco *et al.*, 1991; APHA; AWWA; WEF, 2005; Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

A clareza de um corpo natural de água é um importante determinante da sua condição e produtividade, que se traduz em baixas concentrações de partículas (APHA, AWWA, WEF, 2005). Por outro lado, a erosão das margens de rios, especialmente durante o período chuvoso, e despejos de origem doméstica e industrial podem causar aumento da turbidez, comprometendo a fotossíntese de plantas submersas e de algas, pela redução da penetração da luz, que reduz a disponibilidade de plantas, e por sua vez, a de peixes, modificando o ciclo das comunidades existentes no meio aquático (von Sperling, 1995; Santos, 1997; Mato Grosso, 2006; CETESB, 2009).

A elevação da turbidez também abala os usos da água para recreação, indústria e domicílios que a utilizam nas suas atividades domésticas (CETESB, 2009).

O uso inadequado do solo pode incrementar os processos erosivos dos corpos d'água, isto porque há o impedimento da fixação da vegetação nas margens, o que incrementa os níveis de turbidez (Mato Grosso, 2006).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Investigar o efeito do cultivo de soja sobre a saúde ambiental das microbacias hidrográficas, na área de influência da rodovia BR-163, nos municípios de Santarém e Belterra, Pará, com ênfase aos aspectos limnológicos e de precipitação.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a qualidade da água das microbacias com ênfase aos nove parâmetros limnológicos (coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato total, fósforo total, temperatura, turbidez, sólidos suspensos totais e oxigênio dissolvido) utilizados tradicionalmente para calcular o Índice de Qualidade da Água;
- Avaliar o grau de trofia (Índice de Estado Trófico) dos igarapés a partir dos dados de clorofila a e fósforo total;
- Avaliar comparativamente a qualidade da água dos igarapés que drenam bacias com ambientes de cultivos de soja antigos e recentes com igarapés naturais (unidades de conservação) e de igarapés situados em áreas de cultivo tradicional da região;
- Avaliar alterações na qualidade da água superficial dos quatro ambientes estudados, considerando o efeito do período de chuvas e de estiagem na região e com a porcentagem da área da bacia ocupada com o cultivo de soja à montante do local de coleta;
- Caracterizar limnologicamente, as microbacias com ênfase a 14 parâmetros (coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato total, fósforo total, temperatura, turbidez, sólidos suspensos totais e oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, cor, clorofila-a, amônia e nitrito), confrontando os corpos d'água, a partir dos parâmetros analisados, em classes de uso considerando o disposto na resolução 357/05, do CONAMA;
- Gerar mapas temáticos com os Índices de Qualidade da Água (IQA) dos recursos hídricos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Área de influência da rodovia Cuiabá-Santarém (rodovia BR-163)

Iniciada na década de 70, a rodovia BR-163 (Figura 3) possui uma extensão de 1.780 Km que vai da capital Cuiabá (MT) ao município de Santarém, no estado do Pará sendo o último, detentor de 1.152 Km do total (Wikipédia, 2011). A delimitação da área de influência da rodovia BR-163 abrange 32 municípios do Mato Grosso, 28 do Pará e 05 do Amazonas, totalizando 65 municípios, numa área de 974 mil Km², que mais de 50% concentram-se no estado do Pará, 1/3 no Mato Grosso e 15% no Amazonas, sendo a única conexão entre o Norte- Sul do País (Brasil, 2006). Devido a grande extensão da rodovia, delimitou-se a área de estudo da pesquisa ao planalto dos municípios de Santarém e Belterra.

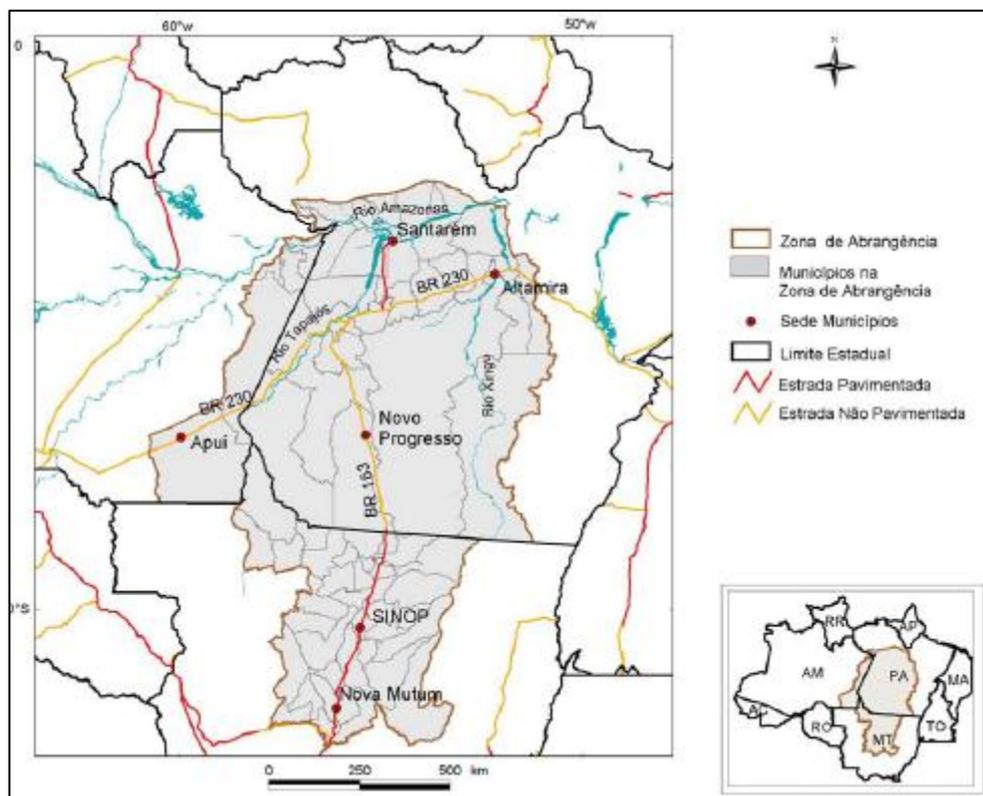


Figura 3 – Área de influência da rodovia BR-163.

Fonte: Adaptado de Brasil, 2006.

De acordo com o Grupo de Trabalho Interministerial, que desenvolveu o plano de desenvolvimento regional sustentável para a área de influência da rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém, a rodovia atravessa os municípios de Santarém e Belterra, estando situada na sub-região do Baixo Amazonas. Inseridas no bioma Amazônia, apresentam diversificação no relevo, apresentando regiões de planalto a de várzea ao longo do rio Amazonas. Com densa floresta ombrófila, possuem vegetação coberta por florestas distribuídas em florestas densas, florestas abertas florestas de transição e florestas estacionais, com alternância de chuvas abundantes e curtos períodos de estiagem (Brasil, 2006).

A região apresenta, em grande parte, solos do tipo argissolo e latossolo, em cores variando do amarelo ao vermelho, de baixa fertilidade e com elevados níveis de acidez. Os argissolos predominam em relevos com características de ondulação suave a forte, enquanto que os latossolos, em áreas planas e suavemente onduladas (Brasil, 2006; Embrapa, 2008).

A agricultura familiar, o extrativismo florestal de produtos madeireiros e não madeireiros e o comércio, são as principais atividades econômicas aliadas, em menor escala, a pecuária extensiva e a pesca de subsistência (Brasil, 2006; SEPOF, 2006).

A unidade de conservação da Floresta Nacional do Tapajós (Flona-Tapajós), criada pelo Decreto nº 73.684/74 (Brasil, 1974), inserida nos municípios de Belterra, Aveiro, Rurópolis e Placas, fica localizada à margem direita da Rodovia BR-163 no sentido Santarém-Cuiabá. A unidade possui uma área de aproximada de 544 mil hectares de floresta nativa, sendo habitada por populações tradicionais em sua maioria (Cohenca, 2007). Do outro lado da rodovia, observa-se o cenário oposto iniciado no ano de 1997, com a retirada da mata nativa dando espaço à instalação de extensos plantios de soja, gerando queixas por parte dos trabalhadores rurais envolvendo questões de ordem fundiária e ambiental.

O Projeto de Assentamento Mojú I e II (PA-Mojú I e II), criada através da Portaria nº 00087/1996, pertence aos municípios de Santarém e Placas, com um pouco mais de 152 mil hectares, povoada por imigrantes nordestinos (COOPVAG, 2009).

As duas regiões apresentam rica diversidade vegetal e animal e sobrevivem da caça, pesca e plantios de mandioca, arroz, milho e feijão, como da criação de

animais e do extrativismo não-madeireiro e de autorizações para corte de madeira, emitidas pelo IBAMA, administrador da área (Cordeiro, 2004; COOPVAG, 2009).

A Rodovia PA-370 ou Rodovia Curuá-Una está localizada no município de Santarém e recebe este nome pela referência à bacia do Rio Curuá-Una. As famílias que iniciaram o povoamento ao longo da estrada e suas vicinais são, em grande parte, originárias da região nordeste ou descendem destas e vivem da produção rural (Castro, 2009). A região faz parte do planalto santareno e na última década vem apresentando conflitos socioambientais envolvendo produtores de soja e produtores rurais.

4.1.2 Bacias hidrográficas de Santarém e Belterra

Os municípios de Santarém e Belterra localizam-se à margem direita do rio Tapajós, na confluência com o rio Amazonas e sua rede hidrográfica na região Oeste do Pará. De acordo com a Secretaria Municipal de Agricultura e Abastecimento (SEMAB) e Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia (PRIMAZ), a hidrografia da região está dividida em seis bacias: Rio Amazonas, Rio Arapiuns, Rio Tapajós, Rio Moju, Rio Mojuí e Rio Curuá-Una, sendo as três últimas tributárias da bacia do rio Curuá-Una, que formam a malha hídrica da chamada "Região do Planalto" (Figura 4), objeto deste estudo, composta por inúmeros igarapés e rios de pequeno porte, todos convergentes para o rio central, o Curuá-Una. As três bacias, juntas, ocupam um total aproximado de 9.986 km² ou cerca de 37,65% de todo o município, na porção leste da região, e são enquadradas, segundo a Resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005), como classe 2 (PRIMAZ, 1997; SEMAB, 1997; COOPVAG, 2009).

Os rios Curuá-Una e Arapiuns e os afluentes destes exercem grande importância para o regime hídrico da região e o encontro das águas brancas do rio Amazonas com as águas verde-azuladas do rio Tapajós, em frente à cidade de Santarém, é considerado o acidente geográfico mais importante (SEPOF, 2006)



Figura 4 – Região do Planalto dos municípios de Santarém e Belterra.
Fonte: Google Maps Brasil. 2011.

Segundo os mesmos autores, a bacia hidrográfica do Mojú situa-se na porção centro-sul do município, entre as bacias do Curuá-Una e do Mojuí. Ocupa uma superfície aproximada de 3.325 km², ou cerca de 12,5% de todo o espaço municipal. O rio Mojú, afluente da margem esquerda do Curuá-Una, é o principal curso d'água. A bacia do Mojuí está situada na porção central da região circundada pelas bacias do Tapajós, Amazonas, Curuá-Una e Moju, e ocupa uma superfície com cerca de 2.605 km², ou 9,80% do espaço municipal. O rio Mojuí, afluente do Moju, é o principal curso d'água.

4.2 COLETA DA ÁGUA

4.2.1 Amostragem e delineamento experimental

Após levantamento, realizado com base no mapeamento comunitário dos impactos da soja, em Santarém e Belterra, de 2007 a 2008 (Greenpeace, 2009), quatro regiões na área de influência da rodovia BR-163 foram escolhidas para o estudo, denominadas: 1) Rodovia Curuá-Una, localizada na rodovia PA-370; 2) Rodovia BR-163; 3) Projeto de Assentamento Mojú (PA-Mojú); e 4) Floresta Nacional do Tapajós (Flona-Tapajós), os três últimos localizados ao longo da rodovia BR-163.

Para cada uma das quatro regiões, foram selecionados seis pontos de amostragem, a exceção da rodovia BR-163, na qual foram considerados nove pontos, com base na demanda do recurso hídrico (rios, igarapés, lagos e lagoas) das comunidades locais. Tanto as microbacias quanto as feições de uso da terra de suas áreas de drenagem foram mapeados por georreferenciamento através do uso de Sistema de Posição Global (GPS, marca Garmin, modelo GPSmap76). As feições adotadas para identificação dos usos da terra foram áreas de cultivos de soja, agropecuária, áreas degradadas, pontos de descarte de lixo, de esgotamento sanitário e outras atividades potenciais de alteração do o perfil hidrológico.

Para facilitar a nomenclatura dos pontos, segue abaixo a Tabela 1, que apresenta as microbacias estudadas.

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos da coleta de água.

Ponto	Denominação	Região	Coordenadas	
			S	W
CU01	Igarapé Ramal do Gato	Rodovia PA-370 Curuá-Una	02°45'45.7"	054°30'03.1"
CU02	Igarapé-Açu		02°42'10.8"	054°26'51.7"
CU03	Igarapé Riacho Verde		02°53'12.9"	054°28'38.5"
CU04	Igarapé Guaranazinho		02°41'55.6"	054°20'23.8"
CU05	Igarapé do Guaraná		02°45'52.0"	054°23'07.6"
CU06	Igarapé da Bica		02°42'58.4"	054°29'58.9"
BR01	Igarapé do Prata	Rodovia BR-163	02°54'08.6"	054°51'51.1"
BR02	Igarapé do Açaizal – Montante		02°55'59.1"	054°52'58.0"
BR03	Igarapé do Açaizal – Jusante		02°55'39.4"	054°52'42.9"
BR04	Igarapé do Cacimba – Montante		02°56'21.2"	054°52'26.8"
BR05	Igarapé do Cacimba – Jusante		02°56'21.3"	054°52'23.5"
BR06	Igarapé do Panela – Montante		02°59'46.2"	054°52'47.1"
BR07	Igarapé do Panela – Jusante		02°59'46.6"	054°52'47.0"
BR08	Igarapé do Garrafa		03°01'32.1"	054°52'49.3"
BR09	Igarapé São Benedito		02°59'46.6"	054°52'47.0"
FT01	Igarapé do Branco	Flona	03°03'01.0"	054°55'38.7"
FT02	Igarapé Jatuarana		03°15'41.1"	054°56'50.4"
FT03	Igarapé Moju		03°25'03.8"	054°54'45.1"
FT04	Igarapé do Mutum		03°29'55.6"	054°53'04.8"
FT05	Igarapé do Onça		03°33'35.0"	054°52'12.7"
FT06	Igarapé da Flona		02°50'42.0"	054°59'35.2"

Continuação

PM01	ACTAAIA 01		03°13'57.2"	054°33'26.5"
PM02	ACTAAIA 02		03°14'38.1"	054°33'54.2"
PM03	ACTAAIA 03	PA-Moju	03°14'36.4"	054°34'26.2"
PM04	Igarapé do Anta		03°17'18.3"	054°36'38.7"
PM05	ACTAAIA 04		03°16'45.7"	054°36'23.8"
PM06	ACTAAIA 05		03°16'17.0"	054°36'10.9"

As microbacias hidrográficas foram amostradas pontualmente durante os meses de outubro de 2011 e abril de 2012, correspondentes aos períodos de estiagem e de chuva na região, respectivamente. As amostras foram coletadas em um ponto ao longo do contínuo fluvial, considerando o efeito à jusante de cada uso da terra em suas respectivas áreas de drenagens. Em três microbacias foram coletadas duas amostras (montante e jusante) devido a presença de barragem. Nesse contexto, foi totalizado vinte e sete pontos de amostragem ($n = 27$), distribuídas nas quatro áreas de estudo (Figura 5), sendo seis localizados na área de *conservação da Flona-Tapajós*, que serviram de referência como área não degradada, seis em área de *cultivo de soja mecanizado recente* (PA-370), nove em área de *cultivo de soja mecanizado antigo* (BR-163) e seis em área de *cultivo tradicional* (PA-Moju), com uso de solo para as três últimas de dez, quinze e dezesseis anos, respectivamente.

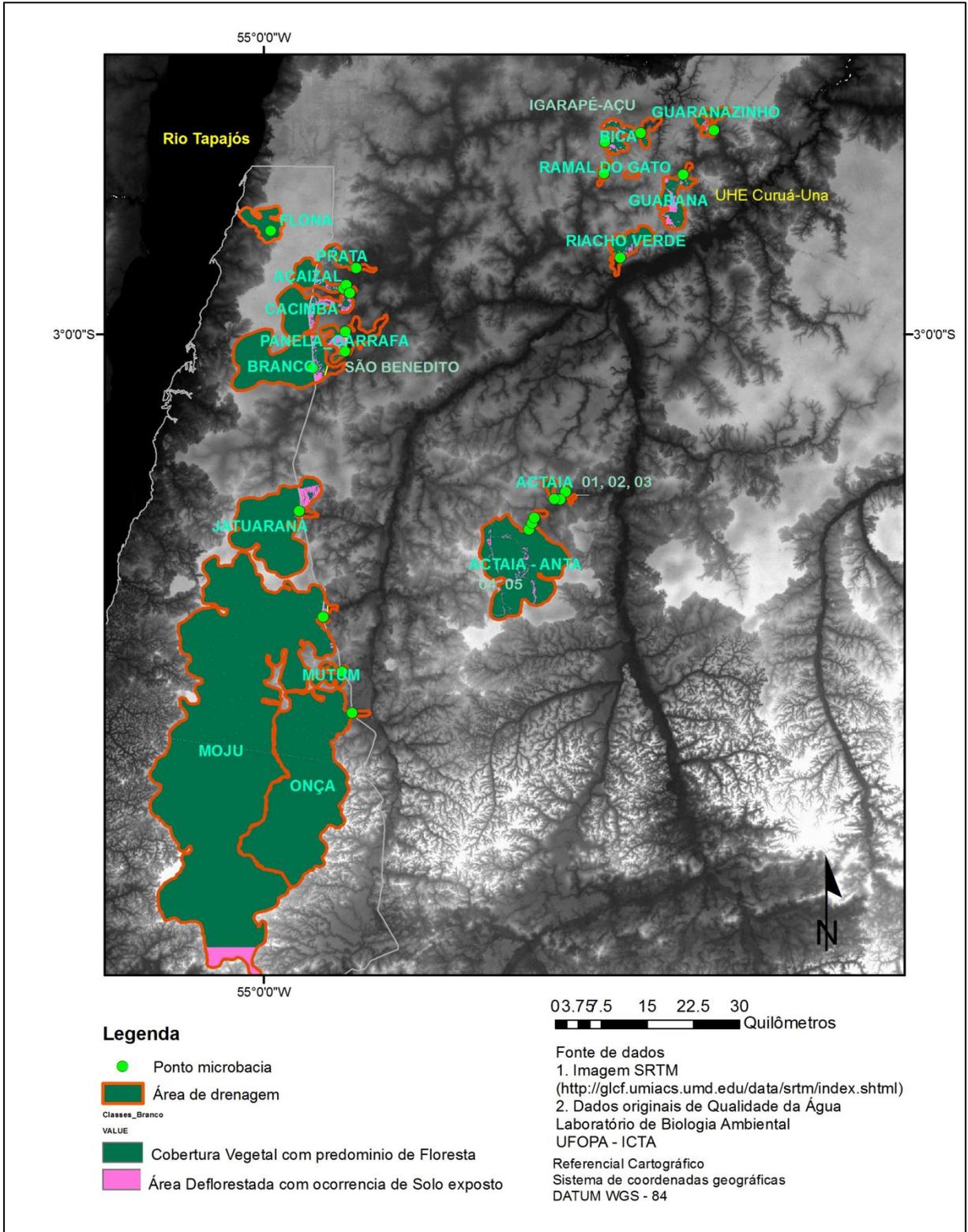


Figura 5 – Localização dos pontos de amostragem por microbasias, com ênfase às suas áreas de drenagem. Elaboração: Keid Nolan Silva Sousa.

4.2.2 Procedimentos para coleta e armazenamento das amostras de água

Antes da coleta, foram determinadas “*in loco*”, nos vinte e sete pontos de amostragem, os parâmetros de temperatura da água (T), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvido (TDS), oxigênio dissolvido (OD) e potencial hidrogeniônico (pH), além das coordenadas geográficas e altitude, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros medidos em campo e instrumentos utilizados.

Parâmetro	Unidade	Equipamento	Método/Código <i>Standard Methods (2005)*</i>
Temperatura	°C	pHmetro portátil, marca Oakton	Sonda termométrica digital/Cód: 2550-B
Potencial hidrogeniônico	-		Potenciometria/Cód: 4500-H ⁺ B
Condutividade elétrica	μS.cm ⁻¹	Equipamento multiparamétrico portátil, marca Corning	Conduvimetria/Cód: 2510-B
Sólidos totais dissolvidos	mg.L ⁻¹	Idem anterior	Potenciometria/Cód: 2540-A
Oxigênio dissolvido	mg.L ⁻¹	Idem anterior	Eletrodo/Cód: 4500-OG
Coordenadas geográficas	UTM	GPS, marca Garmin, modelo GPSmap76	-
Altitude	M	Idem anterior	-

* FONTE: American Public Health Association (APHA), 2005.

O procedimento para a coleta das amostras de água seguiu as normatização técnica da NBR9897 “Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores” (ABNT, 1987a), enquanto que a conservação seguiu a NBR9898 “Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores” (ABNT, 1987b).

A coleta da água foi do tipo manual e pontual, com retirada da amostra através da imersão vertical de garrafa de polipropileno (Figura 6), previamente limpa e esterilizada, com capacidade para 250 mL, que serviu para a avaliação dos parâmetros microbiológicos. Para as análises físico-químicas, foram utilizadas três garrafas de polipropileno com capacidade de 1000 mL. As amostras foram conservadas em caixa térmicas, com gelo, e transportadas ao Laboratório de

Biologia Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) para processamento e análise. Durante as atividades de coleta, foi preenchida uma ficha (Anexo 1), com a colaboração dos moradores das comunidades locais, com a finalidade de caracterizar o meio geofísico, biológico e antrópico da área.



Figura 6 – Fotos da coleta e análise de águas superficiais em campo: A) Análise de parâmetro; B) Procedimentos de coleta de água; C) Equipamentos portáteis utilizados para análise e georreferenciamento; D) Garrafas de polipropileno utilizadas para coleta da amostra.

4.3 ANÁLISE DA ÁGUA

A metodologia de análise para os parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos, descritos adiante, seguiram o protocolo da American Public Health Association (APHA, 2005), conforme métodos indicados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros medidos em laboratório, instrumentos e métodos de análise empregados.

Parâmetro	Unidade	Equipamento	Método/Código <i>Standard Methods</i> (2005)*
Coliformes Termotolerantes	UFC ¹ .100 mL	Incubadora bacteriológica	Membrana filtrante – Meio Endo/Cód: 9222-D
Coliformes totais	UFC ¹ .100 mL	Idem anterior	Membrana filtrante – Meio Endo/Cód: 9222-B
Cor	mg.L ⁻¹	Colorímetro, marca Hanna, modelo HI 93727	Platinum-cobalto/ Cód: 2120-C
Clorofila a	µg.L ⁻¹	Spectrofotômetro, marca Shimadzu, modelo UV-1201	Tricromático, acetona 90%/ Cód: 10200-H
DBO	mg.L ⁻¹	Medidor de OD, marca HACH, modelo Sensión6	Incubação/Eletrodo de membrana/5210-B
Fósforo total	µg.L ⁻¹	Spectrofotômetro, marca Shimadzu, modelo UV-1201	Redução com ácido ascórbico/ Cód: 4500-PE
Nitrato	mg.L ⁻¹	Colorímetro, marca Lamotte, modelo Smart	N-(1-naftyl)-etilenodiamina/ Cód: 4500-NO ₃ ⁻ C
Nitrito	mg.L ⁻¹	Idem anterior	N-(1-naftyl)-etilenodiamina/ Cód: 4500-NO ₂ ⁻ B
Nitrogênio amoniacal	mg.L ⁻¹	Idem anterior	N-(1-naftyl)-etilenodiamina/ Cód: 4500-NH ₃ F
Sólidos totais	mg.L ⁻¹	Estufa de secagem, marca Fanem, modelo 315 SE	Gravimétrico/ Cód: 2540-D
Turbidez	UNT ²	Colorímetro, marca Lamotte, modelo Smart	Nefelométrico/ Cód: 2130-B

* FONTE: American Public Health Association (APHA), 2005.

¹UFC = Unidade Formadora de Colônia por 100 mL de amostra, ²UNT = Unidades Nefelométricas de Turbidez.

4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A avaliação da qualidade das amostras foi determinada pelos Índices de Qualidade da Água (IQA) e de Estado Trófico (IET) e pela Resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005).

4.4.1 Índice de Qualidade da Água (IQA)

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é um valor numérico obtido através da média harmônica ponderada dos nove parâmetros com atribuição de peso relativo a cada um dos componentes (Tabela 4), de acordo com o nível de importância, e traçadas curvas médias para cada componente em função de sua concentração, capaz de avaliar a qualidade das águas em um dado ponto monitorado (Brown *et al.*, 1970; Brown; Mclelland, 1973; MMA, 2005; von Sperling, 2007; CETESB, 2011a).

Tabela 4 – Parâmetros utilizados no IQA com respectivos pesos.

Nº	Parâmetro	Unidade	Peso (q _i)
1	Oxigênio Dissolvido	% saturação	0,17
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 MI	0,15
3	Potencial Hidrogeniônico	-	0,12
4	Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg O ₂ /L	0,10
5	Nitrato	mg N/L	0,10
6	Fósforo Total	mg P/L	0,10
7	Temperatura da água	°C	0,10
8	Turbidez	UNT	0,08
9	Sólidos Totais	mg/L	0,08
Total			1,00

Fonte: von Sperling, 2007.

As curvas de qualidade da água para cada um dos parâmetros foram formuladas pelo NSF e adaptadas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento ambiental (CETESB), que substituiu o nitrogênio total pelo nitrato, conforme a Figura 7. O valor ideal para a qualidade da água em cada parâmetro é 100. Parâmetros como coliformes, DBO, nitrogênio, fósforo e turbidez, a melhor qualidade da água (maior q) é obtida em menores concentrações (curva descendente), enquanto que para o pH, temperatura, sólidos totais e oxigênio dissolvido, há um ponto ótimo com nota máxima, a partir do qual valores inferiores ou superiores implicam em uma diminuição da nota.

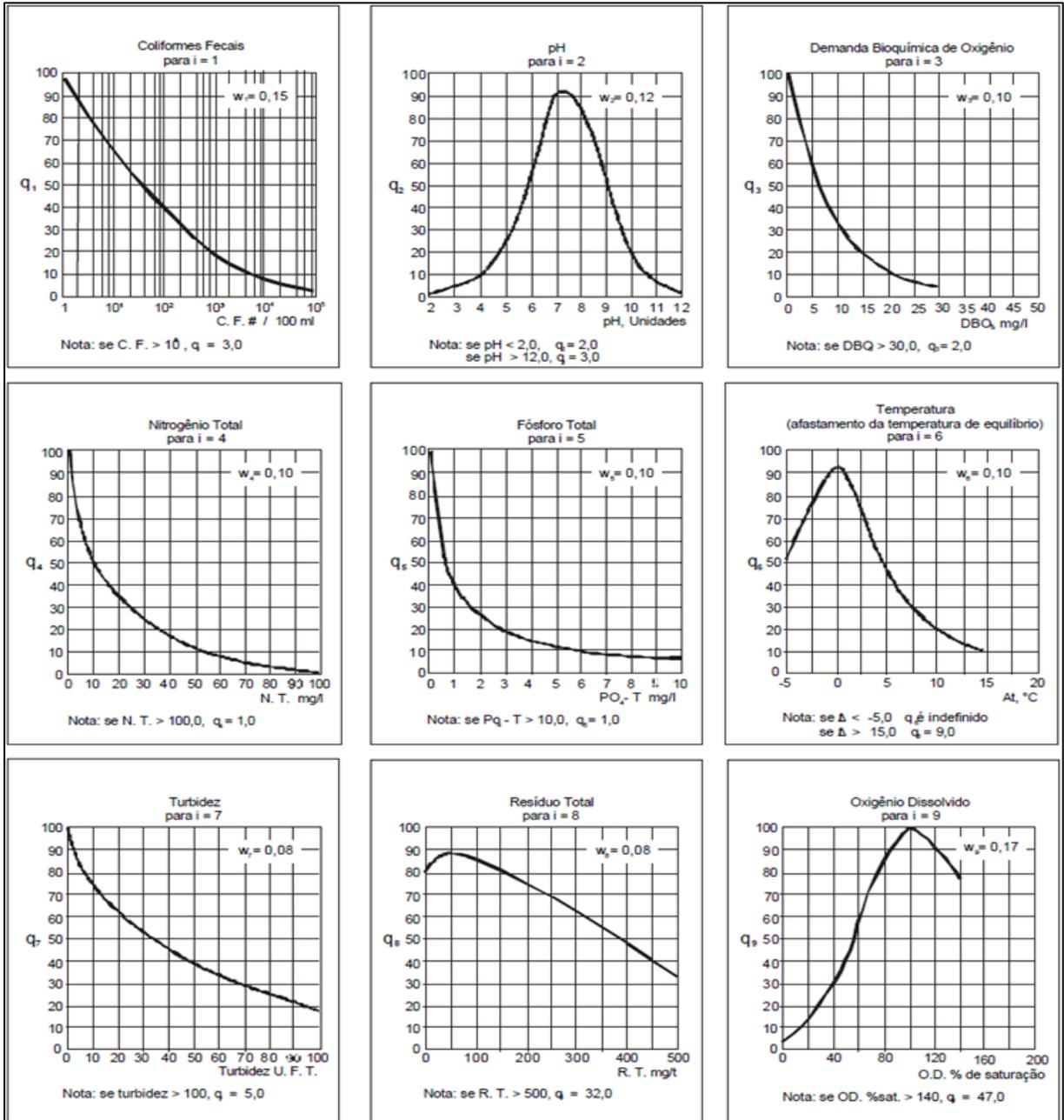


Figura 7 – Curvas médias de qualidade.

Fonte: CETESB, 2011a.

O IQA final foi calculado pelo produto das notas individuais de cada parâmetro, elevados aos respectivos pesos. A expressão matemática para cálculo do índice é:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade da Água, um número em escala que vai de 0 a 100;

Qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação da qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

Wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade;

i: número do parâmetro, variando de 1 a 9 ($n = 9$, ou seja, o número de parâmetros que compõem o IQA é 9).

O somatório dos pesos de todos os parâmetros é igual a 1, ou seja:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Em que:

n: número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

A ausência do valor de algum dos nove parâmetros inviabiliza o cálculo do IQA.

A partir do cálculo efetuado, a qualidade das águas (Tabela 5) foi determinada numa escala variando de de ótima a péssima.

Tabela 5 – Classificação da qualidade da água, de acordo com o IQA (Adaptado pela CETESB, 2004, citado por von Sperling, 2007).

Classificação	Cor	Índice IQA
Ótima	Azul	$80 \leq \text{IQA} \leq 100$
Boa	Verde	$52 \leq \text{IQA} < 80$
Aceitável	Amarela	$37 \leq \text{IQA} < 52$
Ruim	Vermelha	$20 \leq \text{IQA} < 37$
Péssima	Preta	$0 \leq \text{IQA} < 20$

O IQA ora utilizado trabalhou com os parâmetros preconizados pelo NSF, visto que o componente nitrato é a principal forma de nitrogênio encontrado nas águas, mas atribuindo-se o peso, curvas e faixas estabelecidas pela CETESB.

O Índice de Qualidade de Água pode sofrer variações em sua formulação, sendo adaptados por laboratórios, de acordo com os componentes físicos, químicos ou climatológicos. O Laboratório de Biologia Ambiental (LBA), da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), desenvolveu um aplicativo através da linguagem de programação Java (Figura 8), baseado nas equações matemáticas de von Sperling (2007) e SEMAD (2005), para o cálculo do IQA usado satisfatoriamente no monitoramento da qualidade das águas superficiais da região. Dessa forma, o aplicativo foi utilizado nesse trabalho, sendo os resultados dos índices comparados às respectivas tabelas para sua classificação.

PARÂMETROS	VALORES
Coliformes	5
pH	4.8
Fósforo Total	0.002
DBO	2.9
Nitrato Total	1.1
Temperatura	28
Turbidez	13
Sólidos Dissolvidos	10
Sólidos Suspensos	2
Oxigênio Dissolvido	4.5
Altitude	75
IQA	66

Figura 8 – Janela de inserção de dados do aplicativo de cálculo do IQA.
Fonte: LBA, 2012.

4.4.2 Índice de Estado Trófico (IET)

A eutrofização consiste no processo de aporte na concentração de nutrientes, principalmente do fósforo e nitrogênio, proveniente do aumento da produtividade no ecossistema aquático, que limitam a produção primária destes, causando seu desequilíbrio ecológico. O processo é tido como natural quando provém naturalmente do sistema ambiental, pelo aumento dos componentes oriundos de chuvas ou de águas superficiais que os carregam para os corpos d'água, enquanto que o processo artificial envolve o aumento de nutrientes através de atividades antrópicas de variadas origens: esgotos domésticos, efluentes industriais,

fertilizantes e insumos em atividades agrícolas, dentre outras, provocando o envelhecimento precoce dos sistemas aquáticos (Esteves; Meirelles-Pereira, 2011).

As precárias condições de luminosidade, redução nas concentrações de oxigênio nas camadas inferiores da coluna d'água, crescimento de algas microfilamentosas que reduzem a penetração de luz na água, são consequências da eutrofização. Dessa forma, o crescimento de macrófitas aquáticas é prejudicado, contribuindo para a formação de sedimentos orgânicos que, em condições anaeróbias produzem gás sulfídrico e metano, capazes de causar a morte de rizomas e raízes da maioria de espécies de macrófitas aquáticas, favorecendo o crescimento apenas das macrófitas flutuantes. A morte ou substituição de espécies e a liberação de íons do sedimento para a água, especialmente o ortofosfato, acabam por incrementar ainda mais o processo de eutrofização (Esteves; Meirelles-Pereira, 2011).

O índice foi obtido através da fórmula de Carlson (1977), adaptado por Lamparelli (2004), composto pela média aritmética entre o índice de Estado Trófico do Fósforo Total – IET (PT) - e o índice de Estado Trófico da Clorofila-a - IET (CL) -, representado segundo a expressão abaixo:

$$IET = \frac{[IET(PT) + IET(CL)]}{2}$$

Onde:

IET: Índice de Estado Trófico;

IET(PT): Índice de Estado Trófico de Fósforo Total.

IET(CL): Índice de Estado Trófico de Clorofila-a.

O Índice de Estado Trófico de Clorofila-a e o Índice de Estado Trófico de Fósforo Total são obtidos pelas seguintes equações:

$$IET (CL) = 10 \left[6 - \left(\frac{-0,7 - 0,60 \ln (CL)}{\ln (2)} \right) \right] - 20$$

$$IET (PT) = 10 \left[6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \ln (CL)}{\ln (2)} \right) \right] - 20$$

PT: Concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L;

CL: Concentração de clorofila a medida à superfície da água, em µg/L.

A Tabela 6 demonstra a classificação do estado trófico segundo índice de Carlson modificado, que varia de ultraoligotrófico a hipereutrófico.

Tabela 6 – Classificação do estado trófico de rios, segundo o índice de Carlson modificado.

Estado trófico	IET	P total (µg.L ⁻¹)	Clorofila-a (µg.L ⁻¹)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	PT ≤ 13	CL ≤ 0,74
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	13 < PT ≤ 35	0,74 < CL ≤ 1,31
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	35 < PT ≤ 137	1,31 < CL ≤ 2,96
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	137 < PT ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	296 < PT ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46
Hipereutrófico	IET > 67	PT > 640	CL > 7,46

Fonte: CETESB, 2006.

A metodologia adotada para a determinação dos índices IQA e IET auxiliarão a avaliação da qualidade da água perante os diversos usos do solo e permitirá a simplificação da divulgação dos resultados às comunidades envolvidas na pesquisa, quanto aos possíveis impactos de poluição em um dado ponto monitorado.

4.4.3 Resolução CONAMA nº 357/05

A resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, define normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos (CONAMA, 2005).

De acordo com a resolução, as águas doces são classificadas em cinco tipos, sendo a área de abrangência deste trabalho, classificada como tipo 2, visto que a região ainda não possui enquadramento específico definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH). A classe 2 corresponde a água destinada ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas; à

recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000 (CONAMA, 2000); à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa a vir ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca.

Para avaliação da qualidade da água com base na resolução ora apresentada, utilizaremos 14 parâmetros: pH, temperatura, cor, turbidez, condutividade elétrica, TDS, oxigênio dissolvido, DBO, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, fósforo total, clorofila-a e coliformes termotolerantes, que serão comparados aos limites máximos permitidos estabelecidos pela legislação vigente e utilizados para a discussão.

4.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DAS PAISAGENS, INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA ASSOCIADOS A CAMPOS DE SOJA NO PLANALTO DE SANTARÉM E BELTERRA

O presente estudo adotou como referencial cartográfico o sistema de coordenadas cartográficas em graus minutos e segundos, e DATUM WGS-84 (World Geographical System).

A base de dados geográficos digital foi concentrada em duas bases no formato Raster (Imagens LANDSAT, e Imagens SRTM) e uma no formato vetorial (Base de vetores municipais do IBGE). Os dados LANDSAT foram empregados para os procedimentos relacionados ao dimensionamento das paisagens de uso, especificamente a cobertura do solo, relacionada ao contexto hidrográfico envolvente no estudo. No caso das imagens SRTM (Shuttle Topographic Mission), os dados raster foram adotados para delimitação e quantificação do contexto hidrográfico envolvente, neste caso delimitação das bacias à montante dos pontos de coleta de água.

O presente estudo combinou técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, visando alcançar o objetivo de relacionar as formas de uso e cobertura do solo com a qualidade da água amostrado nos pontos de coleta. Neste contexto, os principais procedimentos abrangidos estão demonstrados resumidamente na Figura 9.

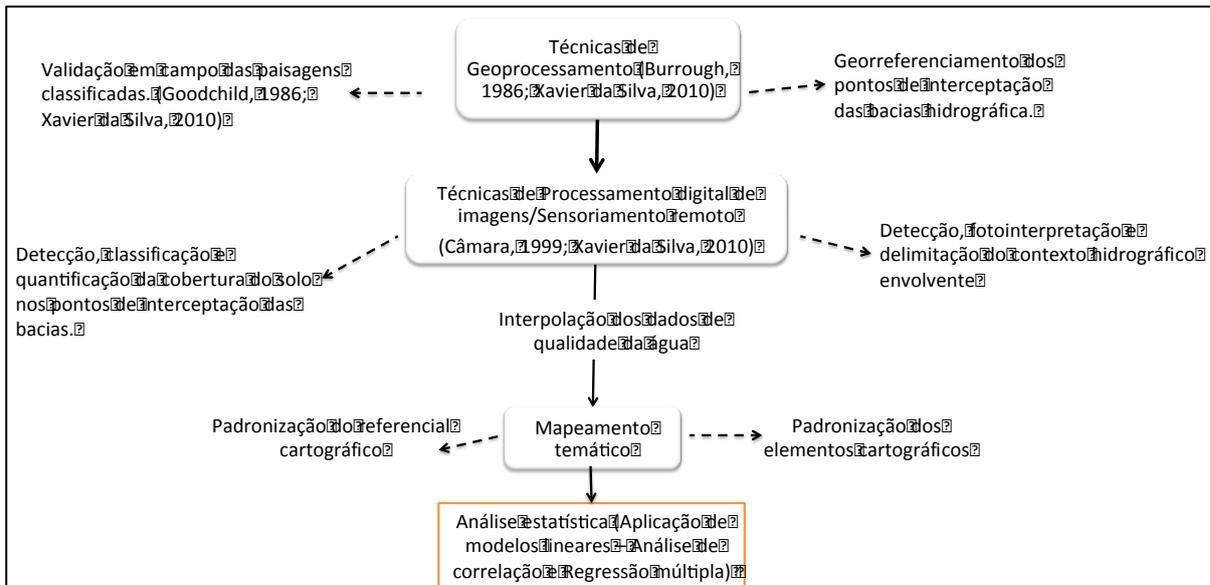


Figura 9 – Demonstração esquemática dos principais procedimentos adotados para relacionar as formas de uso e cobertura do solo com a qualidade da água amostrado nos pontos de coleta.

Os pontos de amostragem da água para análise laboratorial foram georreferenciados com a utilização de Equipamento GPS convencional. Neste caso, cada ponto de coleta de água georreferenciado representou um ponto de interceptação da bacia hidrográfica, que acumula todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na área à montante que envolve todos os sistemas de canais e formas de uso correspondentes. Assim, com a utilização de técnicas de fotointerpretação de imagens e de procedimentos de geoprocessamento como vetorização, as imagens topográficas (SRTM) foram processadas, sendo obtida ao final, a delimitação das áreas de captação da bacia (Figura 10).



Figura 10 – Exemplo de vetorização e delimitação do contexto hidrográfico envolvente na área à montante do ponto de interceptação amostral da bacia.

Após a delimitação da área hidrográfica envolvente, o procedimento seguinte objetivou principalmente a identificação, delimitação e quantificação das classes de paisagem que ocorrem dentro da referida área, previamente delimitada. Para tanto, técnicas de fotointerpretação combinadas com validação de classes em campo foram empregadas nas imagens LANDSAT mais atuais disponíveis. Os procedimentos culminaram com a quantificação da percentagem de ocupação de duas classes de cobertura do solo: 1) Cobertura vegetal com predomínio de Floresta; 2) Solo exposto com ocorrência de campos e pastagens (Figura 11).

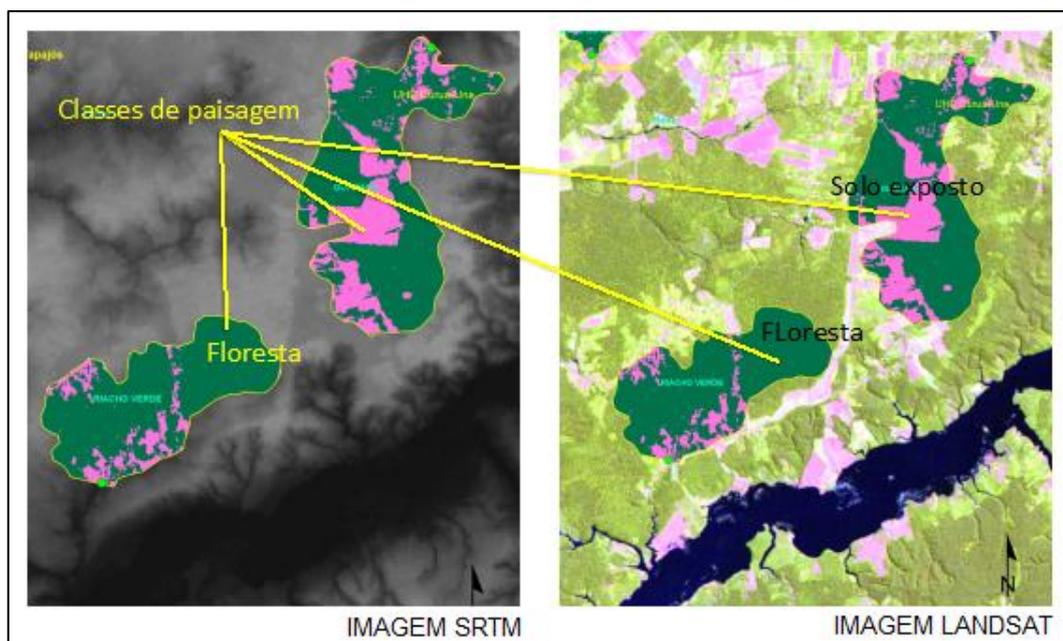


Figura 11 – Exemplo de identificação e delimitação das classes de uso do solo no contexto hidrográfico envolvente da área à montante do ponto de interceptação amostral da bacia

Uma vez que a detecção, fotointerpretação e classificação das classes de paisagem foram efetivadas, procedeu-se com a padronização dos elementos cartográficos, elaboração de mapas temáticos e, finalmente, a extração do tamanho das classes (km^2), bem como a percentagem de ocupação na área hidrográfica abrangida pelo estudo foi calculada. Nesse contexto, as mensurações obtidas foram empregadas posteriormente como variáveis explicatórias em modelos estatísticos, visando explorar as possíveis relações existentes entre a composição das paisagens que ocorrem dentro da área de captação delimitada à montante dos pontos de interseção amostral das bacias envolvidas no estudo.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

De modo geral, foi utilizada estatística descritiva, como tabelas, gráficos e medidas de tendência central para a apresentação dos resultados (Ayres *et al.*, 2002).

Para verificar possíveis diferenças dos índices de qualidade das águas entre os períodos de coleta (chuva e estiagem), bem como entre as regiões (Flona-Tapajós, BR-163, Curuá-Una e PA-Mojú), foi utilizado análise de variância (ANOVA). O efeito da porcentagem da área de drenagem da bacia cultivada com soja ou de cultivo tradicional sobre os índices de qualidade da água, bem como aos parâmetros físico-químico individualizados, foi avaliado através da análise de correlação de Pearson e regressão múltipla, sendo demonstrado resumidamente em matriz de correlação, o grau de associação entre as variáveis (Zar, 1984).

Os testes mencionados acima foram analisados pelo Programa Computacional *Statistica* Versão 7.0.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. 1987a NBR9897. **Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. 1987b NBR9898. **Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de óleos vegetais. **Importância econômica e social da soja**. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=importancia-economica-e-social&area=NC0yLTI=>>. Acesso em: 26 nov. 2012.

ALAVANJA, M.C.R.; HOPPIN, J.A.; KAMEL, F. Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity. **Ann Rev. Public Health**, v. 25, n. 1, p.157-197, 2004.

ALVES FILHO, J.P. **Uso de agrotóxicos no Brasil: controle social e interesses corporativos**. São Paulo: Annablume; Fapesp, 2002. p. 67 -79.

ALVIM, M.I.S.A. Análise de sensibilidade e competitividade da produção de soja no sistema de plantio direto na região do cerrado de mato grosso do sul. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 42. 2004, Cuiabá, MT. **Anais**. Cuiabá: SOBER, 2004. v. 1, p. 223-228.

APHA, AWWA, WEF - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

AVANZI, J.C.; BORGES, L.A.C.; CARVALHO, R. **Proteção legal do solo e dos recursos hídricos no Brasil**. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v.2, n.2, p. 115-128, mai./ago. 2009 - ISSN 1981-9951. Disponível em: <<http://www.cesumar.br/pesquisa/periodicos/index.php/rama/article/viewFile/987/807>>. Acesso em: 10 mai. 2010.

AYIBOTELE, N.B. **The world water: assessing the resource**, 1992. Disponível em: <<http://www.uniagua.org.br>> Acesso em: 12 out. 2011.

AYRES, M.; AYRES, M. J.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. S. Bio Estatística 2.0: Aplicações estatísticas nas áreas biológicas e médicas. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq, XII, 2002. 272p.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2 ed. Porto alegre: Bookman, 2002.

BARRELLA, W.; PETRERE JR, M.; SMITH, W.S.; MONTAG, L.F. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BARRETO, C.A. **Os impactos socioambientais do cultivo de soja no Brasil.** In: - II Encontro da Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2004, Indaiatuba. II Encontro da Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2004. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT05/clarissa_barreto.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2012.

BARROS, F.G.N. **A Bacia Amazônica Brasileira no contexto geopolítico da escassez mundial de água.** 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade da Amazônia, Pará.

BARROS, F.G.N.; AMIN, M.M. **Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo.** Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 4, n. 1, p. 75-108. 2008, Taubaté, SP, Brasil.

BATISTA, S. V. **Mapa de localização da área de estudo.** Belém: SEMA, 2010.

BEM, C.C. **Determinação do Estado de Eutrofização de um lago raso: estudo de caso do Lago Barigui - Curitiba.** 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Paraná.

BERTRAND, J.; LAURENT, C.; LECLERCQ, V. O mundo da soja. São Paulo: HUCITEC, 1987. BITTENCOURT, M.M.; AMADIO, S.A. **Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus.** ACTA AMAZÔNICA. VOL. 37(2) 2007: 303 – 308, 2007.

BHUMBIA, D.K. **Agriculture practices and nitrate pollution of water.** Disponível em: <<http://www.caf.wvu.edu/~forage/nitratepollution/nitrate.htm>>. Acesso em: 24 abr. de 2012.

BIGARRELLA, J.J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** v. 3, Florianópolis: UFSC, 2003, 1436 p.

BITTENCOURT, M.M.; AMADIO, S.A. **Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus.** Acta Amazônica, VOL. 37(2) 2007: 303 - 308

BLANK, D.M.P.; HOMRICH, I.G.N.; ASSIS, S.V. **O gerenciamento dos recursos hídricos à luz do ecodesenvolvimento.** 2008. Disponível em: <<http://www.remea.furg.br/edicoes/vol20/art4v20.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2011, 14:25:09.

BRAGA, B., HESPANHOL, I.; CONEJO, L.G.J., BARROS, L.T.M., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2002. v. 1, 305p.

BRANCO, S. M.; CLEARLY, R. W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. **Hidrologia ambiental**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991. V. 3.

BRASIL. Decreto nº 73.684, de 19 de fevereiro de 1974. Cria A Floresta Nacional do Tapajós. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 fev. 1974. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs.../flona_tapajos.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2011.

BRASIL. Decreto nº 94.076, de 05 de março de 1987. Institui o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 05 mar. 1987. Disponível em: <<http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=131009>>. Acesso em: 22 dez. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 23 fev. 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Guia de Vigilância em Saúde**. 7 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2009. 816 p. (Série A. Normas e manuais técnicos).

BRASIL/PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Casa Civil. **Plano de desenvolvimento regional sustentável para a área de influência da rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém**. Brasília, 2006. 193 p. (Grupo de Trabalho Interministerial, Decreto de 15 de março de 2004).

BROWN, R.M.; MCLELLAND, N.I. **Up from chaos: the water quality index as na effective instrument in water quality management**. Ann Arbour National Sanitation Foundation. 27 pp. 1973.

BROWN, R.M.; MCLELLAND, N.I.; DEININGER, R. A.; TOZER, R.G. **A water quality index – do we dare?** Madison. Water & Sewage Works, 117: 339-343, 1970.

CALDARELLI, C.E.; CAMARA, M.R.G. ; SEREIA, V.J. **O Complexo Agroindustrial da Soja no Brasil e no Paraná: Exportações e Competitividade no período de 1990 a 2007**. Organizações Rurais e Agroindustriais (UFLA), v. 11, p. 106-120, 2009.

CAMARGO, A.L.B. **As dimensões e os desafios do desenvolvimento sustentável: concepções, entraves e implicações à sociedade humana**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.ufsc.br>>. Acesso em: 02 mai. 2011.

CAMPOS, A.; SOARES, A.M.S. **O acesso à água na América do Sul e em África, Diferenças e semelhanças.** Africanologia - Revista Lusófona de Estudos Africanos. 2008. Trabalho apresentado na Universidade de Santiago do Chile em Novembro de 2008.

CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography.** Vol. 22, p 361 – 369, 1977.

CARVALHO, V.; TURA, L. **A expansão do monocultivo de soja em Santarém e Belterra: Injustiça ambiental e ameaça à segurança alimentar.** Belém: FASE. 2006.

CASTRO, M.C.A. **Relação campo-cidade e a dinâmica capitalista: um estudo no oeste do estado do Pará.** XIX Encontro Nacional de Geografia Agrária. São Paulo, 2009, pp. 1-30.

CAVALLET, O. **Análise do ciclo de vida da soja.** 2008. 245f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice de estado trófico.** São Paulo, out. 2011b. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/04.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2011.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Índice de qualidade da água.** São Paulo, out. 2011a. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/02.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2011.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Série relatórios.** Significado ambiental e sanitários das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo, 2009. 44 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2011.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2003.** São Paulo: CETESB, 2004. 273 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2005.** São Paulo: CETESB. 2006. 488 p.

CHEN, S.; CHEN, J.; LIN, G.; ZHANG, W.; MIAO, H.; WEI, L.; HUANG, J.; HAN, X. Energy balance and partition in Inner Mongolia steppe ecosystems with different land use types. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 129, p. 1800-1809, 2009.

COHEN, J.C.P.; BELTRAO, J.C.; GANDU, A.W.; SILVA, R.R. **Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia.** Cienc. Cult. [online], v. 59, n. 3, pp. 36-39. ISSN 0009-6725. 2007. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n3/a15v59n3.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2011.

COHENCA, D. Evolução anual de desmatamentos na Floresta Nacional do Tapajós de 1997 a 2005. **Anais.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6653-6660.

COHENCA, D. **A expansão da fronteira agrícola e sua relação com o desmatamento detectado em imagens de Landsat TM ETM+ na região norte da BR-163, Pará entre os anos de 1999 a 2004.** 2005. Monografia (Pós-Graduação em Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

COLOSSO, C.; TIRAMANI, M.; MARONI, M. Neurobehavioral effects of pesticides: state of the art. **Neuro Toxicology**, v. 24, n. 415, p. 577-591, 2003.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28 de Jul. 20011.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas.** Soja Brasil. Área plantada e produção, Safras 1990/1991 a 2011/2012. Disponível em: de <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 de nov. 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. **Revisa os critérios de Balneabilidade em Águas Brasileiras.** Disponível em: <<http://www.saneago.com.br/novasan/leis/conama.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2011.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 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.** Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

COOPVAG – Cooperativa de Profissionais Liberais do Vale do Araguaia. PDA. Plano de Desenvolvimento do Assentamento. **Projeto de Assentamento Mojú I e II.** Instituto de Colonização e Reforma Agrária/SR-30. Conceição do Araguaia. Pará. 2009. 354 p.

CORDEIRO, A. (COORD.). **Floresta Nacional do Tapajós - Plano de Manejo.** Belterra: IBAMA, 2004. 373 p. v. I- Informações Gerais. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/flona_tapajos>. Acesso em: 12 abr. 2011.

COSTA, M.H.; YANAGY, S.M.N; SOUZA, P.J.O.P.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E.J.P. **Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion.** Geophysical Research Letters, v.34, L07706, 2007.

CPT - COMISSÃO PASTORAL DA TERRA. **Os Impactos Sociais da Soja no Pará**, 2008. Disponível em:
<http://www.observatoriodoagronegocio.com.br/page41/files/soja_para.pdf>.
Acesso em: 21 ago 2011.

CSD - Commission on Sustainable Development, U.N. **Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Report of the Secretary-General. United Nations Economic and Social Council**. [Geo-2-117]. 1997. Disponível em:
<<http://www.un.org/documents/ecosoc/cn17/1997/ecn171997-9.htm>>. Acesso em: 02 dez 2011.

CUNHA, S.B. Degradação Ambiental In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org.) **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

DANTAS, T.M.; FONTELES, L.V. **Avanço da fronteira agrícola na Amazônia**. 2005. Disponível em: <<http://www.oktiva.net/sispub/anexo/9168>>. Acesso em: 15 out. 2006.

DONG, Y.S.; ZHAO, B.L.; WANG, Z.W.; JIN, Z.Q.; SUN, H. The genetic diversity of cultivated soybean grown in China. **Theor. Appl. Genet**, v. 108, p. 931 – 936, 2004.

DOWNING, R.D.; RIGLER, F.M. **A manual on Methods for the assessment on Methods of secundar productivity in freshwaters**. 2 ed. Oxford. Blackwell. (1 BP Handbook. 17). 1984.

DUARTE, L.M.G. Politização da questão ambiental entre os produtores rurais do cerrado brasileiro. DUARTE, L. M. G. & SANTANA, M. L. (orgs.) **Tristes cerrados. Sociedade e biodiversidade**. Brasília: Paralelo 15, pp. 169-187, 1998.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Amazônia Oriental. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido – CPATU. **Caracterização da área de estudo. ZEE BR-163**. Belém: EMBRAPA, 2008. Disponível em:
<<http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php>>. Acesso em: 07 ago. 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Soja. Centro Nacional de Pesquisa de Soja - CNPSo. **Usos da soja**. Disponível em:
<http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?cod_pai=2&op_page=25>. Acesso em: 22 set. 2012.

ESPÍRITO SANTO, H.M.V. **Variação temporal da ictiofauna em igarapés de terra-firme, Reserva Ducke, Manaus, Amazonas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia /Universidade Federal do Amazonas, Manaus AM, 41p.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.

ESTEVEES, F.A.; AMADO, A.M. Nitrogênio. In: ESTEVES, F.A. (Coord.) **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 239 – 258.

ESTEVEES, F.A.; FURTADO, A.L.S. Oxigênio Dissolvido. In: ESTEVES, F.A. (Coord.) **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 167 – 191.

ESTEVEES, F.A.; MEIRELLES-PEREIRA, F. Eutrofização Artificial. In: ESTEVES, F.A. (Coord.) **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 625 – 655.

ESTEVEES, F.A.; PANOSSO, R. Fósforo. In: ESTEVES, F.A. (Coord.) **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 259 – 281.

ESTEVEES, F.A.; SILVA, C.P.; ALBERTONI, E.F. Ciclo da Água na biosfera. In: ESTEVES, F.A. (Coord.) **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 73 – 81.

FAO - Food Agriculture Organization. **Banco de dados**. 2008. Disponível em: <<http://fao.com>>. Acesso em: 10 nov. 2008.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FBOMS - Fórum Brasileiro de Organizações Não Governamentais e Movimentos Sociais para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. **Relação entre cultivo de soja e desmatamento** – compreendendo a dinâmica. Grupo de Trabalho de Florestas. São Paulo, Amigos da Terra – Amazônia Brasileira, 2005. Disponível em: <<https://www.socioambiental.org/inst/docs/inst/docs/.../soja.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

FEARNSIDE, P.P. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v. 28, n. 1, p. 23-28, 2001.

FERNICOLA, N.A.G.G.; BOHRER-MOREL, M.B.C.; BAINY, A.C.D. Ecotoxicologia. In: AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A.M. (Org.). **As Bases Toxicológicas da Ecotoxicologia**. São Carlos, 2003, v. 1, p. 221-42.

FLEXOR, G.G.; LEÃO, S.A.V.; LIMA, M.S. **A expansão da cadeia de soja na Amazônia**: os casos do Pará e Amazonas. XLIV Congresso da SOBER: “Questões Agrárias, Educação no Campo e Desenvolvimento”. Fortaleza. 2006.

FNUAP - Fundo das Nações Unidas para a População. Relatório sobre a Situação da População Mundial 2010. **Do conflito e crise à renovação**: gerações da mudança. 2010. Disponível em: <www.un.org/files/swop_2010_pt.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2012.

FOCUS | Visão Brasil. **Pecuária Bovina no Brasil: Maior Produtividade com Menor Impacto Socioambiental.** 2010. Disponível em: <http://www.visaobrasil.org/wpcontent/uploads/2010/09/focus_julho2010_pecuari a1.pdf> Acesso em: 14 fev. 2011.

GOCH, Y.G.F. **Efeitos do assoreamento sobre as comunidades de peixes de igarapés da Bacia do Rio Urucu, Coari, Amazonas, Brasil.** 2007. Tese (Doutorado em Ecologia). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM. 96p.

GOMES, G.R.; CRUZ, C.; HENARES, M.N.P.; PITELLI, R.A. Toxicidade aguda do glyphosate na formulação Roundup WG para organismos jovens e adultos de guaru (*Phalloceros caudimaculatus*). In: **Anais do I Simpósio internacional sobre glyphosate.** Botucatu. 2007a. p. 48-50.

GOMES, G.R.; CRUZ, C.; SHIOGIRI, N.S.; PITELLI, R.A.. Toxicidade aguda do glyphosate (Roundup WG) para os peixes *Hyphessobrycon eques* e *Brachydanio rerio*. In: **Anais do I Simpósio internacional sobre glyphosate.** Botucatu. 2007b. p. 51-3.

GOOGLE MAPS BRASIL. 2011. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&biw=1024&bih=412&q=santar%C3%A9m%20par%C3%A1&gbv=2&ie=UTF-8&sa=N&tab=il>>. Acesso em: 31 mai. 2011.

GREENPEACE; SINDICATO DOS TRABALHADORES E TRABALHADORAS RURAIS DE SANTARÉM; PROJETO SAÚDE E ALEGRIA; SINDICATO DOS TRABALHADORES RURAIS DE BELTERRA. **Mapeamento comunitário dos impactos da soja em Santarém e Belterra.** Santarém, 2009. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/mapa-participativo-inedito-exp/>>. Acesso em: 31 mai. 2011.

GRISOLIA, C.K. **A comparison between mouse and fish micronucleus test using cyclophosphamide, mitomycin C and various pesticides.** Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2002. v. 518 (2). p. 145-50.

HENRIQUES, R. P. B. O futuro ameaçado do cerrado brasileiro. **Ciência Hoje**, São Paulo, 33(125):34-39, julho, 2003.

HIRATA, R.; VIVIANI-LIMA, J.B.; HIRATA, H. Água como recurso. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. (Org.) **Decifrando a terra.** 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 448-485.

HOFFMANN, R.; NEY, M.G. **Estrutura fundiária e propriedade agrícola no Brasil, grandes regiões e unidades da federação.** Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2010.

HÜHN, S. **Efeito do íon cúprico no sabor do “leite de soja”.** Viçosa: UFV, 1977. 42p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.

HUNT, E. K. **História do pensamento econômico**: uma perspectiva crítica. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos agropecuários**. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 24 ago. 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 04 abr. 2012.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento da Floresta amazônica brasileira por satélite**. 2005. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>. Acesso em: 30 out. 2011.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite - Projeto PRODES**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 09 set. 2012.

IPAM. INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **Desmatamento na Amazônia**. 2012. Disponível em: <<http://www.ipam.org.br/saiba-mais/Desmatamento-em-Foco/9l>>. Acesso em: 01 dez. 2011.

KOSTEN, S.; HUSZAR, V.L.M.; MAZZEO, N.; SCHEFFER, M.; STERNBERG, L.S.L.; JEPPESEN, E. **Lake and watershed characteristics rather than climate influence nutrient limitation in shallow lakes**. *Ecol Appl* 19:1791-1804. 2009.

L'HIRONDEL, J.; L'HIRONDEL, J.L. **Nitrate and man**: toxic, harmless or beneficial. Wallingford: CAB International, 2002. 168p.

LBA – Laboratório de Biologia Ambiental. **Janela de inserção de dados do aplicativo de cálculo do IQA**. 2012.

LAMPARELLI, M.C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 235 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEIFERT, C.; FITE, A.; LI, H.; GOLDEN, M.; MOWET, A.; FRAZER, A. Human health effects of nitrate. In: IFA agricultural conference on managing plant nutrition: towards maximum resource efficiency, 1999. Barcelona. [**Anais...**] Barcelona: [s.n.], 1999. P. 1-12.

LIMA, M.S.B. ; MAY, P.H. A expansão da fronteira agrícola no sul do Amazonas e sua relação com o incremento do desmatamento nas áreas de cerrados e campos naturais. In: VI Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Brasília/DF. 2005.

MAIA NETO, R.F. **Água para o desenvolvimento sustentável**. A Água em Revista, CPRM – Serviço Geológico do Brasil/MME, Belo Horizonte – MG, v. 5, n. 9, 1997.

MALVEZZI, R. **Semi-árido**: uma visão holística. Brasília: Confea, 2007. 140p. – (Pensar Brasil)

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Análise da agricultura e pecuária brasileira**. 2007. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 7 nov. 2012.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agronegócio brasileiro em números**. 2012a. Disponível em: <www.agricultura.gov.br/arq.../graficos_portugues_corrigido2.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2012.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Soja Brasil**. Série Histórica de Produção. Safras de 1990/1991 a 2010/2011. 2012b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 31 mai. 2012.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia Brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2003.

MARGULIS, S. **Meio Ambiente**: aspectos técnicos e econômicos. Rio de Janeiro, IPEA: Brasília, IPEA/PNUD, 1990, 246p.

MARQUELLI, R.P. **Crise mundial nos preços dos alimentos**: oportunidades e desafios para a agricultura brasileira. 2009. Monografia (Especialização em Gestão de agronegócios) Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, UNB, Brasília. Disponível em: <www.iica.org.br/Docs/Publicacoes/.../RodrigoMarouelli2.pdf>. Acesso em: 25 nov 2012.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA. Superintendência de Recursos Hídricos – SURH. **Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas da Sub-Bacia do Rio Cuiabá – MT, 2005**. Cuiabá: SEMA; SURH, 2006. 55p.

MATOS, A.M; NINAUT, E.S.; CAIADO, R.C.; SALVI, J.V. **A Elevação dos Preços das Commodities Agrícolas e a Questão da Agroenergia**. IEA, Informações Econômicas, SP, v. 38, n.9, set. 2008.

MENDES, B; OLIVEIRA, J.O.S. **Qualidade da Água para Consumo Humano**. LIDEL Edições Técnicas Ltda., Lisboa. 2004.

MIRAGAYA, J. **Demanda mundial de carne bovina tem provocado o desmatamento na Amazônia**. T & C Amazônia, ano 6, n. 14, jun. 2008.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite. **Relatório Técnico de monitoramento do desmatamento no bioma cerrado, 2002-2008**. Brasília. 2009.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite. **Relatório Técnico de monitoramento do desmatamento no bioma cerrado, 2009-2010**. Brasília. 2011.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA). Estabelecimento das Equações do Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Brasília: Programa Nacional Do Meio Ambiente – PNMA II. Subcomponente Monitoramento da Qualidade da Água. 2005. 19p.

MOREIRA, J.C.; PERES, F.; SIMOES, A.C.; PIGNATI, W.A.; DORES, E. C.; VIEIRA, S.N.; STRÜSSMANN, C.; MOTT, T. **Contaminação de águas superficiais e de chuva por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso**. Ciência e Saúde Coletiva (Impresso), v. 17, p. 1557-1568, 2012. Série: 6; ISSN/ISBN: 14138123. Disponível em: <<http://www.scielo.org/pdf/csc/v17n6/v17n6a19.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

MUELLER, C.C. **Dinâmica, condicionantes e impactos sócio-ambientais da evolução da fronteira agrícola no Brasil**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza, 1992. Relatório técnico n. 7, 1992. (mimeo).

MUELLER, C.C.; BUSTAMANTE, M. **Análise da expansão agrícola no Brasil**. 2006. Disponível em: <www.worldbank.org/rfpp/news/debates/mueller.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2012.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A.C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J.P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA, U.L.; PRINS, E. **Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests**. Forest Ecology and Management 154:395-407, 2001.

NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G.S.; MARENGO, J.A.; SALATI, E. **Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America. First International**. CLIVAR Conference, Baltimore, USA, 21-25, 2004.

NUGENT, M.; KAMRIM, M.A.; WOLFSON, L.; D'ITRI, F.M. **Nitrate: a drinking water concern** Michigam State University Extension Service. Extension bulletin WQ-19. Disponível em: <<http://www.gem.msu.edu/pubs/msue>>. Acesso em: 15 ago. 2012.

PAIXÃO JR, P.R.C.; NAHUM, J. S. Do território recurso ao território abrigo: o produtor no processo de expansão da lavoura da soja no planalto santareno. In: Encontro Nacional de Geografia, 2010, Porto Alegre. **Crise, Práxis e Autonomia: espaço de resistência e de esperança**, 2010.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. **Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.465-473, 2000. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

PAZIN, V. F. V. **Assembléias de peixes em poças temporárias marginais a riachos de terra-firme, Amazônia Central**. 2004. Dissertação (Mestrado em

Ecologia). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia /Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM. 42p.

PEREIRA JR., J.S. **Recursos hídricos: conceituação, disponibilidade e usos.** Consultoria legislativa. Brasília: Biblioteca digital câmara, 2004, 25p. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2011.

PEREIRA, M. G. **Qualidade das águas dos mananciais de superfície utilizados no abastecimento da cidade de Natal:** aplicação do IQA nos pontos de captação. 1993. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

PINHO, C. A soja é pop. **Isto é**, São Paulo, 1976: 80-81, 2004.

PNUMA - Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente. **Perspectivas do Meio Ambiente Mundial GEO-3**, Kenya. 2002. p.34. Disponível em: <www.wwiuma.org.br/geo_mundial_arquivos/capa_pretexto.pdf>. Acesso em: 15 out. 2011.

PREDIGER, C.C.C.; OLINTO, M.T.A.; NACUL, L.C.; ZIEGLER, D.R.; PATTUSSI, M.P. **Effects of soy protein containing isoflavones on women's lipid profile: a meta-analysis.** Rev. Nutr. [online]. 2011, vol.24, n.1, pp. 161-172. ISSN 1415-5273.

PRIMAZ - PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO MINERAL EM MUNICÍPIOS DA AMAZÔNIA. **O potencial turístico do município de Santarém.** 1997. Disponível em: <<http://www.santarem.pa.gov.br>>. Acesso em: 20 mai. 2011.

REBOUÇAS, A.C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3. ed. São Paulo: Escrituras. 2006. p. 1-34.

REBOUÇAS, A.C. **Água no brasil: abundância, desperdício e escassez.** Bahia Análise & Dados. Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003.

REKACEWLCZ, P. **Increased global water stress.** Le Monde Diplomatique. UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library. 2006. Disponível em: <<http://maps.grida.no/go/graphic/increased-global-water-stress>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

RECENA, M.C.P.; PIRES, D.X.; CALDAS, E.D. **Acute poisoning with pesticides in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil.** Science of The Total Environment. v. 357(1-3). 2006. p. 88-95.

REPÓRTER BRASIL. **Os impactos da soja na safra 2009/10.** Centro de Monitoramento de Agrocombustíveis. abr. 2010. Disponível em: <www.reporterbrasil.com.br/estudo_soja_cma_reporter_brasil_2010.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2012.

RESENDE, A.V. **Agricultura e qualidade da água**: contaminação da água por nitrato. Planaltina. Brasília: EMBRAPA, Cerrados. 2002. 29p.

REYNOLDS, C.S.; DAVIES, P.S. Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a British perspective. **Biology review**. v. 76, p. 27-64, 2001.

RIBEIRO, O. M.; ZUANON, J. Comparação da eficiência de dois métodos de coleta de peixes em igarapés de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazônica** **36 (3)**: 389–384. 2006.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5 ed. Londrina: autores, 2005. 591p.

SAGRI – Secretaria de Agricultura do Estado do Pará. **Evolução da safra de grãos no estado do Pará**. Disponível em: <www.sagri.pa.gov.br/documents/EvolucaoDaSafradeGraosnoPara.xls>. Acesso em: 04 abr. 2012.

SANCHES, A.C.; MICHELLON, E.; ROESSING, A.C. **Os limites de expansão da soja**. Londrina, Unioeste, 2007. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/gepec/article/download/201/136>>. Acesso em: 03 mar 2012.

SANCHEZ, R.; SHIMABUKURO, M.; BARRETTO, R. **O Xingu na mira da soja**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2003. Disponível em:<www.socioambiental.org.br>. Acesso em 03 mai. 2011.

SANTOS, A.C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F.A.C.; FILHO, J.M. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. CPRM, Fortaleza, 389 pp. 1997.

SANTOS, G.M.; FERREIRA, E.J.G. Peixes da Bacia Amazônica, p. 345–373. In: R.H. LOWE-MCCONNELL. **Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Tropicais**. Edusp, São Paulo, 535 p. 1999.

SANTOS, M.P. **A água no Brasil**. Curitiba: Ambiente Brasil S/C, 2002. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 07 jun. 2011.

SANTOS, T.C.C.; CÂMARA, J.B.D. (Orgs.). **Geo Brasil 2002 – Perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Brasília: IBAMA: PNUMA: MMA, 2002.

SCHINDLER, D.W.; HECKY, R.E. FINDLAY, D.L.; STANTON, M.P.; PARKER, B.R.; PETERSON, M.J. **Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: results of a 37-year whole-ecosystem experiment**. PNAS 105(32):11254-11258. 2008.

SCOLARI, D. D. G. **Produção agrícola mundial**: o potencial do Brasil. Embrapa Roraima, 2006. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/417182>>. Acesso em: 12 out. 2011.

SEMAB - Secretaria Municipal de Agricultura e Abastecimento. **Plano Municipal de Agropecuária**. Santarém. 1997. Disponível em: <<http://www.santarem.pa.gov.br>>. Acesso em: 20 mai. 2011.

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Sistema de cálculo da qualidade da água (SCQA)**: estabelecimento das equações do índice de qualidade das águas (IQA). SEMAD de Minas Gerais/Programa Nacional de Meio Ambiente-PNMAII. Belo Horizonte-MG, 2005.19 p.

SEPOF - SECRETARIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E FINANÇAS. **Anuário estatístico do Estado do Pará 2006**. 2006. Disponível em: <www.sepof.pa.gov.br>. Acesso em: 01 jun. 2012.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas. 2000. 207 p.

SHIKLOMANOV, I.A., **International Hydrological Programme – IHP – IV/UNESCO, 1998**. In: Águas Doces no Brasil, Capital Ecológico, Uso e Conservação, Rebouças A. C. et al., 1999.

SILVA, J.M. **Processo de trabalho e condições de exposição aos agrotóxicos**: o caso dos horticultores de Baldim, Minas Gerais, Brasil. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2000.

SILVA, J.M.; FARIA, H.P.; JORGE, D.M.; ALMEIDA, P.P.C.; SANTOS, S.L.; PINHEIRO, T.M.M.; CURY, G.C.; NOVATO-SILVA, E.; Familiar Agriculture: production process and health conditions. **Anais**. XV Congresso Mundial sobre Segurança e Saúde no Trabalho, 12-61/abril/1999, São Paulo – SP

SILVA, J.M.; NOVATO-SILVA, E.; FARIA, H.P.; PINHEIRO, T.M.M. **Agrotóxico e trabalho**: uma combinação perigosa para a saúde do trabalhador rural. Ciências & Saúde Coletiva. Rio de Janeiro, v.10, n.4, p.891-903, dez. 2005.

SMITH, V.H.; JOYE, S.B.; HOWARTH, R.W. **Eutrophication of freshwater and marine ecosystems**. *Limnol Oceanogr* 51 (1 part 2):351-355. 2006.

SOLINGE, T.B.V. CoCooN – Integrated Project: **Land-use change, environmental harm and human rights violations in Colombia and Brazil: the case of the Cauca and Tapajós basins**. 2010. 111 p.

SOUZA, P.J.O.P. **Avanço da fronteira agrícola na Amazônia: impactos ambientais sob o ponto de vista climático**. Folha Socioambiental. Universidade Federal Rural da Amazônia. Ano 1. n. 2, nov-dez. 2010.

SOUZA, P.J.O.P.; ROCHA, E.J.P.; RIBEIRO, A.; LOUREIRO, R.S.; BISPO, C.J.C. Impactos no albedo em consequência do avanço da fronteira agrícola na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 16, n. 1, p. 87-95, 2008.

STERNBERG, R.W.; ELSER, J.J. **Ecological Stoichiometry: The biology of elements from molecules to the biosphere.** Princeton: Princeton University Press.2002.

SUYKER, A.E.; VERMA, S.B. Interannual water vapor and energy exchange in an irrigated maize-based agroecosystem. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, p. 417-427, 2008.

TUCCI, C.E.M. (org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: ABRH, 2001.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO, O. **Relatório Nacional sobre o gerenciamento da água no Brasil.** Brasília: Agência Nacional da Água, 2000. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 25 out. 2011. 135p.

TUNDISI, J.G. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado.** Cienc. Cult. [online]. 2003, vol.55, n.4, pp. 31-33. ISSN 0009-6725

URBAN, T. Quem vai falar pela terra? In: NEUTZLING, Inácio (org.). **Água: bem público universal.** São Leopoldo: UNISINOS, 2004, 143p.

USDA – United States Department of Agriculture. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/oilseeds_arc.asp>. Acesso em: 21 mai. 2011.

USDA - United States Department of Agriculture. **USDA agricultural baseline.** Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 15 out. 2012.

VIANA, J.S.; FONSECA, M.G. Expansão de estradas e desflorestamento em unidades de conservação do município de Belterra, Pará. **Anais. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, 2009. INPE, p. 1573-1579.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v.7. 588 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de engenharia sanitária e ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1995.

VREDE, T.; DOBBERFUHL, D.R.; KOOIJMAN, S.; ELSER, J.J. **Fundamental connections among organism C:N:P stoichiometry, macromolecular composition, and growth.** Ecology 85:1217-1229. 2004.

WALKER, I. On the structure and ecology of the micro-fauna in the Central Amazonian forest stream "igarapé da cachoeira". **Hydrobiologia, (122):** 137-152. 1985.

WETZEL, R.G. **Limnology: lake and river ecosystems.** 3th ed. San Diego: Academic Press, 2001.

WIKIPÉDIA. BR-163. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/BR-163>>. Acesso em: 31 mai. 2011.

WWF-Brasil. **Produção e exportação de soja brasileira e o cerrado 2001-2010**. 2012. Disponível em: <d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/.../wwf_soja_cerrado_web.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2012.

ZAR, J.H. Biostatistical Analysis. 2ed. Ed. Prentice Hall. 1984. 718p.

ZANLORENZI, M.R.P. **Os custos sociais da política comercial brasileira para a soja**. Dissertação de mestrado – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

ZUBLENA, J.P.; COOK, M.G.; ST CLAIR, M.B. **Pollutants in groundwater: health effects**. 1997. Disponível em: <<http://www.soil.ncsu.edu/publications/Soilfacts/AG-439-14/>>. Acesso em: 15 set. 2012.

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS SOB DIFERENTES USOS DA TERRA, NOS MUNICÍPIOS DE SANTARÉM E BELTERRA - ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163

Christiane Patrícia Oliveira de Aguiar

Avaliação espaço-temporal da qualidade da água em microbacias sob diferentes usos da terra nos municípios de Santarém e Belterra - área de influência da BR-163

Christiane Patrícia O. AGUIAR¹

RESUMO

As atividades antrópicas, em especial a agrícola, têm acarretado problemas relacionados à qualidade dos recursos hídricos. A qualidade das águas superficiais foi avaliada em vinte e sete microbacias hidrográficas sob diferentes usos do solo, através do Índice de Qualidade das Águas (IQA). Os períodos de precipitação e estiagem da região também foram considerados para a avaliação. As microbacias foram separadas em quatro regiões geográficas: 1) Floresta Nacional do Tapajós (Flona-Tapajós); 2) Rodovia Curuá-Una (Curuá-Una); 3) Rodovia BR-163 (BR-163) e 4) Projeto de Assentamento Mojú (PA-Mojú); consideradas, respectivamente, áreas natural, de cultivo mecanizado recente de soja e mecanizado antigo de soja, e de cultivo tradicional com tempo de ocupação do uso de solo para as três últimas de 10, 15 e 16 anos. De forma geral, houve redução na qualidade da água, com pior condição observada durante a estação chuvosa. A sazonalidade e a cobertura vegetal influenciaram significativamente o Índice de Qualidade das águas. O período chuvoso apresentou os menores resultados de IQA. O pH e o oxigênio dissolvido foram as principais variáveis que exerceram influência sobre o índice no período seco, e a DBO no período chuvoso. Os igarapés interceptados por barragens não apresentaram diferenças significativas em seus IQAs, considerando o sentido montante a jusante do fluxo.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Qualidade da Água (IQA), Uso do solo, Microbacias hidrográficas, BR-163.

¹ Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Av. Vera Paz, s/n, Salé, 68035-110, Santarém, PA, Brasil. Fone: (93) 2101-4944. E-mail: christianedeaguiar@hotmail.com;

Evaluation spatiotemporal water quality in watersheds under different land uses in the municipalities of Santarém and Belterra - area of influence of the BR-163

Christiane Patrícia O. AGUIAR¹

ABSTRACT

Human activities, particularly agriculture, have caused problems related to water quality. The surface water quality was assessed in twenty-seven watersheds under different land uses, through the Water Quality Index (WQI). Periods of rainfall and drought in the region were also considered for evaluation. The watershed was divided into four geographic regions: 1) the Tapajós National Forest (Flona-Tapajós) 2) Highway Curuá-Una (Curuá-Una) 3) BR-163 (BR-163) and 4) Settlement Project Mojú (PA-Mojú); considered, respectively, natural areas of recent mechanized cultivation of soybeans and soy former mechanized, and with traditional cultivation occupation time of the use of soil for the last three 10, 15 and 16 years old. Overall, there was a reduction in water quality, with poorer condition observed during the rainy season. The seasonality and vegetation significantly influenced the water quality index. The rainy season had the lowest results of WQI. The pH and dissolved oxygen influence on the index in the dry season, while the BOD for the rainy season. The streams intercepted by dams showed no significant differences in their WQIs considering the meaning and downstream flow.

KEYWORDS: Water Quality Index (WQI), Land uses, Watersheds, BR-163 highway.

¹ Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Av. Vera Paz, s/n, Salé, 68035-110, Santarém, PA, Brasil. Fone: (93) 2101-4944. E-mail: christianedeaguiar@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

A água, um dos recursos mais abundantes no planeta, tem se sido palco de amplas discussões a cerca de sua quantidade e qualidade. Isto porque, apenas 2,5% do total que recobre o globo terrestre são de água doce, próprias para o consumo humano, sendo que menos de 0,01% deste total está acessível ao homem, em forma de rios e lagos. Segundo Tundisi (2003), o suporte de águas dulcícolas é fundamental para a qualidade de vida humana, para os ciclos de nutrientes no planeta e para desenvolvimento economia.

Em relação ao contexto mundial, o Brasil está em condição aparentemente confortável, com mais de 36.000 m³ *per capita*, por ano, detendo 11% da água doce superficial mundial e 50% da América do Sul (Shiklomanov 1998; Tucci *et al.* 2000; Barros 2006). Ainda assim, a distribuição do recurso não ocorre de forma homogênea no país. Do volume hídrico existente, mais de 70% estão concentrados na bacia amazônica, onde se encontram 4% da população do país produzindo nesta a falsa impressão de que o recurso é inesgotável (SIH e ANEEL 1999; Barros 2006; Barros e Amin 2008; Campos e Soares 2008; Hirata *et al.* 2009). Contudo, nos últimos 50 anos, o suprimento hídrico da América Latina foi reduzido em um quarto, demonstrando a vulnerabilidade do recurso quanto à escassez (Ayibotele, 1992).

O crescimento populacional e o desenvolvimento econômico intensificaram a demanda por água no país (Barros 2006). De acordo com Scolari (2006), a população mundial passou de 3,693 bilhões habitantes, em 1970, para 6,453 bilhões, no ano de 2005, enquanto que a produção de grãos foi de 1,225 bilhões de toneladas para 2.219,4 bilhões de toneladas, no mesmo período, em uma área de produção praticamente inalterada, com cerca de 700 milhões de hectares. Com isso, a expansão da fronteira agrícola para atender a produção de alimentos, provocou o aumento considerável no consumo de recursos hídricos, em especial para as atividades de irrigação (Barros 2006).

A construção rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém), iniciada na década de 70, foi construída no início com a finalidade de integrar os projetos de colonização da rodovia Transamazônica à região Centro-Oeste e de facilitar o acesso e o escoamento de minérios, madeira e cargas dos estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia a outras regiões brasileiras (Alencar 2005). Após a instalação do porto graneleiro Cargill no

município, em 2001, a rodovia se tornou a principal via de escoamento da produção de grãos, especialmente, a soja para o país e para o exterior.

A expansão do monocultivo de soja no estado do Pará iniciou-se em 1997, no município de Santarém, através de incentivos governamentais, de financiamento pelo Banco da Amazônia (BASA) e de instituições fornecedoras de tecnologia, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa/Amazônia Oriental) (Alencar *et al.*, 2004, Carvalho e Tura 2006). Após a instalação do porto, a área se expandiu de 50 Ha, em 1997, para 4.000 Ha, em 2003, chegando a 22.000 Ha, em 2005. O município de Belterra, por sua vez, iniciou sua produção no ano de 2002, com uma área equivalente a 150 Ha, alcançando 15.000 Ha, no ano de 2008, de acordo com o Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (Alencar *et al.* 2005; IBGE 2011; IBGE 2012). Com isso, o município apresenta um cenário bem diferente de uma década atrás, onde extensas áreas verdes deram espaço à cultura da soja. O cultivo no município de Belterra se iniciou em 2002.

A Food and Agriculture Organization (FAO), relatada por Scolari (2006), projeta uma população próxima de 8 bilhões em 2025. Dessa forma, a pressão sobre os recursos naturais, em especial os hídricos, deverá ser intensificada.

A agricultura, dentre outras atividades, tem contribuído, segundo Figueirêdo (2008), para o aumento da contaminação dos recursos hídricos e, conseqüentemente seu uso para as diversas finalidades. Assim, o acompanhamento e avaliação de componentes físicos, químicos e biológicos podem fornecer informações para o melhor gerenciamento desses recursos.

De acordo com Tucci e colaboradores (2000), a Fundação Getúlio Vargas (FGV) afirmou que do total de água consumida da bacia amazônica no ano de 1988, 91% foram utilizados em agricultura de irrigação. Setti e colaboradores (2000) afirmam que do volume total captado de água, 70,1% são para atividades agrícolas e, considerando o volume efetivamente consumido, chega a atingir 93,4% do montante.

Nobre e colaboradores (2004) relatam que o ciclo da água da Amazônia, é um dos responsáveis pelas mudanças climáticas e ambientais, desde a escala local a global, em virtude da modificação no uso do solo amazônico.

A expansão dos cultivos de soja na região tem promovido diversos impactos ambientais como desmatamento, destruição de matas ciliares, queimadas e assoreamento de mananciais, que abastecem as comunidades locais para diversos usos

(Greenpeace 2009). Aliado a isso, a aplicação de insumos destinados à fertilização do solo e proteção contra pragas e doenças na cultura, tem ocasionado alterações quantitativas e qualitativas das águas doces, surgimento de doenças, além de conflitos sociais, oriundos da grilagem e da expulsão das populações tradicionais, dentre outros (Nepstad *et al.* 2001).

Apesar de não ser a única atividade que degrada a qualidade dos recursos hídricos, a aplicação de defensivos agrícolas, pesticidas, herbicidas, fertilizantes e de derivados residuais da criação intensiva de animais colabora, direta ou indiretamente, para a poluição dos corpos d'água, inclusive sem a rega, pois são transportados aos reservatórios superficiais ou subterrâneos por escoamento, causando poluição, eutrofização e redução do oxigênio disponível no meio aquático (Resende 2002; Instituto da Água 2003). Bhumbia (2012) destaca que a quantidade de íons nitrato existente naturalmente no solo ou adquirido através de fertilizantes nitrogenados, a forma de irrigação, a profundidade do lençol freático ou aquífero, o regime de chuvas e a permeabilidade do solo são fatores que determinam o nível de contaminação das águas.

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma ferramenta matemática que permite avaliar as condições qualitativas da água. Este é calculado através de nove parâmetros (pH, temperatura, turbidez, total de sólidos dissolvidos, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrato total e fósforo total) selecionados por especialistas da área.

Considerando que tal recurso é essencial para a manutenção da vida humana e de outros organismos vivos, além das próprias condições climáticas na Terra, é importante a proteção e prevenção contra atividades que possam causar sua degradação dos recursos naturais. Pelas razões expostas o trabalho teve como objetivo geral investigar a “Qualidade da água em microbacias hidrográficas sob diferentes usos do solo, na área de influência da BR-163, nos municípios de Santarém e Belterra, Pará, Brasil”, com ênfase aos aspectos limnológicos e de precipitação, de forma a traçar um comparativo de qualidade da água dos igarapés que drenam bacias em quatro ambientes: os mecanizados de cultivos de soja antigos e recentes, com igarapés naturais (unidades de conservação) e igarapés situados em áreas de cultivo tradicional da região, considerando o efeito do período de chuvas e de estiagem na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Única conexão entre o Norte- Sul do País, a rodovia BR-163 (Figura 1) possui uma extensão de 1.780 Km, que vai da capital Cuiabá (MT) ao município de Santarém (PA), este último, detentor de 1.152 Km do total (Wikipédia, 2011). A área de influência da rodovia abrange 32 municípios do Mato Grosso, 28 do Pará e 05 do Amazonas, numa área de 974 mil Km², (Brasil, 2006). A BR-163 atravessa os municípios de Santarém e Belterra, estando situada na sub-região do Baixo Amazonas. Inseridas no bioma Amazônia, apresenta diversificação no relevo, com regiões de planalto a várzea ao longo do rio Amazonas. Com densa floresta ombrófila, possuem vegetação coberta por florestas densas, florestas abertas, florestas de transição e florestas estacionais. Os solos, em grande parte, possuem baixa fertilidade e elevados níveis de acidez, com alternância de chuvas abundantes e curtos períodos de estiagem (Brasil 2006).

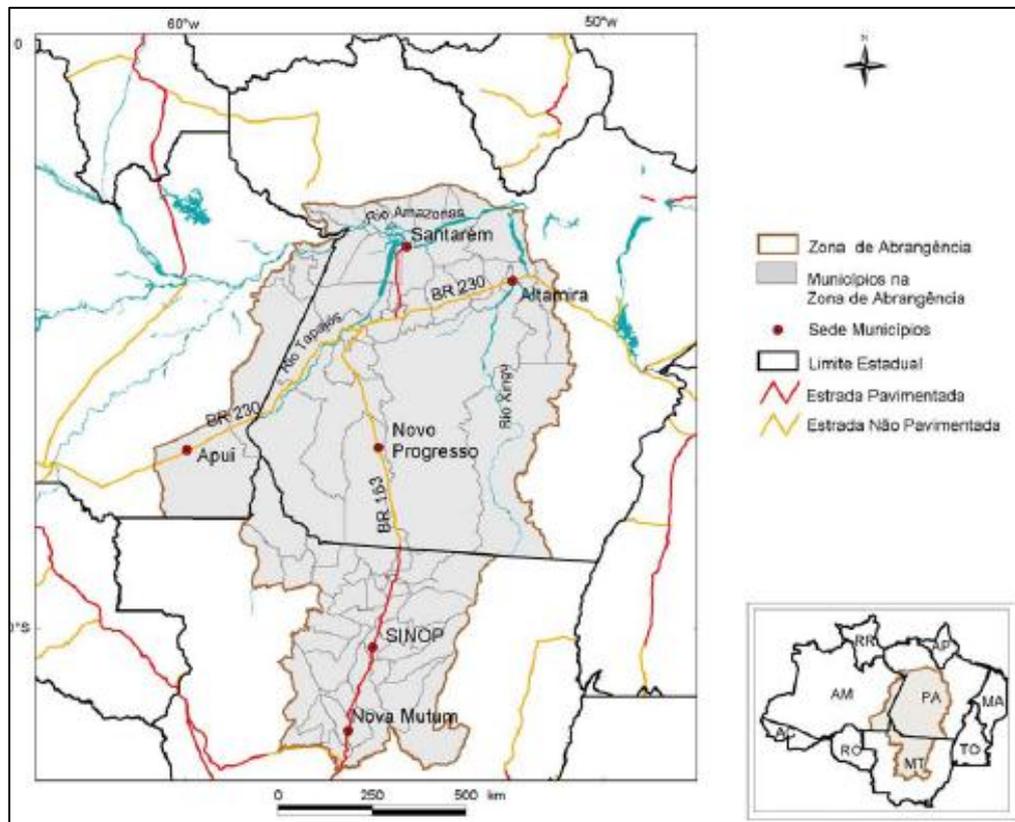


Figura 1 – Área de influência da rodovia BR-163.

Fonte: Adaptado de Brasil, 2006.

Amostragem

Foram selecionados 27 pontos de amostragem, ao longo da área de influência da BR-163, entre os municípios de Santarém e Belterra (Tabela 1), distribuídos em 04 grupos: 1) Floresta Nacional do Tapajós (Flona-Tapajós); 2) Projeto de Assentamento Mojú (PA-Mojú); 3) Rodovia BR-163 e 4) Rodovia Curuá-Una, sendo as três primeiras localizadas ao longo da rodovia BR-163 e a última, na rodovia PA-370, consideradas, respectivamente, áreas de *background*, e de predomínio com cultivo familiar tradicional, cultivo mecanizado de soja antigo e de cultivo mecanizado de soja recente, com tempo de ocupação de uso de solo para as três últimas de dezesseis, quinze e dez anos. As microbacias eleitas com base na demanda do recurso hídrico (rios e igarapés) pelas comunidades, foram georreferenciadas através do uso de Sistema de Posição Global (GPS), da marca Garmin, modelo GPSmap76.

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos da coleta de água para análises limnológicas.

Grupo	Microbacia	Ponto	Latitude	Longitude
Flona – Tapajós	Branco	FT01	03°03'01.0"	054°55'38.7"
	Jatuarana	FT02	03°15'41.1"	054°56'50.4"
	Mojú	FT03	03°25'03.8"	054°54'45.1"
	Mutum	FT04	03°29'55.6"	054°53'04.8"
	Onça	FT05	03°33'35.0"	054°52'12.7"
	Flona	FT06	02°50'42.0"	054°59'35.2"
PA-Mojú	ACTAAIA 01	PM01	03°13'57.2"	054°33'26.5"
	ACTAAIA 02	PM02	03°14'38.1"	054°33'54.2"
	ACTAAIA 03	PM03	03°14'36.4"	054°34'26.2"
	Anta	PM04	03°17'18.3"	054°36'38.7"
	ACTAAIA 04	PM05	03°16'45.7"	054°36'23.8"
	ACTAAIA 05	PM06	03°16'17.0"	054°36'10.9"
Curuá-Una	Ramal do Gato	CU01	02°45'45.7"	054°30'03.1"
	Açu	CU02	02°42'10.8"	054°26'51.7"
	Riacho-Doce	CU03	02°53'12.9"	054°28'38.5"
	Guaranzinho	CU04	02°41'55.6"	054°20'23.8"
	Guaraná	CU05	02°45'52.0"	054°23'07.6"
	Bica	CU06	02°42'58.4"	054°29'58.9"

Continuação

BR-163	Prata	BR01	02°54'08.6"	054°51'51.1"
	Açaizal – Montante	BR02	02°55'59.1"	054°52'58.0"
	Açaizal – Jusante	BR03	02°55'39.4"	054°52'42.9"
	Cacimba – Montante	BR04	02°56'21.2"	054°52'26.8"
	Cacimba – Jusante	BR05	02°56'21.3"	054°52'23.5"
	Panela – Montante	BR06	02°59'46.2"	054°52'47.1"
	Panela – Jusante	BR07	02°59'46.6"	054°52'47.0"
	Garrafa	BR08	03°01'32.1"	054°52'49.3"
	São Benedito	BR09	02°59'46.6"	054°52'47.0"

Coleta das amostras

A coleta dos pontos de amostragem foi realizada durante os meses de outubro de 2011 e abril de 2012, considerados respectivamente, períodos de chuvas e de estiagem. A metodologia para a coleta das amostras seguiu o protocolo analítico da Normalização Técnica NBR9897 (ABNT, 1987a) enquanto que a conservação seguiu a NBR9898 (ABNT, 1987b).

As amostras foram coletadas na superfície contra a água corrente e armazenadas em 03 frascos de polietileno de 1.000 mL, para as análises físico-químicas, e 01 frasco de polietileno estéril de 250 mL, para as análises microbiológicas. Os frascos foram conservados em caixa refrigerada e transportados ao Laboratório de Biologia Ambiental (LBA) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), para a realização das análises.

As medidas de pH, temperatura da água (°C), total de sólidos dissolvidos (TDS mg.L⁻¹) e oxigênio dissolvido (OD mg.L⁻¹) foram realizados “*in loco*” com auxílio de equipamentos portáteis das marcas Corning e Oakton. Os parâmetros demanda biquímica de oxigênio (DBO₅ mg.L⁻¹); turbidez (UNT), sólidos totais, fósforo total, nitrato (mg.L⁻¹), e coliformes termotolerantes (NMP 100 mL⁻¹), foram determinados em laboratório, segundo as normas da APHA (2005), de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros medidos em laboratório, instrumentos e métodos de análise empregados.

Parâmetro	Unidade	Equipamento	Método/Código <i>Standard Methods</i> (2005)*
Coliformes termotolerantes	UFC ¹ .100 mL	Incubadora bacteriológica	Membrana filtrante – Meio Endo/Cód: 9222-D
DBO	mg.L ⁻¹	Medidor de OD, marca HACH, modelo SensÍon6	Incubação/Eletrodo de membrana/5210-B
Fósforo total	mg.L ⁻¹	Spectrofotômetro, marca Shimadzu, modelo UV-1201	Redução com ácido ascórbico/ Cód: 4500-PE
Nitrato	mg.L ⁻¹	Colorímetro, marca Lamotte, modelo Smart	N-(1-naftyl)-etilenodiamina/ Cód: 4500-NO ₃ ⁻ C
Sólidos totais	mg.L ⁻¹	Estufa de secagem, marca Fanem, modelo 315 SE	Gravimétrico/ Cód: 2540-D
Turbidez	UNT ²	Colorímetro, marca Lamotte, modelo Smart	Nefelométrico/ Cód: 2130-B

* FONTE: American Public Health Association (APHA), 2005.

¹UFC = Unidade Formadora de Colônia por 100 mL de amostra, ²UNT = Unidade Nefelométrica de Turbidez.

Determinação do IQA

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é um valor numérico, desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos, em 1970, obtido através da média harmônica ponderada de nove parâmetros (coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato total, fósforo total, temperatura, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido), selecionados por especialistas da área, com atribuição de peso relativo a cada um dos componentes (Tabela 3), de acordo com o nível de importância, e traçadas curvas médias para cada componente em função de sua concentração, capaz de avaliar a qualidade das águas em um dado ponto monitorado (Brown *et al.* 1970; Brown e Mclelland 1973; MMA 2005; von Sperling 2007; CETESB 2011).

Tabela 3 – Parâmetros utilizados no IQA com respectivos pesos.

Nº	Parâmetro	Unidade	Peso (q _i)
1	Oxigênio Dissolvido	% saturação	0,17
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 MI	0,15
3	Potencial Hidrogeniônico	-	0,12
4	Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg O ₂ /L	0,10
5	Nitrato	mg N/L	0,10
6	Fósforo Total	mg P/L	0,10
7	Temperatura da água	°C	0,10
8	Turbidez	UNT	0,08
9	Sólidos Totais	mg/L	0,08
Total			1,00

Fonte: von Sperling, 2007.

O índice é calculado pelo produtório das notas individuais para cada parâmetro, elevados aos respectivos pesos, com índices variando entre 0 a 100. A expressão matemática do IQA é:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade da Água, um número em escala que vai de 0 a 100;

Q_i: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação da qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

W_i: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade;

i: número do parâmetro, variando de 1 a 9 (n = 9, ou seja, o número de parâmetros que compõem o IQA é 9).

O somatório dos pesos de todos os parâmetros é igual a 1, onde n é igual ao número de parâmetros que entram no cálculo do IQA, ou seja:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

A classificação do IQA é feita de acordo com a Tabela 4, indicada abaixo:

Tabela 4 – Classificação da qualidade da água, de acordo com o IQA (Adaptado pela CETESB, 2004, citado por von Sperling, 2007).

Classificação	Cor	Índice IQA
Ótima	Azul	$80 \leq \text{IQA} \leq 100$
Boa	Verde	$52 \leq \text{IQA} < 80$
Aceitável	Amarela	$37 \leq \text{IQA} < 52$
Ruim	Vermelha	$20 \leq \text{IQA} < 37$
Péssima	Preta	$0 \leq \text{IQA} < 20$

Com base nos dados gerados pelo IQA foi realizado o diagnóstico da qualidade ambiental para cada área de estudo, dando ênfase a identificação das áreas de risco potencial a fenômenos erosivos e de assoreamento, de destituição da mata ciliar e de contaminação por produtos químicos provenientes da sojicultura, em áreas de drenagem das microbacias hidrográficas.

Análise estatística

De modo geral, foi utilizada estatística descritiva, como tabelas, gráficos e medidas de tendência central para a apresentação dos resultados (Ayres *et al.*, 2000). Para verificar possíveis diferenças dos índices de qualidade das águas entre os períodos de coleta (chuva e estiagem), bem como entre as regiões (Flona-Tapajós, BR-163, Curuá-Una e PA-Mojú), foi utilizado análise de variância (ANOVA). O efeito da porcentagem da área de drenagem da bacia cultivada com soja ou de cultivo tradicional sobre os índices de qualidade da água, bem como aos parâmetros físico-químicos individualizados, foi avaliado através da análise de correlação de Pearson e regressão linear simples, sendo demonstrado resumidamente em matriz de correlação, o grau de associação entre as variáveis (Zar, 1984). Os testes mencionados acima foram analisados pelo Programa Computacional *Statistica* Versão 7.0.

Por fim, o presente estudo adotou como referencial cartográfico o sistema de coordenadas cartográficas em graus minutos e segundos, e DATUM WGS-84 (World Geographical System). A base de dados geográficos digital foi concentrada em duas bases no formato Raster (Imagens LANDSAT, e Imagens SRTM) e uma no formato vetorial (Base de vetores municipais do IBGE). Os dados LANDSAT foram

empregados para os procedimentos relacionados ao dimensionamento das paisagens de uso, especificamente a cobertura do solo, relacionada ao contexto hidrográfico envolvente no estudo. No caso das imagens SRTM (Shuttle Topographic Mission), os dados raster foram adotados para delimitação e quantificação do contexto hidrográfico envolvente, neste caso, a delimitação das bacias a montante dos pontos de coleta de água. O estudo combinou técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, visando alcançar o objetivo de relacionar as formas de uso e cobertura do solo com a qualidade da água amostrado nos pontos de coleta.

Mapas temáticos

Para simplificar a visualização dos resultados dos IQAs, foram gerados mapas temáticos para os dois períodos de coleta, demonstrando os pontos de amostragem através de cores indicadas pela Tabela de Classificação das Águas, indicada anteriormente (Tabela 4), com suas respectivas áreas de drenagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores absolutos de IQA por microbacia, período e região de coleta estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados dos IQAs e parâmetros componentes, conforme variação temporal.

Área	Ponto	Microbacia	Altitude	Período de estiagem										Período chuvoso											
				pH	T	OD	DBO	NO ₃ ⁻	PT	Tu	ST	CT	IQA	IQA	pH	T	OD	DBO	NO ₃ ⁻	PT	Tu	ST	CT	IQA	IQA
									Quant.	Qual.						Quant.	Qual.								
Flona-Tapajós	FT01	Branco	14	5,1	27,6	2,1	0,0	0,01	2,1	11	0,2	0	57	Boa	5,0	21,2	7,3	1,0	0,01	3,6	8	1,0	0	74	Boa
	FT02	Jatuarana	15	5,0	28,0	3,2	0,0	0,01	2,5	12	0,0	0	63	Boa	4,9	26,3	8,8	3,1	0,01	3,6	11	0,6	0	72	Boa
	FT03	Mojú	15	4,9	27,4	3,7	0,0	0,01	2,1	14	0,0	0	63	Boa	4,7	25,3	8,4	3,7	0,01	3,5	9	0,8	0	70	Boa
	FT04	Mutum	19	4,8	31,6	2,3	0,0	0,01	2,1	11	0,2	0	58	Boa	5,6	25,4	7,8	4,5	0,01	3,3	14	3,5	0	69	Boa
	FT05	Onça	15	4,9	27,9	4,2	0,0	0,01	2,2	13	0,2	0	67	Boa	4,8	25,8	8,2	3,9	0,01	3,9	5	0,7	0	72	Boa
	FT06	Flona	17	4,4	28,5	2,9	0,2	0,01	2,1	9	0,3	0	57	Boa	4,5	25,8	6,5	1,2	0,01	3,3	8	0,3	0	77	Boa
PA-Mojú	PM01	ACTAAIA 01	125	5,1	28,4	3,5	1,2	0,01	3,0	10	0,0	0	64	Boa	5,1	28,8	5,6	3,9	0,01	3,8	6	0,7	0	72	Boa
	PM02	ACTAAIA 02	66	4,9	26,2	5,4	1,2	0,01	3,0	11	0,5	0	72	Boa	4,9	26,6	9,1	0,0	0,01	4,7	10	2,2	0	77	Boa
	PM03	ACTAAIA 03	68	5,6	28,1	5,7	1,2	0,01	3,3	19	3,3	0	70	Boa	5,8	30,8	7,9	0,9	0,01	4,9	16	7,5	0	77	Boa
	PM04	Anta	72	4,9	26,3	5,5	1,5	0,01	3,7	11	0,4	0	69	Boa	4,1	25,3	7,4	0,7	0,01	4,3	43	2,7	0	75	Boa
	PM05	ACTAAIA 04	96	5,1	26,2	5,3	1,8	0,01	2,6	11	4,0	0	70	Boa	4,9	25,0	6,4	0,0	0,01	4,1	40	2,0	0	72	Boa
	PM06	ACTAAIA 05	84	4,9	26,7	5,0	1,2	0,01	2,8	12	0,2	0	75	Boa	4,8	25,4	7,1	0,0	0,01	4,2	40	2,3	0	78	Boa
BR-163	BR01	Prata	58	5,6	27,1	5,7	0,6	0,01	2,7	5	0,3	0	78	Boa	4,8	26,0	7,8	0,0	0,01	4,9	9	0,8	0	78	Boa
	BR02	Açaizal – M	60	6,2	29,5	6,6	0,1	0,01	3,2	9	8,0	0	85	Ótima	5,8	28,2	6,4	0,0	0,01	5,0	16	2,4	0	75	Boa
	BR03	Açaizal – J	59	5,9	29,9	6,1	0,1	0,01	2,8	8	8,3	0	82	Ótima	5,4	29,3	7,2	0,0	0,01	6,8	16	4,9	0	72	Boa
	BR04	Cacimba – M	65	5,2	29,7	7,6	1,4	0,01	2,8	8	0,7	0	87	Ótima	5,4	28,0	5,9	0,0	0,01	6,5	10	2,0	0	77	Boa
	BR05	Cacimba – J	62	5,1	31,5	6,5	0,9	0,01	5,0	5	0,1	0	82	Ótima	5,0	28,1	7,5	0,0	0,01	3,9	10	1,5	0	78	Boa
	BR06	Panela – M	63	5,1	31,3	8,4	0,9	0,01	2,7	5	0,2	0	76	Boa	4,9	29,5	6,9	0,0	0,01	4,3	10	1,6	0	74	Boa
	BR07	Panela – J	62	5,6	29,7	8,4	0,6	0,01	2,4	2	0,2	0	78	Boa	5,1	28,4	8,4	0,7	0,01	4,1	11	2,8	0	79	Boa
	BR08	Garrafa	59	5,5	28,7	7,0	0,9	0,01	2,8	10	2,3	0	77	Boa	5,4	27,9	7,2	0,0	0,01	15,0	9	1,3	0	79	Boa
	BR09	São Benedito	56	5,6	27,8	8,0	0,9	0,01	4,1	7	0,0	0	78	Boa	5,5	26,4	7,6	0,0	0,01	9,3	13	2,1	0	77	Boa
Curúá-Una	CU01	Ramal do gato	42	5,2	28,5	6,8	1,3	0,01	2,1	5	0,0	0	76	Boa	5,6	27,8	7,8	0,0	0,01	3,8	31	11,1	0	77	Boa
	CU02	Igarapé-Açu	108	5,1	28,9	7,0	0,2	0,01	2,5	11	4,7	0	82	Ótima	5,5	25,8	7,1	1,1	0,01	5,2	33	10,2	0	78	Boa
	CU03	Riacho Verde	65	5,4	32,3	8,5	0,0	0,01	2,2	11	0,6	0	78	Boa	5,7	27,5	7,8	0,0	0,01	5,7	40	19,9	0	78	Boa
	CU04	Guaranazinho	70	5,6	30,0	8,4	0,8	0,01	3,3	10	2,1	1	80	Boa	5,2	26,3	7,5	0,0	0,01	5,6	40	17,1	0	79	Boa
	CU05	Guaraná	176	5,4	29,5	8,2	0,0	0,01	2,7	15	2,8	0	79	Boa	4,7	27,8	8,9	0,0	0,01	3,2	5	4,5	0	79	Boa
	CU06	Bica	128	4,9	27,9	8,6	0,0	0,01	2,1	6	0,0	141	69	Boa	5,3	26,8	5,1	0,0	0,01	5,3	37	13,4	0	75	Boa

LEGENDA: M = Montante; J = Jusante; Altitude (m); pH = Potencial hidrogeniônico; T = Temperatura (°C); OD = Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹); DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L⁻¹); NO₃⁻ = Nitrato (mg.L⁻¹); PT = Fósforo Total (µg.L⁻¹); Tu = Turbidez (UNT); ST = Sólidos Totais (mg.L⁻¹); CT = Coliformes Termotolerantes (UFC.100 ml⁻¹); IQA Quant.= IQA Quantitativo; IQA Qual. = IQA Qualitativo.

Os IQAs por microbacia, independente de período e região de coleta flutuaram significativamente ($F_{(26, 27)} = 1,9837$, $p = 0,04130$), indo de 57 (FT01 e FT 06 - Belterra) a 87 (BR04 - Belterra) (Figura 2).

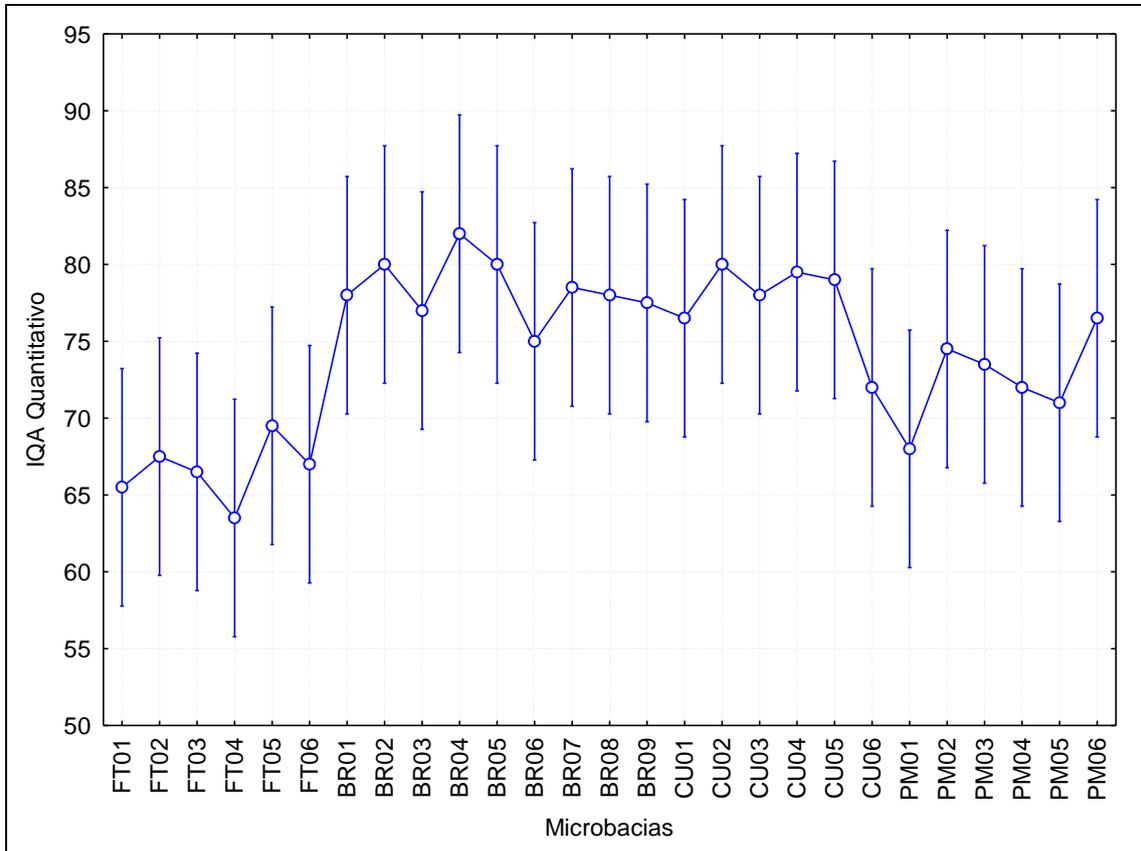


Figura 2 – Valores médios de IQA por microbacias, independente de região e período de coleta.

Os resultados dos valores de IQA conforme a categorização das bacias por tempo de cultivo antigo e recente de soja, de cultivo tradicional e aqueles situados em área de conservação não foram homogêneos, sendo que os valores variaram significativamente ($F_{(3, 50)} = 18,810$; $p = 0,0000$), com a seguinte distribuição decrescente: Curuá-Una (IQA = 78), Br-163 (IQA = 78), PA-Mojú (IQA = 73) e Flona (IQA = 67) (Figura 3).

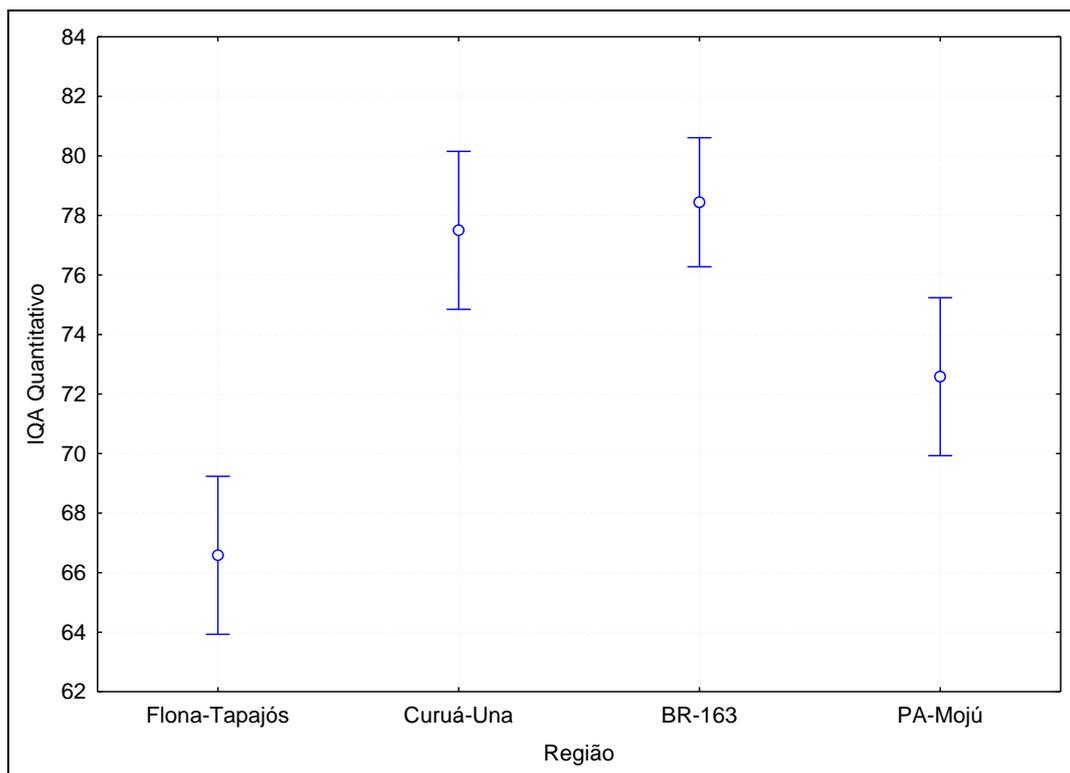


Figura 3 – Valores médios de IQA por regiões, independente de microbacias e período de coleta.

Universalmente, as áreas totais de captação dinâmica das bacias, naturalmente, contribuem para alterações de qualidade da água entre as fases do ciclo hidrológico (Precipitação→Infiltração→Escoamento). Este efeito é potencializado com a retirada da cobertura vegetal das áreas de drenagens, bem como, com as diferentes atividades antrópicas de uso do solo. Assim, no sentido de se visualizar as flutuações da qualidade da água das microbacias em função da área de drenagem total das mesmas e das porcentagens de cobertura vegetal *versus* porcentagem de uso agrícola (solo exposto), são apresentadas na Tabela 6, os dados morfométricos e fisiográficos de uso do solo das microbacias. Estes dados foram confrontados com os índices de qualidade da água. As microbacias pertencentes a uma mesma área de drenagem foram agrupadas para o confronto.

Tabela 6 – Dados morfométricos e fisiográficos de uso do solo das microbacias hidrográficas.

Bacia	% Cobertura Vegetal	% Uso Agrícola (Solo exposto)	Área Cobertura Vegetal	Área Uso Agrícola (Solo exposto)	Área total (Km ²)
Açaizal	75.37	24.63	13.73	4.49	18.22
Riacho Verde	69.16	30.84	10.85	4.84	15.69
ACTAAIA 01, 02, 03	74.81	25.19	3.73	1.26	4.99
ACTAAIA 04, 05, Anta	80.28	19.72	95.42	23.44	118.86
Bica, Igarapé-Açu	61.91	38.09	9.47	5.83	15.29
Branco	86.47	13.53	72.83	11.40	84.23
Cacimba	77.74	22.26	31.15	8.92	40.07
Guaraná	62.97	37.03	14.28	8.40	22.68
Guaranazinho	67.41	32.59	5.91	2.86	8.77
Jatuarana	87.27	12.73	89.88	13.11	102.99
Mojú	94.46	5.54	756.50	44.39	800.90
Mutum	92.56	7.44	8.15	0.66	8.81
Onça	96.51	3.49	247.39	8.95	256.34
Panela, São Benedito	48.62	51.38	5.15	5.44	10.59
Prata	79.33	20.67	5.48	1.43	6.91
Ramal do Gato	80.19	19.81	1.29	0.32	1.61

Assim, a área total de drenagem das microbacias correlacionou-se significativamente de forma inversa com as alterações dos IQAs somente para o período chuvoso ($r = - 0,5232$; $p = 0,0376$), respondendo por 27% das variações nos índices de qualidade entre as microbacias. Portanto, as alterações físico-químicas e biológicas serão mais significativas com o aumento da área da bacia do receptor principal, quando comparadas ao período de estiagem.

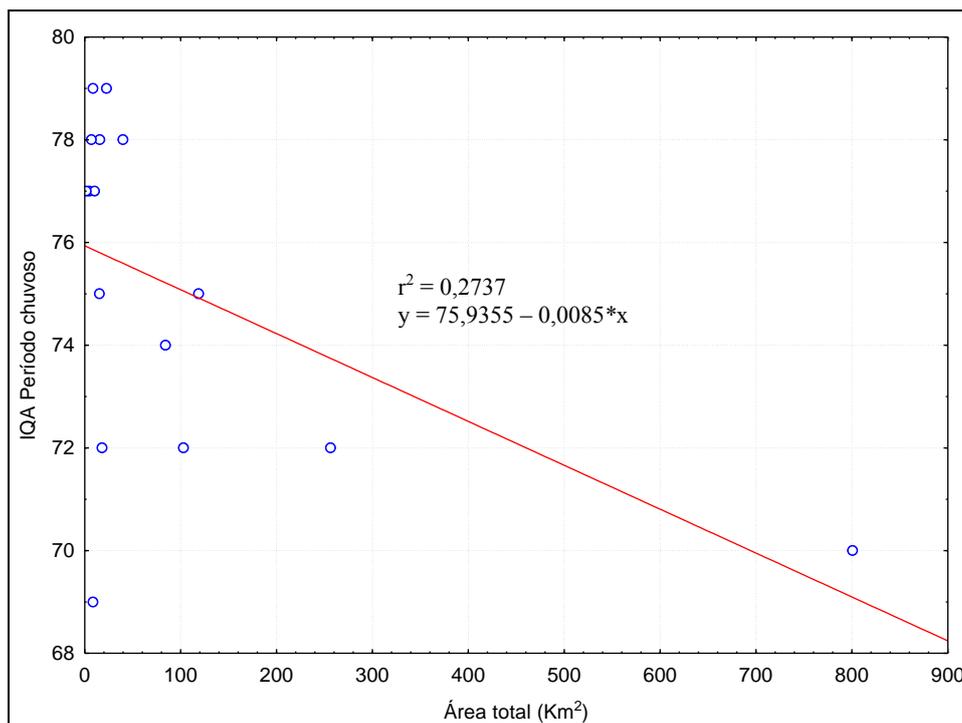


Figura 4 – Valores médios de IQA em função da área total da bacia, em Km², durante o período chuvoso.

Considerando os aspectos referentes à classificação do Índice de Qualidade da Água, dos vinte e sete pontos de amostragem, vinte e dois enquadraram-se na categoria *Boa* e cinco, apresentaram condições *Ótimas*, durante o período de estiagem, com IQA quantitativo oscilando entre 57 e 80. Para o período chuvoso, todos os pontos foram considerados de qualidade *Boa*, com IQA quantitativo variando entre 69 a 79. A diminuição do IQA durante o período chuvoso se deu por processos naturais (ciclos biogeoquímicos) e na área antropizada, pela dinâmica do uso do solo. Nesse contexto, o cenário visualizado ainda não está numa intensidade tal para comprometer o IQA nas categorias *Ruim*, *Péssima*. Todavia, com a chuva, todos os igarapés tiveram sua dinâmica intensificada, naturalmente, pela matéria orgânica, enquanto que nas áreas desmatadas, o incremento de compostos foi resultado de lixiviados de fertilizantes e defensivos agrícolas.

Bilich e Lacerda (2005) notaram redução no índice de qualidade durante a estação de chuvas, ao analisar 30 pontos de captação no Distrito Federal. Outro trabalho que demonstrou redução no índice durante as chuvas, foi o de Zonta *et al.* (2004), na bacia do rio Alegre, no Espírito Santo.

Ao longo do Brasil, diversos pesquisadores demonstraram os impactos sobre a qualidade da água provenientes da atividade agrícola ou de pecuária, através do uso do

IQA. Em São Paulo, a microbacia hidrográfica de Ribeirão dos Marins apresentou concentrações de ferro, cobre, oxigênio dissolvido, nitrato, fósforo e potássio acima dos valores máximos permitidos (Lucas *et al.* 2010). Na sub-bacia do Rio Poxim (SE), níveis cinco vezes mais altos que os limites estabelecidos pela legislação ambiental, foram encontrados para o fósforo total e nitrato em áreas com atividade agrícola (Vasco *et al.*, 2011).

O IQA, segundo Silva e Jardim (2006), por utilizar um grupo diverso de variáveis para a composição de um único número pode reduzir a sensibilidade estatística do impacto decorrente de atividades antrópicas, pelo comportamento estável de alguns componentes frente a outros que demonstraram algum tipo de alteração. Por essa razão, a avaliação individual dos parâmetros é recomendável. Bini e Minte Vera (1996) destacam que o índice por não considerar outros contaminantes em seu cálculo, acabam por limitar sua interpretação e seu uso no manejo do recurso hídrico.

A análise de variância a partir do teste um critério revelou que a sazonalidade influenciou de forma altamente significativa o IQA das regiões da Flona-Tapajós ($F_{(1,10)} = 31,446$; $p = 0,00023$), PA-Mojú ($F_{(1,10)} = 7,9421$; $p = 0,01822$) e BR-163 ($F_{(1,16)} = 6,2571$; $p = 0,02361$), quando analisadas de maneira isolada, com maior IQA para a última região.

Analisando-se o conjunto de regiões (Figura 5), verificou-se que o índice foi mais elevado durante a estação chuvosa. Nas microbacias do Ribeirão da Onça e do Feijão (SP), Carvalho e colaboradores (2000) relataram elevação do índice durante o período das chuvas. Jacintho (2006), no córrego de Ribeirão Correias (SP), também encontrou o mesmo resultado, provavelmente devido a maior vazão e a capacidade autodepurativa dos corpos d'água, capaz de assimilar os compostos oriundos da lixiviação (Costa *et al.* 2003). Na região da BR-163 houve inversão nos resultados, com melhor IQA durante a estação seca, similar aos apresentados por Bilich e Lacerda (2005) e Bilich (2007), atribuído ao maior escoamento superficial durante a estação chuvosa, que elevou o carreamento de agroquímicos e fertilizantes, promovendo a diminuição do índice.

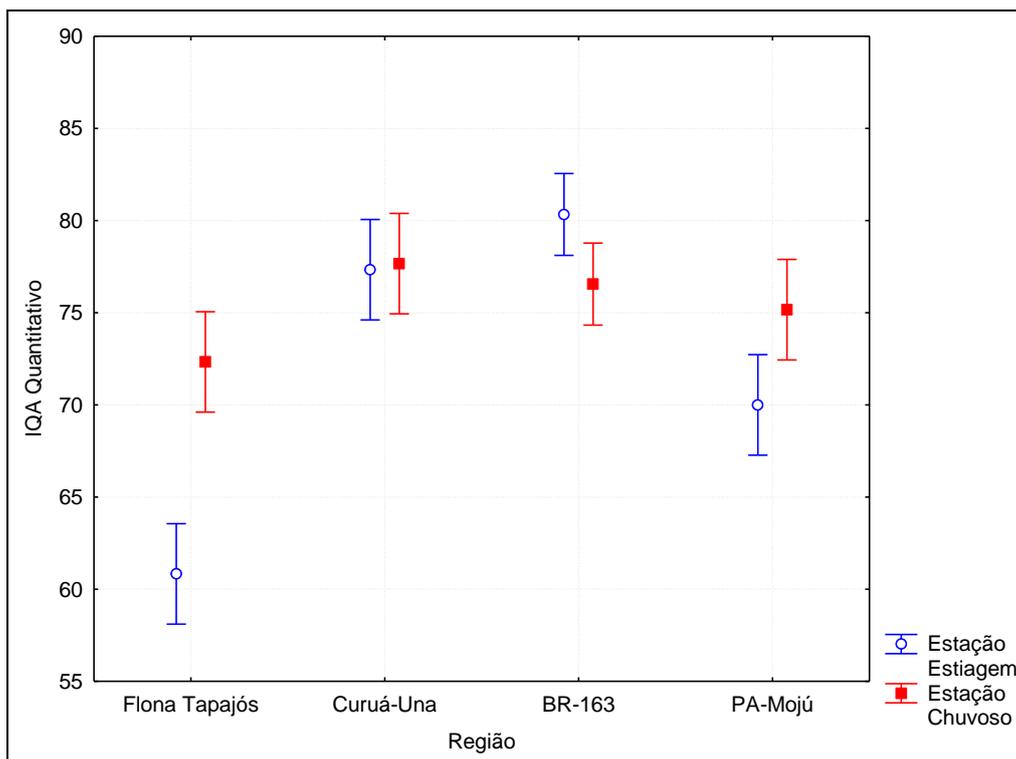


Figura 5 – Valores médios de IQA em função da região, durante os períodos chuvoso e de estiagem. $F_{(3,46)} = 13,814$; $p = 0,00000$.

Ainda em relação a BR-163, três igarapés foram avaliados considerando o efeito de montante a jusante, em função de suas intercepções por barragens: Açaizal (BR02 e BR03), Cacimba (BR04 e BR05) e Panela (BR06 e BR07) e, neste sentido, não se observou diferenças significativas entre os dois compartimentos ($F_{(1,10)} = 0,03386$; $p = 0,85768$).

As porcentagens de áreas com uso agrícola das bacias relacionaram-se diretamente com os índices de qualidade da água das mesmas, tanto no período de estiagem ($r = 0,72$; $p = 0,0015$), quanto no período chuvoso ($r = 0,69$; $p = 0,0032$), visualizado nas Figuras 6 e 7.

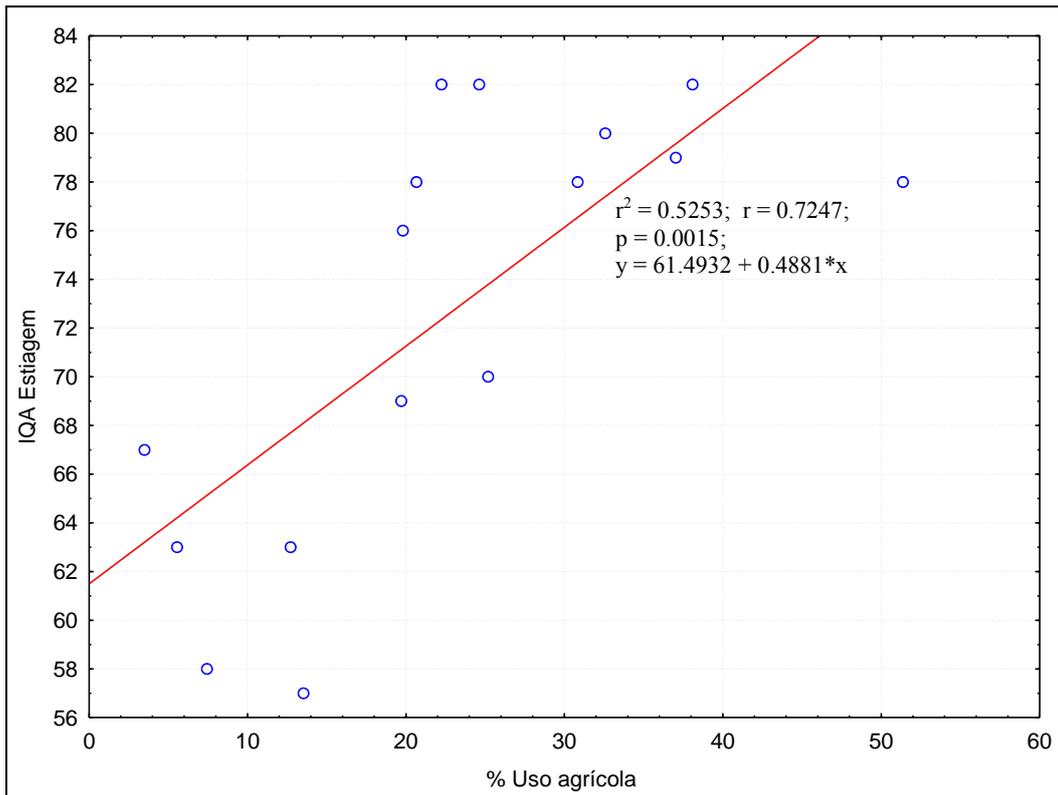


Figura 6 – Valores de IQA em função da porcentagem de uso agrícola, durante o período de estiagem.

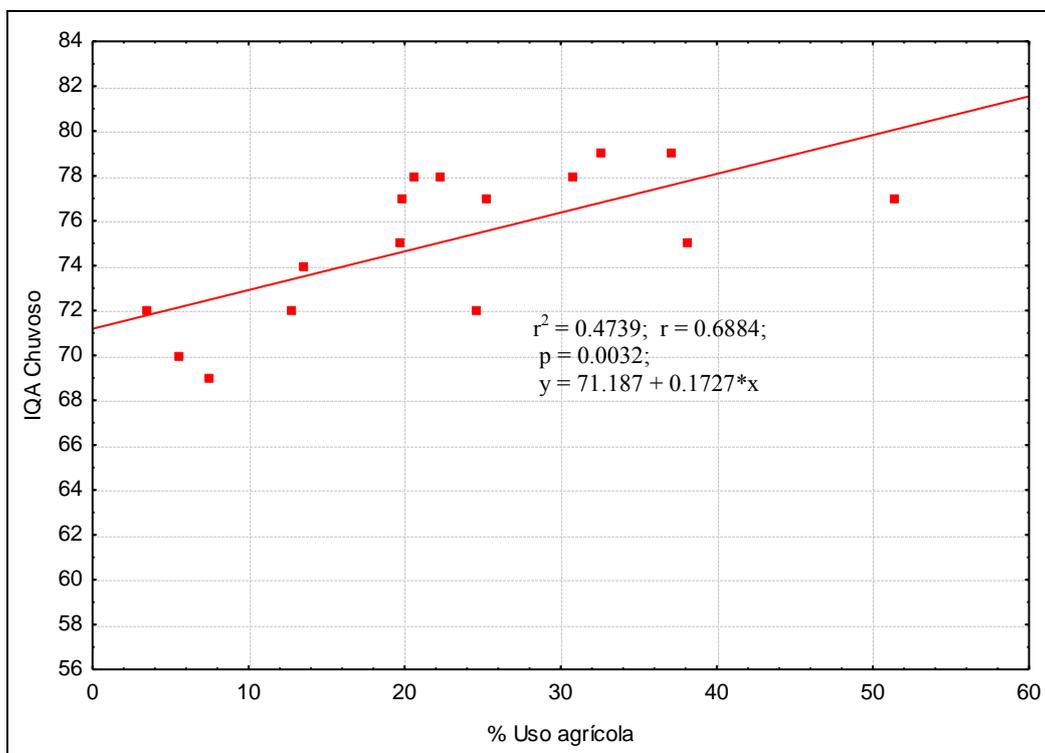


Figura 7 – Valores de IQA em função da porcentagem de uso agrícola, durante o período chuvoso.

A análise dos resultados dos parâmetros individualizados, revelou que o pH e o oxigênio dissolvido apresentaram valores significativamente menores nas microbacias com uma maior conservação de áreas florestadas. Nestes trechos em que os igarapés drenam áreas florestadas, a dinâmica da matéria orgânica desta exerce influência direta sobre a composição de suas águas e o oxigênio é requerido em função dos processos de decomposição, processo este que ficou mais evidente no período de estiagem (Tabela 7).

Pesquisas tem demonstrado que a qualidade da água é melhor em nascentes com vegetação natural quando comparada a áreas com uso agrícola. Primavesi *et al.* (2002) verificaram que, em nascentes com mata, a qualidade da água se mostrou melhor que naquelas com agricultura, sendo o pH, turbidez, cor, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica, dureza, alcalinidade e demanda química de oxigênio (DQO), as variáveis que melhor explicaram essas diferenças. Resultado semelhante foi obtido por Donádio e colaboradores (2005), sendo nesse caso, as variáveis: turbidez, cor, nitrogênio total e alcalinidade, que explicaram as diferenças entre trechos florestados e não florestados.

Contudo, a região amazônica possui uma dinâmica limnológica diferente em relação a outros biomas brasileiros. As águas claras da região sofrem influencia da contribuição da bacia hidrográfica e da decomposição de matéria orgânico e das liteiras, ricos em compostos húmicos, responsáveis pela característica ácida dos rios amazônicos (Sioli 1976; Siqueira *et al.* 2012).

Na floresta, a menor precipitação reduz a lixiviação de nutrientes pelo solo, carreando dessa forma, menor quantidade de matéria orgânica e de nutrientes provenientes das práticas agrícolas. Por isso, o aumento da área de uso do solo exercerá efeito direto sobre o pH, promovendo seu aumento e, conseqüente, alcalinização do meio hídrico e aumento do oxigênio dissolvido propiciado pela maior exposição do espelho d'água à luz solar, vento e pela maior ocorrência de algas e macrófitas aquáticas.

Tabela 7 – Matriz de correlação de Pearson entre variáveis limnológicas, IQA, cobertura vegetal e uso agrícola, durante o período de estiagem.

Variáveis	pH	T	OD	DBO	PT	Tu	MPS	CT	IQA Est.	% Cob. Veg.	% Uso Agr.	Área Cob. Veg.	Área Uso Agr.	Área total Km ²
pH	1.00													
T	0.16	1.00												
OD	0.56	0.34	1.00											
DBO	0.36	-0.06	0.36	1.00										
PT	0.36	0.17	0.32	0.59	1.00									
Tu	-0.25	0.07	-0.28	-0.66	-0.41	1.00								
MPS	0.66	0.19	0.19	-0.10	0.09	0.04	1.00							
CT	-0.30	-0.21	0.27	-0.19	-0.19	-0.30	-0.14	1.00						
IQA Est.	0.56	0.14	0.79	0.41	0.47	-0.54	0.36	0.29	1.00					
% Cob. Veg.	-0.54	-0.10	-0.78	-0.29	-0.41	0.33	-0.16	-0.31	-0.72	1.00				
% Uso Agr.	0.54	0.10	0.78	0.29	0.41	-0.33	0.16	0.31	0.72	-1.0	1.00			
Área Cob. Veg.	-0.40	-0.37	-0.39	-0.26	-0.23	0.47	-0.17	-0.11	-0.42	0.5	-0.5	1.00		
Área Uso Agr.	-0.26	-0.32	-0.26	-0.18	-0.04	0.45	-0.10	-0.08	-0.38	0.4	-0.4	0.89	1.00	
Área total Km²	-0.40	-0.37	-0.39	-0.26	-0.22	0.47	-0.17	-0.11	-0.42	0.5	-0.5	1.00	0.90	1.00

LEGENDA: T (Temperatura); OD (Oxigênio Dissolvido); DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); PT (Fósforo Total); Tu (Turbidez); MPS (Material Particulado Sólido); CT (Coliformes Termotolerantes); IQA Est. (Índice de Qualidade da Água – Estiagem); Cob. Veg. (Cobertura Vegetal); Uso Agr. (Uso Agrícola).

Se considerarmos que o pH da região amazônica fosse a faixa estabelecida pela resolução em voga (6 a 9), provavelmente notaríamos alterações mais significativas para o IQA, visto que a contribuição da liteira e de matéria orgânica, influenciariam de forma contundente, o aumento do valor do parâmetro em questão.

No período chuvoso, a dinâmica da qualidade da água é influenciada pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (Tabela 8). O aumento da porcentagem de cobertura reduz os valores do IQA quantitativo, ocasionada pelo aumento da DBO. Durante a precipitação ocorre o aumento do escoamento superficial, carreando sedimentos e nutrientes para os corpos hídricos. Nesse contexto, há aumento de matéria orgânica e maior consumo de oxigênio dissolvido, elevando assim, a DBO. Em situação inversa, o aumento da porcentagem do uso do solo ocasionará o aumento do IQA, devido ao aumento da área exposta e ao menor contato com a liteira e matéria orgânica, que eleva as concentrações de oxigênio dissolvido e reduz a demanda bioquímica de oxigênio.

Tabela 8 – Matriz de correlação de Pearson entre variáveis limnológicas, IQA, cobertura vegetal e uso agrícola, durante o período chuvoso.

Variáveis	pH	T	OD	DBO	PT	Tu	MPS	IQA Chuv.	% Cob. Veg.	% Uso Agr.	Área Cob. Veg.	Área Uso Agr.	Área total Km ²
pH	1.00												
T	0.44	1.00											
OD	-0.21	0.04	1.00										
DBO	-0.15	-0.33	0.39	1.00									
PT	0.39	0.25	-0.34	-0.48	1.00								
Tu	0.13	0.11	-0.50	-0.40	0.22	1.00							
MPS	0.52	0.32	-0.37	-0.45	0.24	0.78	1.00						
IQA Est.	0.10	0.33	-0.06	-0.84	0.27	0.30	0.45	1.00					
% Cob. Veg.	-0.30	-0.35	0.35	0.77	-0.72	-0.33	-0.44	-0.69	1.00				
% Uso Agr.	0.30	0.35	-0.35	-0.77	0.72	0.33	0.44	0.69	-1.0	1.00			
Área Cob. Veg.	-0.40	-0.28	0.29	0.57	-0.30	-0.27	-0.34	-0.53	0.5	-0.5	1.00		
Área Uso Agr.	-0.62	-0.35	0.22	0.40	-0.28	-0.11	-0.37	-0.42	0.4	-0.4	0.89	1.00	
Área total Km²	-0.42	-0.28	0.28	0.56	-0.30	-0.26	-0.34	-0.52	0.5	-0.5	1.00	0.90	1.00

LEGENDA: T (Temperatura); OD (Oxigênio Dissolvido); DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); PT (Fósforo Total); Tu (Turbidez); MPS (Material Particulado Sólido); CT (Coliformes Termotolerantes); IQA Chuv. (Índice de Qualidade da Água – Chuvoso); Cob. Veg. (Cobertura Vegetal); Uso Agr. (Uso Agrícola).

A cobertura vegetal é de fundamental importância para a manutenção da integridade do solo. A redução da cobertura por atividades desordenadas que demandam o uso do solo acabam por expor os horizontes superficiais do solo ao intemperismo, acelerando a taxa de erosão, comprometendo os ecossistemas aquáticos pelo assoreamento de seus leitos (Forsberg *et al.* 1989; Walker 1990). Além disso, a cobertura disponibiliza matéria orgânica, proveniente do substrato alóctone, utilizada pela comunidade aquática tanto como abrigo quanto como fonte nutricional, já demonstrado como relevante na manutenção dos igarapés amazônicos (Walker 1990).

A supressão da vegetação ripária tem contribuído, segundo Oliveira-Filho *et al.* (1994), para a erosão das margens e o assoreamento dos cursos d'água, bem como para a elevação dos níveis de turbidez das águas e desequilíbrio do regime das cheias, comprometendo a manutenção das espécies que habitam a floresta. A redução de habitats pela fragmentação das áreas de mata nativa é outra consequência da conversão da floresta, que pode levar a redução de habitats ou alterar a diversidade biológica (Salati *et al.* 2006).

O desmatamento aumenta a vulnerabilidade de queimadas dentro da floresta elevando a carga de vegetação seca e de carga combustível, aumentando as chances de novas ocorrências e da completa deterioração da vegetação existente (Fearnside 2005).

Alterações de albedo, pela conversão da floresta por plantios de soja na Amazônia, foram relatados Costa *et al.* (2007) e Souza *et al.* (2008). Chen e colaboradores (2009) demonstraram alterações no fluxo de calor latente e sensível, nas regiões de Duolun e Xilinhot, na Mongólia, com menor fluxo para a primeira e maior para a última, resultantes da ausência da cobertura vegetal de áreas com mudança no uso do solo e da redução na precipitação pluviométrica da região. Suyker e Verma, (2008), obtiveram os mesmos resultados em campos experimentais da Universidade de Nebraska (EUA), para cultivos em rotação de milho e soja.

Considerando que haja redução nos níveis de precipitação durante a estiagem, em consequência do desflorestamento, poderá ocorrer a diminuição da vazão e da diluição dos sedimentos na área de drenagem, acarretando o aumento da concentração de nutrientes no solo e a sedimentação nos leitos dos rios. Dessa forma, durante a estação chuvosa, as primeiras chuvas provocarão uma resposta abrupta carregando grande quantidade de nutrientes e outros compostos, para os cursos d'água, durante as primeiras chuvas do período, que poderão provocar alterações em todo o meio aquático.

Pelas razões expostas, o uso desordenado do solo poderá comprometer de forma crônica, a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos e da biodiversidade, seja pela redução do volume disponível ou pela sua degradação resultante das atividades antrópicas.

Dois mapas temáticos, referentes aos períodos de estiagem e chuva são apresentados nas Figuras 8 e 9, respectivamente, com o intuito de facilitar a visualização e a distribuição espacial dos Índices de Qualidade da água por microbacias e áreas de estudo.

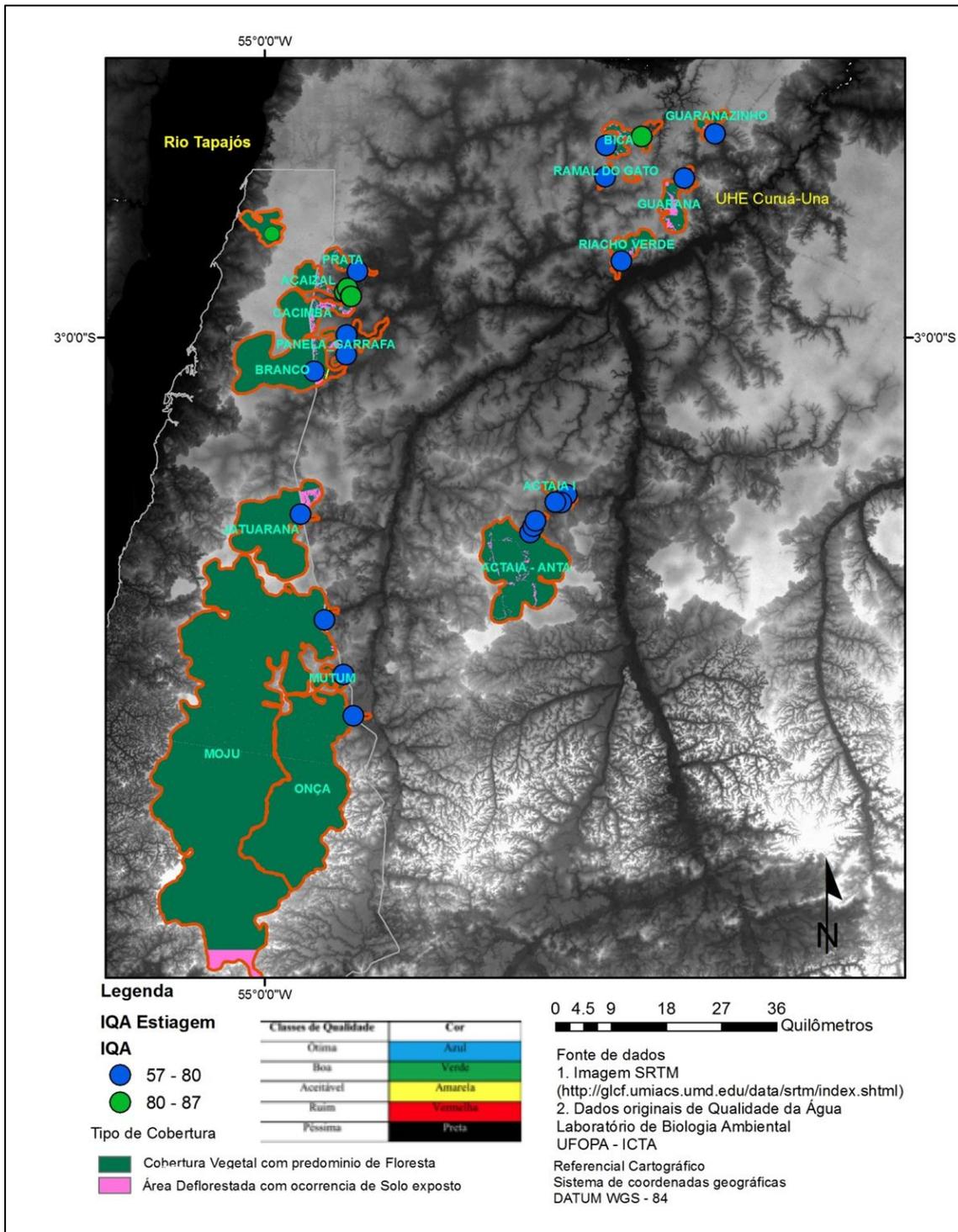


Figura 8 – Mapa temático para o IQA, durante o período de estiagem.
 Elaboração: Keid Nolan Silva Sousa.

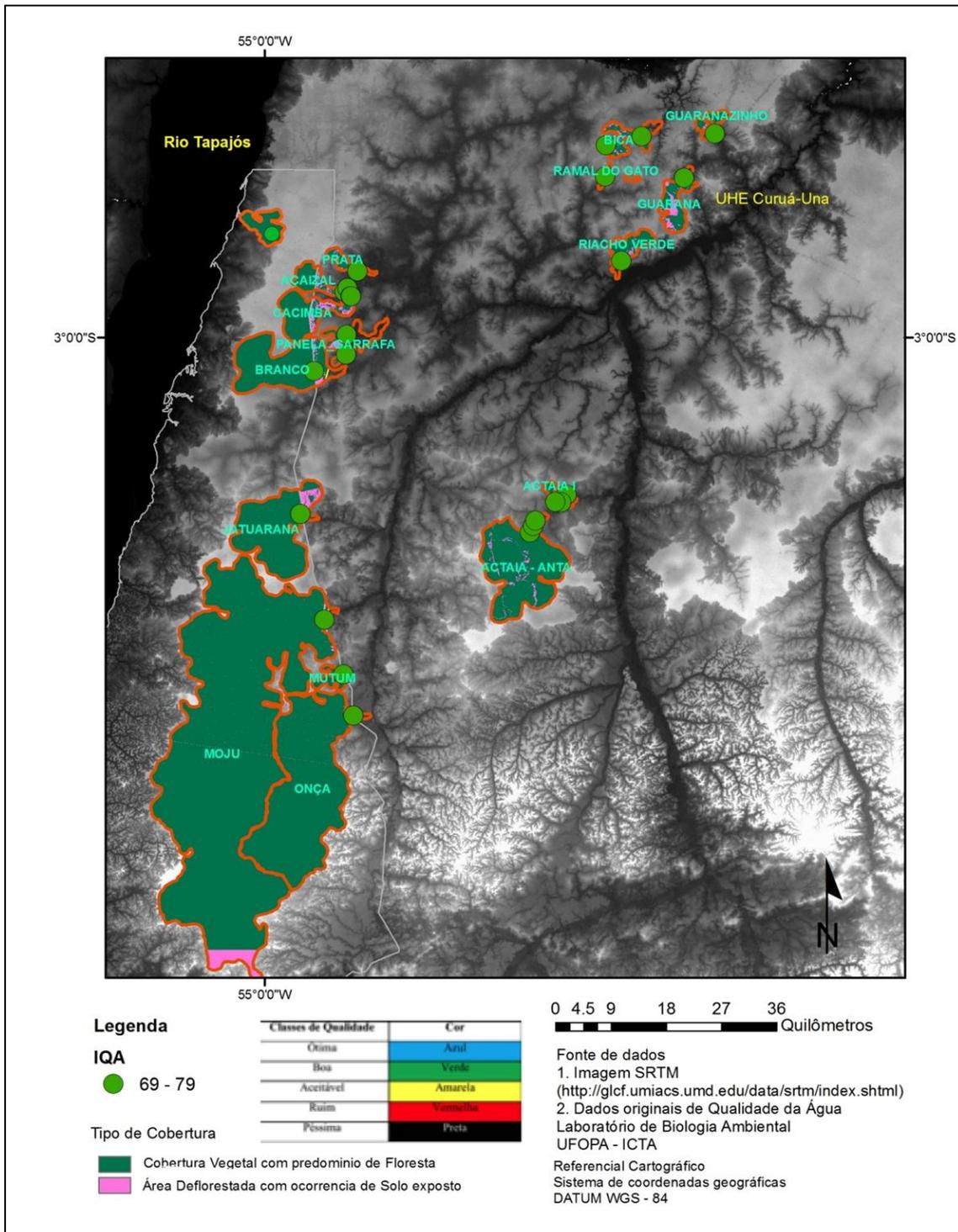


Figura 9 – Mapa temático para o IQA, durante o período chuvoso.
 Elaboração: Keid Nolan Silva Sousa.

As transformações provenientes dos sistemas naturais e aquelas oriundas das atividades de uso do solo podem promover alterações no perfil limnológico dos ecossistemas aquáticos. Nas áreas tropicais, o uso desordenado do solo tem promovido alterações físicas, químicas e biológicas nas águas superficiais e subterrâneas. Dessa forma, o monitoramento dos corpos hídricos através do índice de qualidade da água deve ser utilizado de forma a subsidiar futuras tomadas de decisão a gestão dos corpos d'água.

CONCLUSÕES

Os valores de IQA variaram entre as regiões geográficas com diferentes usos de áreas de drenagens. Assim, as respostas de alterações de qualidade da água em áreas de cultivo tradicional (assentamento PA-Mojú) demonstraram-se mais evidentes que em áreas de cultivo mecanizado (BR-163 e Curuá-Una). Por outro lado os menores valores de IQA foram registrados nos igarapés que drenam a unidade de conservação Floresta Nacional do Tapajós, o que foi diretamente interpretado como consequência dos processos dinâmicos de decomposição da matéria orgânica natural gerada pela floresta, conforme comportamento individual dos parâmetros oxigênio dissolvido, pH e demanda bioquímica de oxigênio. Este fenômeno foi ainda corroborado pelo fato também de se ter obtido uma correlação direta de alterações nos índices de qualidade em função da área total das microbacias, o que por si só explicou vinte e sete por cento das variações.

As microbacias apresentaram seus melhores índices de qualidade da água durante o período de estiagem, sendo que as variações entre as microbacias para este período foram mediadas pelo pH e oxigênio dissolvido. Os menores valores durante o período chuvoso foram dirigidos pelo aumento da demanda bioquímica de oxigênio.

As microbacias com maiores áreas de uso do solo mecanizado foram as que apresentaram os maiores índices de qualidade da água, o que foi associado à entrada de materiais via escoamento superficial que aumentariam os valores de pH, bem como para a maior exposição do álveo à ação dos ventos e à luz solar, que contribuiriam para uma maior produção de algas e, conseqüentemente, maior produção de oxigênio dissolvido durante o dia.

O porte das barragens que interceptaram alguns igarapés na região da BR-163, não foi suficiente para desencadear alterações significativas na qualidade da água destes no sentido montante e jusante.

Considerando a Resolução CONAMA nº 357/05 – água doce classe 2, de maneira geral, todos os pontos estudados apresentaram redução na qualidade da água, porém em condições adequadas de uso.

Por fim, a área total das microbacias, a retirada da cobertura vegetal e a precipitação exerceram influência significativa sobre a qualidade das águas, o que é associado ao uso desordenado dos recursos hídricos, na área de influência da BR-163, em virtude do incremento populacional e do desenvolvimento industrial e agropecuário.

O uso desordenado dos recursos hídricos é resultado do incremento populacional e do desenvolvimento industrial e agropecuário, que tem comprometido a quantidade e a qualidade dos corpos d'água. Portanto, o monitoramento da qualidade da água deve servir como subsídio para o planejamento e gerenciamento dos corpos d'água, de forma a permitir seu uso racional.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), ao Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA), e à equipe do Laboratório de Biologia Ambiental (LBA), que propiciaram a integração do conhecimento à prática para a apresentação dos resultados desse trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. 1987a. NBR9897. Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. 1987b. NBR9898. Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Alencar, A.; Micol, L.; Reid, J.; Amend, M.; Oliveira, M.; Zeidemann, V.; Sousa JR., W.C. 2005. *A pavimentação da BR-163 e os desafios à sustentabilidade: uma análise econômica, social e ambiental*. Belo Horizonte. 29p.

Alencar, A.; Nepstad, D.; Mcgrath, D.; Pena, S.; Vera Diaz, M. DEL C.; Costa. R. 2004. A pavimentação da Cuiabá-Santarém: Exploração desordenada ou oportunidade de governança? *Revista Proposta*. Fase. No 99, Dez./ Fev. de 2003/04. 60-65 pp.

APHA, AWWA, WEF - American Public Health Association. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed. Washington: American Public Health Association.

Ayres, M.; Ayres, M. J.; Ayres, D. L.; Santos, A. S. 2000. *Bio Estatística 2.0: Aplicações estatísticas nas áreas biológicas e médicas*. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq, XII, 272p.

Ayibotele, N.B. 1992. *The world water: assessing the resource*. (<http://www.uniagua.org.br>). Acesso em: 12/10/11.

Barros, F.G.N. 2006. *A Bacia Amazônica Brasileira no contexto geopolítico da escassez mundial de água*. 153 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade da Amazônia, Pará.

Barros, F.G.N.; Amin, M.M. 2008. *Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo*. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 4: 75-108. Taubaté, SP, Brasil.

Bhumbia, D.K. 2012. *Agriculture practices and nitrate pollution of water*. (<http://www.caf.wvu.edu/~forage/nitratepollution/nitrate.htm>). Acesso em: 24/04/12.

Bilich, M.R. 2007. *Ocupação das terras e a qualidade da água na microbacia do Ribeirão Mestre D'armas*. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília, Distrito Federal.

Bilich, M.R.; Lacerda, M.P.C. 2005 Avaliação da qualidade da água do Distrito Federal por meio de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XII, Goiânia. *Anais*. p.2059-65.

Bini, L. M.; Minte Vera, C. V. 1996. *Classificação dos corpos aquáticos do Estado de São Paulo de acordo com a qualidade da água: uma abordagem multidimensional*. 3o Cong. de Ecologia do Brasil. Brasília (DF).

Brasil/Presidência da República. Casa Civil. 2006. *Plano de desenvolvimento regional sustentável para a área de influência da rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém*. Brasília. 193 p. (Grupo de Trabalho Interministerial, Decreto de 15 de março de 2004).

Brown, R.M.; Mclelland, N.I. 1973. *Up from chaos: the water quality index as na effective instrument in water quality management*. Ann Arbour National Sanitation Foundation. 27 pp.

Brown, R.M.; MClelland, N.I.; Deininger, R.A.; Tozer, R.G. 1970. *A water quality index – do we dare?* Madison. Water & Sewage Works, 117: 339-343.

- Campos, A.; Soares, A.M.S. 2008. *O acesso à água na América do Sul e em África, Diferenças e semelhanças*. Africanologia - Revista Lusófona de Estudos Africanos. Trabalho apresentado na Universidade de Santiago do Chile em Novembro de 2008.
- Carvalho, V.; Tura, L. 2006. *A expansão do monocultivo de soja em Santarém e Belterra: Injustiça ambiental e ameaça à segurança alimentar*. Belém: FASE.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 2011. *Índice de qualidade da água*. São Paulo, out. 2011.
(<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/02.pdf>). Acesso em: 12/10/11.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 2004. *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2003*. São Paulo: CETESB, 273 p.
- Carvalho, A.R.; Schlittler, F.H.M.; Tornisielo, W.L. 2000. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos e químicos da água. *Química nova*. v.23, n.5, p.618-622.
- Chen, S.; Chen, J.; Lin, G.; Zhang, W.; Miao, H.; Wei, L.; Huang, J.; Han, X. 2009. Energy balance and partition in Inner Mongolia steppe ecosystems with different land use types. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 129, p. 1800-1809.
- Costa, L.L.; Ceballos, B.S.O.; Celeide, M.B.S.; Cavalcanti, M.L.F. 2003. Eficiência de wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colílagos e bacteriófagos. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. v.3, n.1. 2003.
(<http://www.uepb.edu.br/eduep/rbct/sumarios/pdf/wetlands.pdf>). Acesso em: 12/11/12.
- Costa, M.H.; Yanagy, S.M.N; Souza, P.J.O.P.; Ribeiro, A.; Rocha, E.J.P. 2007. *Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion*. Geophysical Research Letters, v.34, L07706.
- Donadio, N.M.M.; Galbiatti, J.A.; Paula, R.C. 2005. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico. São Paulo, Brasil. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.115-125.
- Fearnside, P. M. 2005. *Desmatamento na Amazônia Brasileira: história, índices e consequência*. Manaus: INPA.
(http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/16_Fearnside.pdf). Acesso em: 13/03/11.
- Figueirêdo, A. C. 2008. *Avaliação e diagnóstico da qualidade da água do açude de apipucos, Recife-PE*. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Forsberg, B.R.; Godoy, J.M.; Victoria, R.L.; Martinelli, L.A. 1989. Development and erosion in the Brazilian Amazon: A geochronological case study. *GeoJournal*, 19: 399 – 405.

Greenpeace; Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais de Santarém; Projeto Saúde e Alegria; Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Belterra. 2009. *Mapeamento comunitário dos impactos da soja em Santarém e Belterra*. Santarém. (<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/mapa-participativo-inedito-exp/>). Acesso em: 31/05/11.

Hirata, R.; Viviani-Lima, J.B.; Hirata, H. 2009. Água como recurso. In: Teixeira, W.; Fairchild, T. R.; Toledo, M. C. M.; Taioli, F. (Org.) *Decifrando a terra*. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. p. 448-485.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2011. *Censos agropecuários*. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. (<http://www.ibge.gov.br>). Acesso em: 24/08/11.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2012. *Produção Agrícola Municipal (PAM)*. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. (<http://www.ibge.gov.br>). Acesso em: 04/04/12.

Instituto da água. 2003. *A água, a terra e o homem – ciclo da água*. 20 p.

Jacinto, A.C.B. 2006. *Utilização do índice de qualidade da água no monitoramento do ribeirão Correias, município de Franca, Estado de São Paulo*. 2006. 98 f. Tese (doutorado em Medicina Veterinária). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Lucas, A.A.T; Folegatti, M.V.; Duarte, S.N. 2010. Qualidade da água de uma microbacia hidrográfica do rio Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande. v.14, n.9; p.937-943.

Ministério do Meio Ambiente - MMA. 2005. *Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA). Estabelecimento das Equações do Índice de Qualidade das Águas (IQA)*. Brasília: Programa Nacional Do Meio Ambiente – PNMA II. Subcomponente Monitoramento da Qualidade da Água. 19p.

Nepstad, D; Carvalho, G; Barros, A. C.; Alencar, A.; Capobianco, J. P.; Bishop, J.; Moutinho, P.; Lefebvre, P.; Silva JR, U. L.; Prins, E. 2001. Road paving, re regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and management*, Washington, D.C., 154: 395-407.

Nobre, C.A.; Oyama, M.D.; Oliveira, G.S.; Marengo, J.A.; Salati, E. 2004. *Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America. First International. CLIVAR Conference, Baltimore, USA, 21-25.*

Oliveira-Filho, A.T.; Almeida, R.J.; Mello, J.M.; Gavilanes, M.L. 1994. Estrutura fitossociológica e variáveis ambientais em um trecho de mata ciliar do córrego Vilas Boas, Reserva Biológica do Poço Bonito, Lavras (MG). *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v.17, n.1, p.67-85.

Primavesi, O.; Freitas, A.R.; Primavesi, A.C.; Oliveira, H.T. 2002. *Water quality of Canchim's creek watershed in São Paulo, SP, Brazil, occupied by beef and dairy cattle activities*. Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba, v.45, n.2, p.209-17, 2002.

Resende, A.V. 2002. *Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato*. Planaltina. Brasília: EMBRAPA, Cerrado. 29p.

Salati, E.; Santos, Â.A.; Klabin, I. Silva Dias, M.A.F. 2006. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.21, n.3, p.190-199.

Setti, A. A.; Lima, J. E. F. W.; Chaves, A. G. M.; Pereira, I. C. 2000. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas. 207 p.

Scolari, D. D. G. 2006. *Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil*. Embrapa Roraima. (<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/417182>). Acesso em: 12/11/11.

Sioli, H. 1976. A limnologia na região amazônica brasileira. *Anais. I Encontro Nacional sobre Limnologia, Piscicultura e Pesca Continental*. Belo Horizonte. p. 153-169.

Silva, G.S; Jardim, W.F.2006. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia – SP. *Química nova*. v.29, n.4. p. 689-94.

Siqueira, G.W.; Aprile, F.; Migueis, A.M. 2012. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará - Brasil). *Acta Amazonica*. [online], vol.42, n.3, pp. 413-422. ISSN 0044-5967.

Shiklomanov, I.A. 1998. *World Water Resources – A new appraisal and assessment for the 21st century*. UNESCO. 76p.

SIH/ANEEL.1999. *Informações hidrológicas brasileiras*. ANEEL, Brasília.

Souza, P.J.O.P.; Rocha, E.J.P.; Ribeiro, A.; Loureiro, R.S.; Bispo, C.J.C. 2008. Impactos no albedo em consequência do avanço da fronteira agrícola na Amazônia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 16, n. 1, p. 87-95.

Suyker, A.E.; Verma, S.B. 2008. Interannual water vapor and energy exchange in an irrigated maize-based agroecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 148, p. 417-427.

Tucci, C.E.M.; Hespanhol, I.; Cordeiro, O. 2000. *Relatório Nacional sobre o gerenciamento da água no Brasil*. Brasília: Agência Nacional da Água. (<http://www.ana.gov.br>). Acesso em: 25/10/11. 135p.

Tundisi, J.G. 2003. *Água no século XXI: Enfrentando a escassez*. Editora Rima, São Paulo. 247 pp.

Von Sperling, M. 2007. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v.7. 588 p.

Walker, I. 1990. Ecologia e biologia dos igapós e igarapé. *Ciência Hoja*, 11 (64):46-52.

Zar, J.H. 1984. *Biostatistical Analysis*. 2ed. Ed. Prentice Hall. 718p.

Zonta, J.H.; Braun, H. Pezzopane, J.E.M. Reis, E.F. 2004. Determinação do índice de qualidade das águas da bacia do rio Alegre nas diferentes épocas do ano. In: VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. São José dos Campos (SP). p.480-2.

CAPÍTULO 2

NÍVEL DE TROFIA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS SOB DIFERENTES USOS DE SOLO, NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163, PARÁ, BRASIL

Christiane Patrícia Oliveira de Aguiar

Nível de trofia em microbacias hidrográficas sob diferentes usos de solo, na área de influência da BR-163, Pará, Brasil

Christiane Patrícia O. AGUIAR¹

RESUMO

Nas últimas décadas a paisagem do Oeste Paraense vem sofrendo mudanças relevantes em virtude de ações antrópicas, principalmente em consequência do cultivo de grãos. Esta atividade quando desordenada, historicamente está associada a distúrbios ambientais, como desmatamento e eutrofização de corpos d'água. Assim, este trabalho objetivou investigar o efeito das modalidades de agricultura tradicional (Projeto de Assentamento Mojú/PA-Mojú) e mecanizada de soja (Rodovias BR-163 e PA-Curuá-Una), em 27 microbacias, na área de influência da rodovia BR-163, nos municípios de Santarém e Belterra (PA), em outubro de 2011 (estação seca) e abril de 2012 (estação chuvosa). O Índice de Estado Trófico (IET) foi utilizado para tal finalidade. Os resultados revelaram que para a área de influência da rodovia BR-163, a maioria das microbacias ainda não apresentou desequilíbrio limnológico significativo quanto ao grau de trofia. As microbacias com agricultura familiar apresentaram maiores IETs, que os de agricultura mecanizada. Os níveis de fósforo total e clorofila-a foram significativamente mais elevados no período chuvoso nas áreas da Curuá-Una, BR-163 e PA-Mojú. O percentual de uso do solo contribuiu para o aporte de fósforo total encontrado nas microbacias. Assim, a maioria das microbacias apresentou bom nível de conservação ambiental, seja ele natural (Flona-Tapajós) ou proveniente de ações antrópicas (Curuá-Una, BR-163 e PA-Mojú). Contudo, constatou-se aumento no IET quantitativo das áreas de *cultivo antigo* (15 anos de uso do solo) em relação às de *cultivo recente* (10 anos de uso do solo).

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Estado Trófico, Microbacias hidrográficas, Uso do solo, BR-163.

¹ Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Av. Vera Paz, s/n, Salé, 68035-110, Santarém, PA, Brasil. Fone: (93) 2101-4944. E-mail: christianedeaguaiar@hotmail.com.

Trophic level in watersheds under different land uses in the area of influence of the BR-163, Para, Brazil

Christiane Patrícia O. AGUIAR¹

ABSTRACT

In recent decades the landscape of West Pará has suffered significant changes due to human actions, mainly as a result of the cultivation of grains. This activity when disordered, is historically linked to environmental disturbances such as deforestation and eutrophication of water bodies. This study aimed to investigate the effect of the methods of traditional agriculture (Settlement Project Mojú /PA-Mojú) and mechanized soy (Highway BR-163 and PA-Curuá-Una) in 27 watersheds in the area of influence of highway BR-163, in the municipalities of Santarém and Belterra (PA) in October 2011 (the dry season) and April 2012 (rainy season). The Trophic State Index (TSI) was used for this purpose. The results show that for the area of influence of the BR-163, most watersheds has not yet submitted limnologic significant imbalance in the degree of hypertrophy. The watersheds with family farming had higher TSI, the mechanized farming. The levels of total phosphorus and chlorophyll-a were significantly higher in the rainy season in areas of Curuá-Una, BR-163 and PA-Mojú. The percentage of land use contributed to the contribution of total phosphorus found in watersheds. So most of the watersheds had a good level of environmental conservation, be it natural (Flona-Tapajós) or from human activities (Curuá-Una, BR-163 and PA-Mojú). However, there was an increase in TSI quantitative cultivation areas old (15 years of land use) in relation to crop recent (10 years of land use).

KEYWORDS: Trophic State Index, Watersheds, Land use, BR-163.

¹ Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Av. Vera Paz, s/n, Salé, 68035-110, Santarém, PA, Brasil. Fone: (93) 2101-4944. E-mail: christianedeaguiar@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

A paisagem do Oeste Paraense vem sofrendo mudanças relevantes em virtude de ações antropogênicas em prol do desenvolvimento socioeconômico do município. Nos últimos 60 anos, três grandes ciclos elevaram a economia da região - o primeiro na década de 60, com ênfase em atividades extrativistas, de pecuária e de plantio da juta; o ciclo dos investimentos, representado pela construção da Rodovia Cuiabá-Santarém (Rodovia BR-163), inaugurada em 1973 e o ciclo do ouro, durante a década de 80 – responsáveis pelo aquecimento comercial e pelo desordenamento da expansão urbana e periférica da cidade (Soares *et al.* 2004; Almeida *et al.* 2009; Rodrigues *et al.* 2009).

Segundo Venturieri *et al.* (2007), durante todo esse período, a agricultura familiar e o extrativismo vegetal foram as principais formas de uso do solo, enquanto que os dez anos seguintes, houve um aumento da atividade pecuária, com intensificação do desmatamento de grandes áreas para a introdução de pastagens.

A partir de 1990, o cenário é gradativamente substituído pelo cultivo de grãos e a instalação do porto graneleiro Cargill, em 2001, atraiu produtores de outras regiões do país, em especial do sul e sudeste, culminando em mais desflorestamento, conversão das áreas de pastagens e de agricultura tradicional, concentração fundiária, grilagem de terras e, conseqüentemente, conflitos agrários (Coelho 2009; Souza e Lindo 2009; Viana e Fonseca 2009; Paixão Jr.e Nahum, 2010; Costa 2012).

A degradação ambiental e contaminação dos recursos hídricos são apontadas, por Souza e Lindo (2009), como resultados da expansão do monocultivo e de produtos químicos utilizados na cadeia produtiva. Schlesinger (2004) complementa, destacando a construção de portos para escoamento dos grãos, como causadoras indiretas da perda da diversidade biológica e do assoreamento de rios e mananciais, que colocam em perigo a saúde ambiental e comprometem o abastecimento quantitativo e qualitativo de comunidades rurais que dependem da água para seus diversos usos.

Considerando que a água doce é um recurso finito, com menos de 0,01% acessível ao homem e vital à sobrevivência de todos os seres e do próprio planeta, e que sua qualidade pode ser afetada por fatores naturais ou por ações antrópicas em relação ao uso e/ou a ocupação do solo, torna-se primordial seu monitoramento, com finalidades de preservação e de gestão racional dos recursos naturais (Duarte *et al.* 1997; Duarte *et al.* 1998; Lima 2001; Silveira *et al.* 2011; Alves *et al.* 2012).

Reynolds (2006) afirma que a disponibilidade de fósforo limita a presença de produtores primários, além de favorecer o aumento da biomassa fitoplanctônica, expressa pela clorofila-a, propiciando alterações qualitativas e quantitativas de componentes como pH, oxigênio dissolvido e transparência da água.

O Índice de Estado Trófico (IET) é uma ferramenta matemática, capaz de classificar o grau de trofia de um corpo hídrico, avaliando a qualidade da água quanto à quantidade de nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento das algas ou da potencialidade para o crescimento de macrófitas aquáticas e, conseqüente, capazes de causar a eutrofização do meio (Bem 2009; CETESB 2011).

A fórmula criada por Carlson, em 1977, e adaptada por Lamparelli (2004) utiliza somente os parâmetros de clorofila-a e fósforo total, uma vez que o parâmetro transparência não representa o estado de trofia em muitos casos, devido à interferência de materiais minerais e não apenas pela comunidade planctônica. Dessa maneira, é possível analisar o nível de biomassa, de comunidades planctônicas, de enriquecimento de nutrientes e de oxigenação, dentre outros, e monitorar de forma sistemática os recursos hídricos de forma a subsidiar as futuras ações de manejo e de gestão dos ecossistemas aquáticos (von Sperling 1994; CETESB 2004; Fia *et al.* 2009).

Os resultados do componente fósforo indicam a potencialidade do efeito eutrofizador, por ser a causa do processo, enquanto que os referentes à clorofila, a resposta do meio hídrico ao agente causador, que se demonstra pelo grau de crescimento de algas em suas águas. Com isso, o ecossistema será classificado de acordo com o nível de trofia em oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, hipereutrófico (CETESB 2004; CETESB 2006; CETESB 2011).

De acordo com Bigarella (2003), a dinâmica dos fluxos superficiais e sub-superficiais da água em bacias hidrográficas pode ser alterada significativamente, através de atividades agrícolas e criações de animais. Dessa forma, as ações antrópicas podem causar impactos negativos, interferindo na dinâmica do fósforo na água, resultando na elevação de suas concentrações pelas perdas desse nutriente pelo sistema terrestre (Reynolds e Davies 2001). Sharpley e colaboradores (1999) alertam que as atividades agrícolas, especialmente naquelas onde não ocorrem práticas conservacionistas no uso do solo, contribuem para o aumento da eutrofização nos ecossistemas aquáticos, devido à contribuição do fósforo transferido para a água.

Dessa forma, o presente trabalho pretendeu avaliar o efeito do uso do solo de áreas de cultivo mecanizado de soja e de cultivo familiar tradicional em microbacias hidrográficas, localizadas na área de influência da rodovia BR-163, nos municípios de Santarém e Belterra, Pará, através da determinação do Índice de Estado Trófico, com ênfase aos aspectos limnológicos e de precipitação.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A rodovia Cuiabá-Santarém (Rodovia BR-163) (Figura 1) possui uma extensão de 1.780 Km, que vai da capital Cuiabá (MT) ao município de Santarém (PA), este último, detentor de 1.152 Km do total (Wikipédia 2011). A área de influência da rodovia BR-163 abrange 32 municípios do Mato Grosso, 28 do Pará e 05 do Amazonas, totalizando 65 municípios, numa área de 974 mil Km², estando mais de 50% concentrada no estado do Pará, 1/3 no Mato Grosso e 15% no Amazonas, sendo a única conexão entre o Norte- Sul do País (Brasil, 2006). A BR-163 atravessa os municípios de Santarém e Belterra, estando situada na sub-região do Baixo Amazonas. Inseridas no bioma Amazônia, apresenta diversificação no relevo, com regiões de planalto a várzea ao longo do rio Amazonas. Com densa floresta ombrófila, possuem vegetação coberta por florestas densas, florestas abertas, florestas de transição e florestas estacionais. Os solos, em grande parte, possuem baixa fertilidade e com elevados níveis de acidez, com alternância de chuvas abundantes e curtos períodos de estiagem (Brasil 2006).

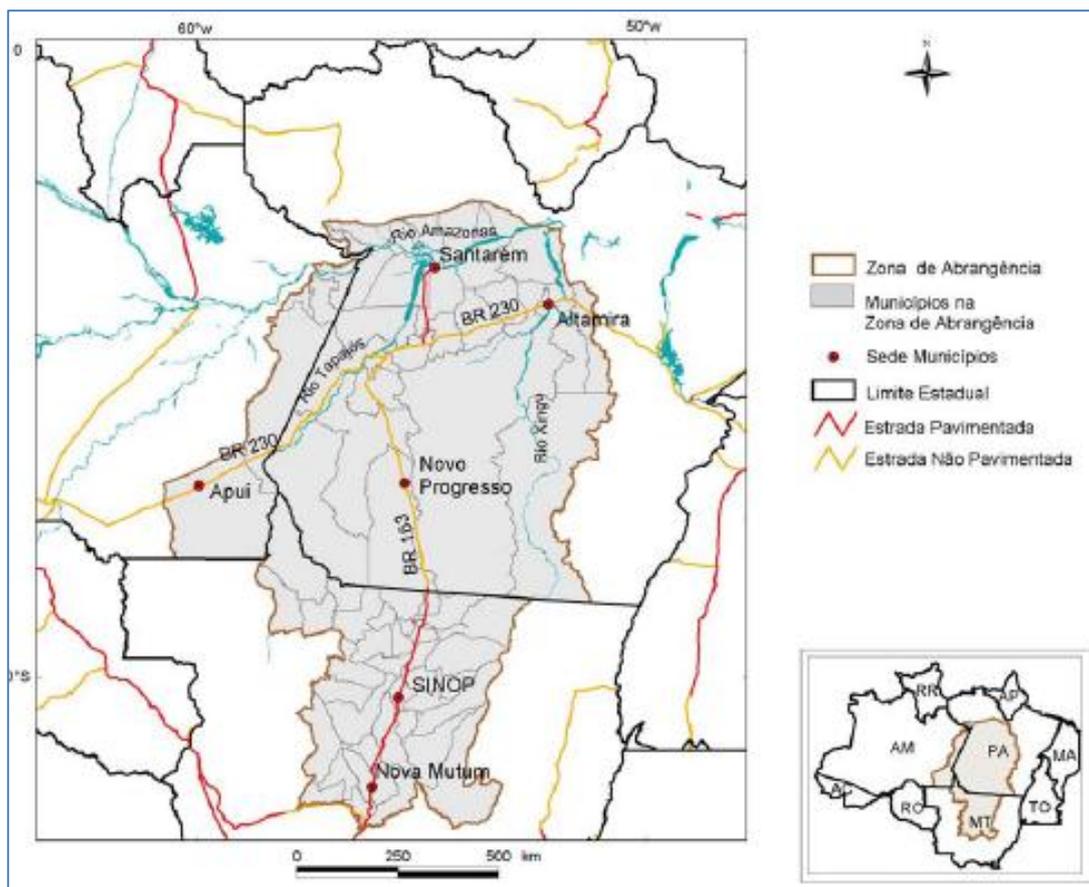


Figura 1 – Área de influência da rodovia BR-163.

Fonte: Adaptado de Brasil, 2006.

Amostragem

Foram selecionados 27 pontos de amostragem, ao longo da área de influência da BR-163, entre os municípios de Santarém e Belterra (Tabela 1), distribuídos em 04 grupos: 1) Floresta Nacional do Tapajós (Flona-Tapajós); 2) Projeto de Assentamento Mojú (PA-Mojú); 3) Rodovia BR-163 e 4) Rodovia Curuá-Una, sendo as três primeiras localizadas ao longo da rodovia BR-163 e a última, na rodovia PA-370, consideradas, respectivamente, áreas de *background*, e de predomínio com cultivo familiar tradicional, cultivo mecanizado de soja antigo e de cultivo mecanizado de soja recente, com tempo aproximado de ocupação de uso de solo para as três últimas de dezesseis, quinze e dez anos, respectivamente.

As microbacias eleitas com base na demanda do recurso hídrico (rios e igarapés) pelas comunidades, foram georreferenciadas através do uso de Sistema de Posição Global (GPS), da marca Garmin, modelo GPSmap76.

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos da coleta de água para análises limnológicas.

Grupo	Microbacia	Ponto	Latitude	Longitude
Flona Tapajós	Branco	FT01	03°03'01.0"	054°55'38.7"
	Jatuarana	FT02	03°15'41.1"	054°56'50.4"
	Moju	FT03	03°25'03.8"	054°54'45.1"
	Mutum	FT04	03°29'55.6"	054°53'04.8"
	Onça	FT05	03°33'35.0"	054°52'12.7"
	Flona	FT06	02°50'42.0"	054°59'35.2"
PA-Mojú	ACTAAIA 01	PM01	03°13'57.2"	054°33'26.5"
	ACTAAIA 02	PM02	03°14'38.1"	054°33'54.2"
	ACTAAIA 03	PM03	03°14'36.4"	054°34'26.2"
	Anta	PM04	03°17'18.3"	054°36'38.7"
	ACTAAIA 04	PM05	03°16'45.7"	054°36'23.8"
	ACTAAIA 05	PM06	03°16'17.0"	054°36'10.9"
BR-163	Prata	BR01	02°54'08.6"	054°51'51.1"
	Açaizal – Montante	BR02	02°55'59.1"	054°52'58.0"
	Açaizal – Jusante	BR03	02°55'39.4"	054°52'42.9"
	Cacimba – Montante	BR04	02°56'21.2"	054°52'26.8"
	Cacimba – Jusante	BR05	02°56'21.3"	054°52'23.5"
	Panela – Montante	BR06	02°59'46.2"	054°52'47.1"
	Panela – Jusante	BR07	02°59'46.6"	054°52'47.0"
	Garrafa	BR08	03°01'32.1"	054°52'49.3"
	São Benedito	BR09	02°59'46.6"	054°52'47.0"
Curuá-Una	Ramal do Gato	CU01	02°45'45.7"	054°30'03.1"
	Açu	CU02	02°42'10.8"	054°26'51.7"
	Riacho Verde	CU03	02°53'12.9"	054°28'38.5"
	Guaranzinho	CU04	02°41'55.6"	054°20'23.8"
	Guaraná	CU05	02°45'52.0"	054°23'07.6"
	Bica	CU06	02°42'58.4"	054°29'58.9"

Coleta das amostras

A coleta foi realizada durante os meses de outubro de 2011 e abril de 2012, considerados respectivamente, períodos de chuvas e de estiagem. A metodologia para a coleta das amostras seguiu o protocolo analítico da Normalização Técnica NBR9897 (ABNT, 1987a), enquanto que a conservação, a NBR9898 (ABNT, 1987b).

As amostras foram coletadas na superfície contra a água corrente, e armazenadas em 03 frascos com capacidade para 1.000 mL, para as análises físico-químicas, e em 01 frasco de 250 mL do mesmo material, para as análises microbiológicas. Os frascos foram conservados em caixa refrigerada e transportados ao Laboratório de Biologia Ambiental (LBA) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), para a realização das análises.

Análise das amostras

As análises de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) foram determinadas em laboratório, segundo as normas descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA 2005), pelo método de digestão com persulfato e redução com ácido ascórbico (4500-P E) e tricômico-acetona 90% (10200 H), respectivamente, com leituras em espectrofotômetro da marca Shimadzu, modelo UV-1201.

Determinação do IET

O IET foi obtido através da média aritmética entre o índice de Estado Trófico do Fósforo Total e o índice de Estado Trófico da Clorofila-a, representado segundo a expressão abaixo:

$$IET = \frac{[IET (Cl) + IET (P)]}{2}$$

Onde:

IET = Índice de Estado Trófico;

IET (Cl) = Índice de Estado Trófico de Clorofila -a;

IET (PT) = Índice de Estado Trófico de Fósforo Total.

O Índice de Estado Trófico de Clorofila-a e o Índice de Estado Trófico de Fósforo Total são obtidos pelas seguintes equações:

$$IET (CL) = 10 \left[6 - \left(\frac{-0,7 - 0,60 \ln (CL)}{\ln (2)} \right) \right] - 20$$

$$IET (PT) = 10 \left[6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \ln (CL)}{\ln (2)} \right) \right] - 20$$

PT = Concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L;

CL = Concentração de clorofila a medida à superfície da água, em µg/L.

Os índices gerados foram comparados classificados de acordo com o nível de trofia (Tabela 2), sendo realizado em seguida o diagnóstico da qualidade ambiental da área de estudo, dando ênfase a identificação das áreas de risco potencial a fenômenos erosivos, de assoreamento, de destituição da mata ciliar e de contaminação por produtos químicos provenientes da sojicultura, nas áreas de drenagem das microbacias hidrográficas.

Tabela 2 – Classificação do IET de rios, segundo o índice de Carlson modificado por Lamparelli.

Estado trófico	IET	P total (µg.L ⁻¹)	Clorofila-a (µg.L ⁻¹)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	PT ≤ 13	CL ≤ 0,74
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	13 < PT ≤ 35	0,74 < CL ≤ 1,31
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	35 < PT ≤ 137	1,31 < CL ≤ 2,96
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	137 < PT ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	296 < PT ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46
Hipereutrófico	IET > 67	PT > 640	CL > 7,46

Fonte: CETESB, 2006.

Análise estatística

De modo geral, foi utilizada estatística descritiva, como tabelas, gráficos e medidas de tendência central para a apresentação dos resultados (Ayres *et al.*, 2000). Para verificar possíveis diferenças dos IETs entre os períodos de coleta (chuva e estiagem), bem como entre as regiões (Flona-Tapajós, BR-163, Curuá-Una e PA-Mojú), foi utilizada análise de variância (ANOVA). O efeito da porcentagem da área de drenagem da bacia cultivada com soja ou de cultivo tradicional sobre os índices de trofia da água, bem como aos parâmetros físico-químico individualizados, foi avaliado

através da análise de correlação de Pearson e regressão linear simples, sendo demonstrado resumidamente em matriz de correlação, o grau de associação entre as variáveis (Zar, 1984). Os testes mencionados acima foram analisados pelo Programa Computacional *Statistica* Versão 7.0.

Quanto às geoanálises, o presente estudo adotou como referencial cartográfico o sistema de coordenadas cartográficas em graus minutos e segundos, e DATUM WGS-84 (World Geographical System). A base de dados geográficos digital foi concentrada em duas bases no formato Raster (Imagens LANDSAT, e Imagens SRTM) e uma no formato vetorial (Base de vetores municipais do IBGE). Os dados LANDSAT foram empregados para os procedimentos relacionados ao dimensionamento das paisagens de uso, especificamente a cobertura do solo, relacionada ao contexto hidrográfico envolvente no estudo. No caso das imagens SRTM (Shuttle Topographic Mission), os dados raster foram adotados para delimitação e quantificação do contexto hidrográfico envolvente, neste caso, a delimitação das bacias a montante dos pontos de coleta de água. O estudo combinou técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, visando alcançar o objetivo de relacionar as formas de uso e cobertura do solo com a qualidade da água amostrado nos pontos de coleta.

Mapas temáticos

Para facilitar a visualização espacial dos resultados dos IETs, foram gerados mapas temáticos para os dois períodos de coleta, demonstrando os pontos de amostragem através de cores indicadas pela Tabela 3, com suas respectivas áreas de drenagem.

Tabela 3 – Classificação do IET adaptada segundo cores. (Adaptado de CETESB, 2006).

Estado trófico	Índice IQA	Cor
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	Azul
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	Verde
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	Amarela
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	Vermelha
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	Laranja
Hipereutrófico	$IET > 67$	Preta

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de fósforo total e clorofila-a, bem como a classificação qualitativa e quantitativa para o Índice de Estado Trófico, para os períodos de coleta, por microbacia, estão apresentadas na Tabela 4.

Em relação às comparações entre períodos seco e chuvoso, de maneira geral, as concentrações obtidas para fósforo total para a estação seca foram inferiores às obtidas para a estação chuvosa, enquanto que para a clorofila-a, observou-se cenário inverso.

Quanto aos IETs, as quatro áreas de estudo apresentaram níveis de trofia que variaram de ultraoligotrófico a eutrófico. Durante o período de estiagem, dos 27 pontos, 15 foram classificados como ultraoligotróficos, 06 oligotróficos, 05 mesotróficos e 01 eutrófico, enquanto que no período chuvoso, 17 foram ultraoligotróficas, 07 oligotróficas, 02 mesotróficas e 01 eutrófica.

A Flona Tapajós demonstrou grau de trofia mínimo (ultraoligotróficos) em todos os pontos investigados para o período de estiagem, enquanto que no período chuvoso, apenas o ponto FT04 apresentou-se oligotrófico, todos compatíveis com a condição desejada para a proteção dos corpos d'água, dada a baixa carga orgânica e de nutrientes, servindo de referência para comparação com as demais microbacias monitoradas.

O Projeto de Assentamento Mojú (PA-Mojú) foi a área mais impactada do ponto de vista da análise dos parâmetros fósforo total e clorofila-a durante os dois períodos estudados em relação à área de referência. Durante a estação seca, seis pontos de amostragem indicaram condições variando de mesotróficas a eutrófica, enquanto que na estação chuvosa, apenas no ponto PM03 houve comprometimento ambiental ocorrendo, nos demais pontos, a redução do estado de trofia para ultraoligotrófico, provavelmente devido à diluição nas concentrações de clorofila-a.

Na área de cultivo mecanizado antigo de soja (BR-163), a quantidade de nutriente foi considerada boa nos nove pontos (três ultraoligotrófico e seis oligotrófico), para o período de estiagem e também para oito pontos no período das chuvas (quatro ultraoligotrófico, quatro oligotrófico e um mesotrófico).

Todas microbacias pesquisadas da região da Curuá-Una, de cultivo mecanizado recente de soja, durante a estação menos chuvosa (estiagem), foram classificadas como ultraoligotrófica. Por outro lado, durante a estação chuvosa, três pontos apresentaram alteração na concentração de nutrientes, sendo dois oligotróficos e um mesotrófico.

Tabela 4 – Resultados de IET, de acordo com Carlson modificado por Lamparelli (2004).

Área	Ponto	Microbacia	Período de estiagem				Período chuvoso			
			Fósforo Total	Clorofila-a	IET	IET	Fósforo total	Clorofila-a	IET	IET
			($\mu\text{g.L}^{-1}$)	($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Quantitativo	Qualitativo	($\mu\text{g.L}^{-1}$)	($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Quantitativo	Qualitativo
Flona	FT01	Branco	2,1	2,0	47	Ultraoligotrófico	3,6	0,55	43	Ultraoligotrófico
	FT02	Jatuarana	2,5	1,03	45	Ultraoligotrófico	3,6	0,23	39	Ultraoligotrófico
	FT03	Mojú	2,1	0,51	41	Ultraoligotrófico	3,5	1,03	45	Ultraoligotrófico
	FT04	Mutum	2,1	1,49	46	Ultraoligotrófico	3,3	1,78	48	Oligotrófico
	FT05	Onça	2,2	0,80	43	Ultraoligotrófico	3,9	0,13	47	Ultraoligotrófico
	FT06	Flona	2,1	1,64	46	Ultraoligotrófico	3,3	0,48	42	Ultraoligotrófico
PA-Mojú	PM01	ACTAAIA 01	3,0	18,68	58	Mesotrófico	3,8	1,18	46	Ultraoligotrófico
	PM02	ACTAAIA 02	3,0	20,16	58	Mesotrófico	4,7	0,68	44	Ultraoligotrófico
	PM03	ACTAAIA 03	3,3	47,84	62	Eutrófico	4,9	28,57	61	Eutrófico
	PM04	Anta	3,7	21,19	59	Mesotrófico	4,3	0,93	45	Ultraoligotrófico
	PM05	ACTAAIA 04	2,6	17,83	57	Mesotrófico	4,1	1,22	47	Ultraoligotrófico
	PM06	ACTAAIA 05	2,8	17,92	57	Mesotrófico	4,2	0,82	45	Ultraoligotrófico
BR-163	BR01	Prata	2,7	3,74	50	Oligotrófico	4,9	0,95	46	Ultraoligotrófico
	BR02	Açaizal – Montante	3,2	2,10	48	Oligotrófico	5,0	0,81	45	Ultraoligotrófico
	BR03	Açaizal – Jusante	2,8	1,23	46	Ultraoligotrófico	6,8	1,03	47	Oligotrófico
	BR04	Cacimba – Montante	2,8	2,27	48	Oligotrófico	6,5	3,68	53	Mesotrófico
	BR05	Cacimba – Jusante	5,0	1,76	49	Oligotrófico	3,9	2,21	49	Oligotrófico
	BR06	Panela – Montante	2,7	1,85	47	Oligotrófico	4,3	1,45	47	Oligotrófico
	BR07	Panela – Jusante	2,4	1,06	45	Ultraoligotrófico	4,1	1,80	48	Oligotrófico
	BR08	Garrafa	2,8	1,81	47	Oligotrófico	15,0	0,35	45	Ultraoligotrófico
	BR09	São Benedito	4,1	1,13	46	Ultraoligotrófico	9,3	0,69	46	Ultraoligotrófico
Curuá-Una	CU01	Ramal do Gato	2,1	0,81	43	Ultraoligotrófico	3,8	1,62	48	Oligotrófico
	CU02	Igarapé-Açu	2,5	0,82	44	Ultraoligotrófico	5,2	1,03	46	Ultraoligotrófico
	CU03	Riacho Verde	2,2	0,48	41	Ultraoligotrófico	5,7	1,53	54	Mesotrófico
	CU04	Guaranzinho	3,3	1,06	45	Ultraoligotrófico	5,6	2,66	51	Oligotrófico
	CU05	Guaraná	2,7	0,47	41	Ultraoligotrófico	3,2	1,13	46	Ultraoligotrófico
	CU06	Bica	2,1	0,56	41	Ultraoligotrófico	5,3	1,05	47	Ultraoligotrófico

Os IETs por microbacia, independente de período e região de coleta não flutuaram de forma significativa $F(26, 27) = 1,3841$, $p = 0,20322$, oscilando de 39 (FT02) a 62 (PM03) (Figura 2).

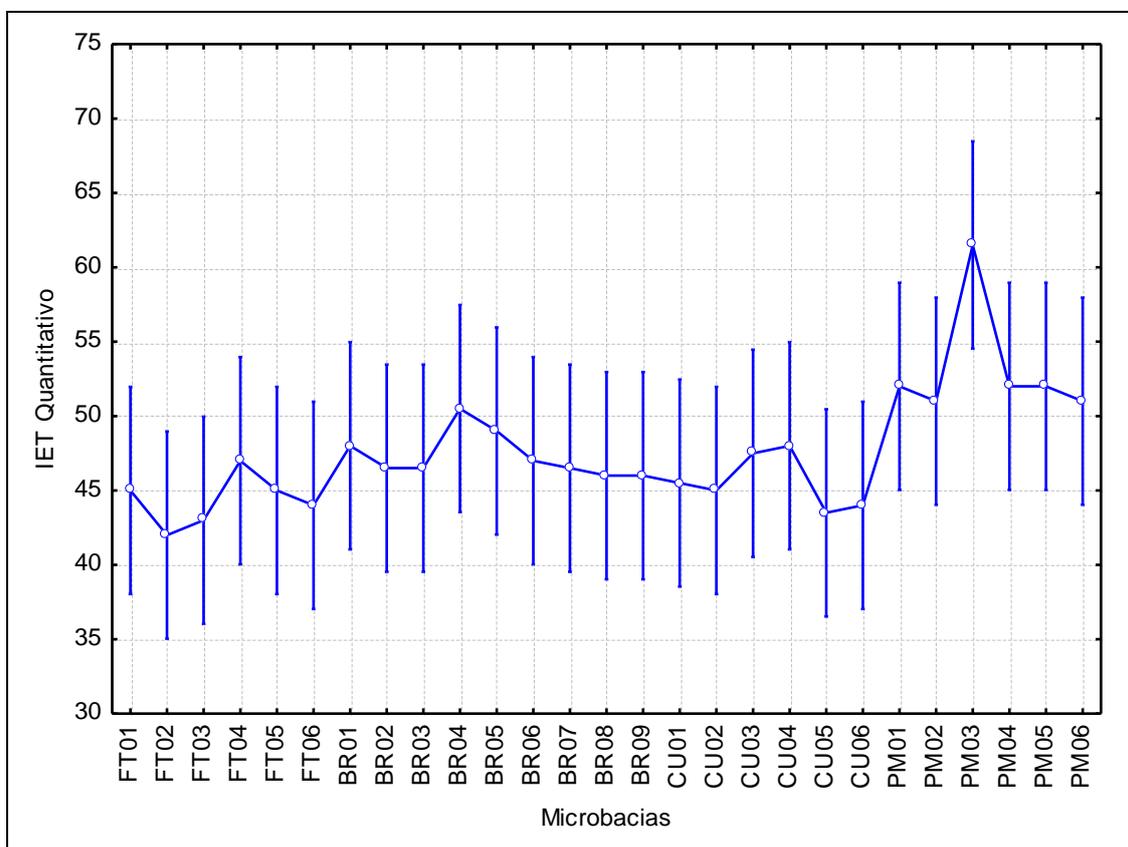


Figura 2 – Valores médios de IET por microbacias, independente de região e período de coleta.

Os índices de trofia para as áreas de estudo, apresentados na Tabela 3, variaram de forma significativa ($F_{(3, 50)} = 10,511$; $p = 0,00002$), com valores médios aproximados para as áreas de cultivo recente (IET = 46) e antigo de soja (IET = 47), e para aqueles situados em área de conservação (IET = 44). Os maiores índices foram encontrados na área de cultivo tradicional (IET = 53).

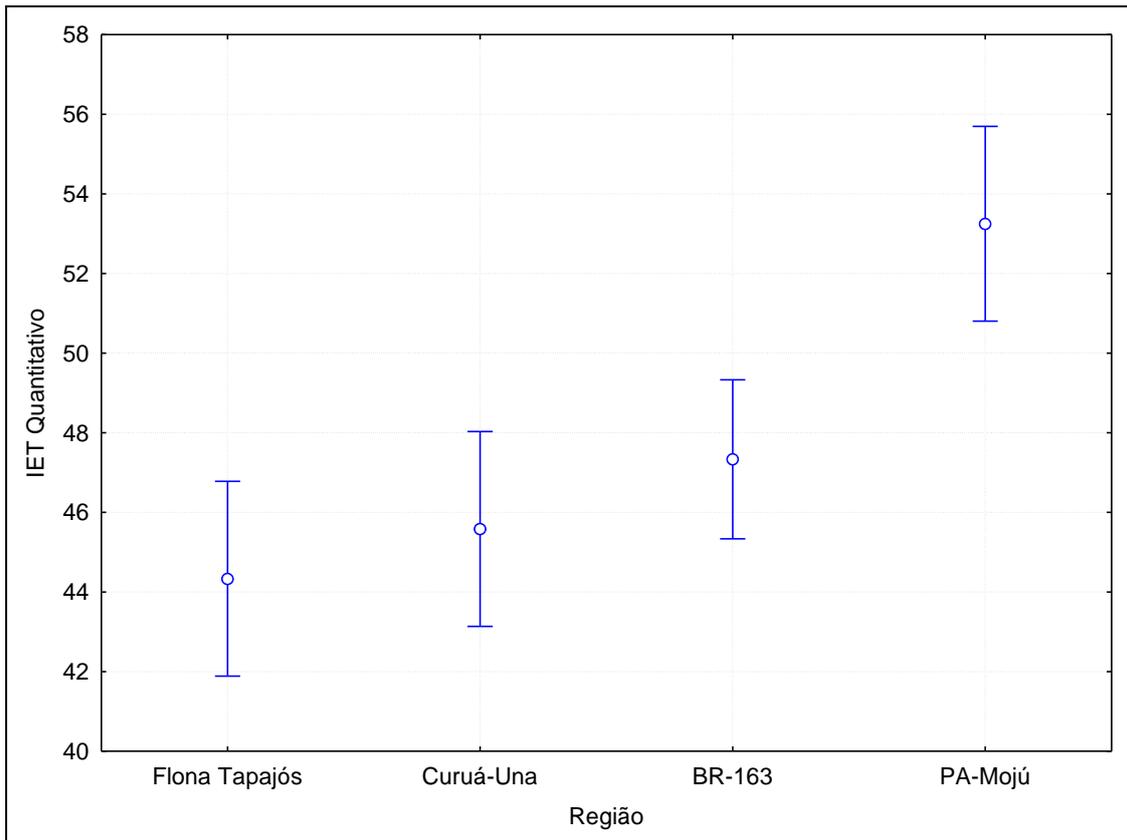


Figura 3 – Valores médios de IET por regiões, independente de microbacia e período de coleta.

O Índice de Estado Trófico independente de regiões e microbacias não se diferenciou significativamente entre os períodos de chuva e estiagem ($F_{(1,52)} = 0,60421$; $p = 0,44050$). Por outro lado, analisando-se as regiões isoladamente, a variação temporal mostrou-se significativa para as áreas da Curuá-Una ($F_{(1,10)} = 17,070$; $p = 0,00204$), com índices maiores para a estação chuvosa (média = 49) (Figura 4), e PA-Mojú ($F_{(1,10)} = 14,667$; $p = 0,00332$), com índices maiores para a estação seca (média = 59) (Figura 5).

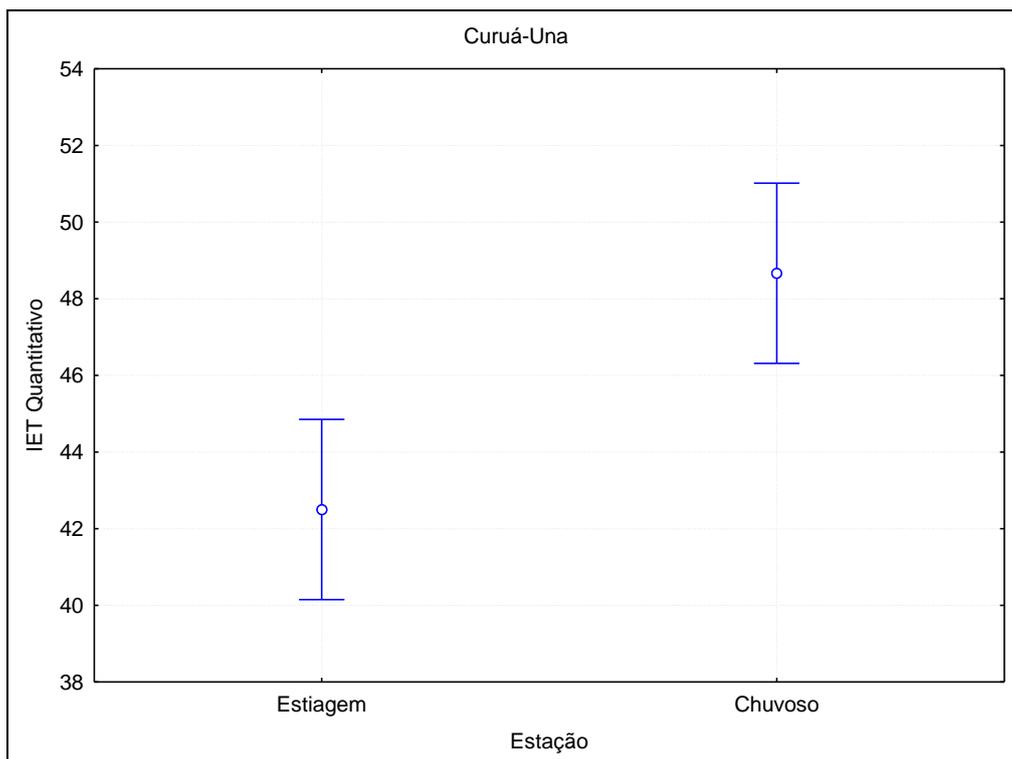


Figura 4 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento do IET quantitativo perante a variação temporal para a área da Curuá-Una: $F_{(1,10)} = 17,070$; $p = 0,00204$.

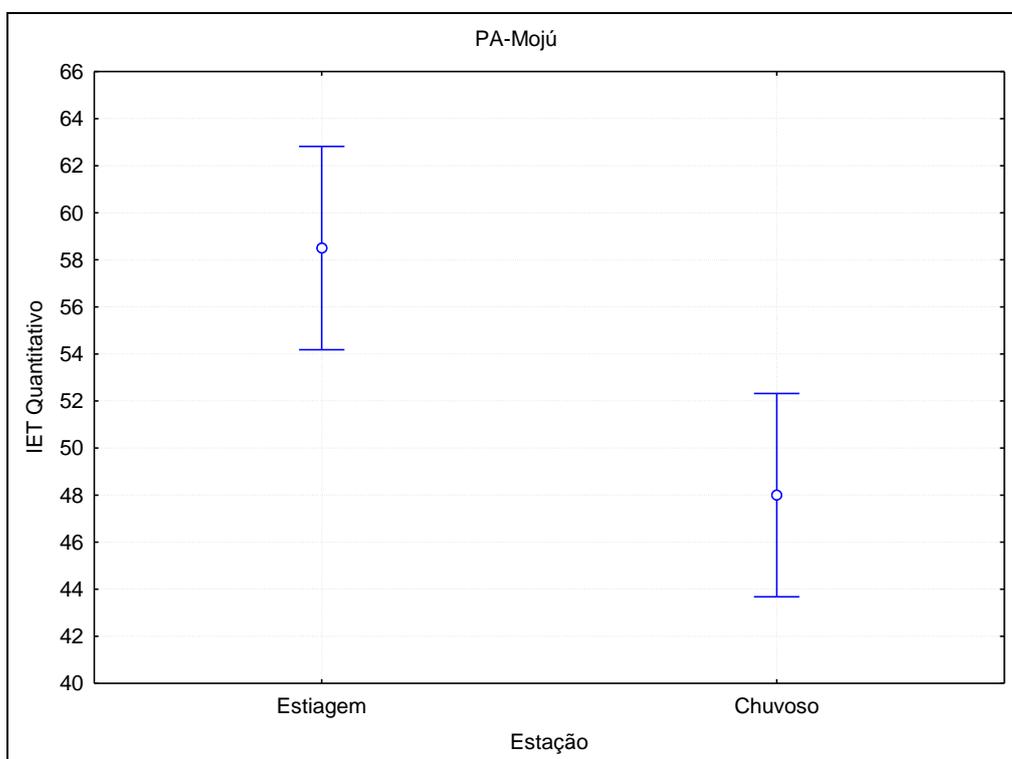


Figura 5 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento do IET quantitativo perante a variação temporal para a área do PA-Mojú: $F_{(1,10)} = 14,667$; $p = 0,00332$.

As concentrações de clorofila-a no assentamento (média = 23,94 $\mu\text{g.L}^{-1}$) foram significativamente superiores às encontradas na área de cultivo mecanizado de soja (média = 5,57 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Nas duas áreas observou-se a conversão de áreas florestadas em áreas de agricultáveis, respectivamente, mecanizada e tradicional, com retirada de matas ciliares ao longo dos mananciais, observando-se menor vegetação ripária no PA-Mojú que a da área da Curuá-Una. Provavelmente isso é devido à diversificação dos usos da água pelos colonos do assentamento, que tem nos mananciais sua fonte de abastecimento. Nesse sentido, a retirada da mata ripária facilita o acesso e a exploração do recurso, mas acaba por reduzir a cobertura florestal do espelho d'água, aumentando sua exposição à luz solar, bem como, a atividade fotossintética de algas durante o período de estiagem, promovendo a elevação das concentrações de clorofila-a. Já na Curuá-Una, a aplicação de fertilizantes e de agrotóxicos, durante o período de chuvas, certamente incrementou o aporte de nutrientes para as microbacias através do deflúvio, justificando assim, os altos valores para a região.

A literatura científica tem atribuído à duração e intensidade da estação chuvosa, o incremento nas concentrações de fósforo durante o escoamento superficial da água, por influência do aumento no nível de sedimentos em suspensão (Gastaldini e Mendonça 2001; Quinton 2001; Lanna 2002; Jarvie *et al.* 2005; Bleich *et al.* 2009).

Para Fia e colaboradores (2009), na bacia hidrográfica de Lagoa Mirim (RS), a variação espaço-temporal da eutrofização se deu em função da intensificação das atividades agrícolas de arroz, pela contribuição difusa de nutrientes provenientes do uso de fertilizantes químicos e orgânicos, o que influenciou a variação nos resultados ao longo dos pontos de amostragem.

No tocante a variação temporal entre as regiões, o assentamento PA-Mojú apresentou o estágio mais avançado de eutrofização (Figura 6). Segundo Reynolds e Davies (2001), a quantidade de fósforo e de sedimentos transferidos aos corpos aquáticos são, geralmente, superiores em áreas agricultáveis, ao passo que em coberturas florestais, os componentes físico-químicos e biológicos encontram-se em menores concentrações, devido a fatores que envolvem a menor erosão do solo, a maior infiltração e o menor fluxo superficial da água, proporcionando a elevação da reciclagem de fósforo e das águas que, de acordo com Arcova e Cicco (1999), estão relacionadas à presença da mata ripária em microbacias florestadas.

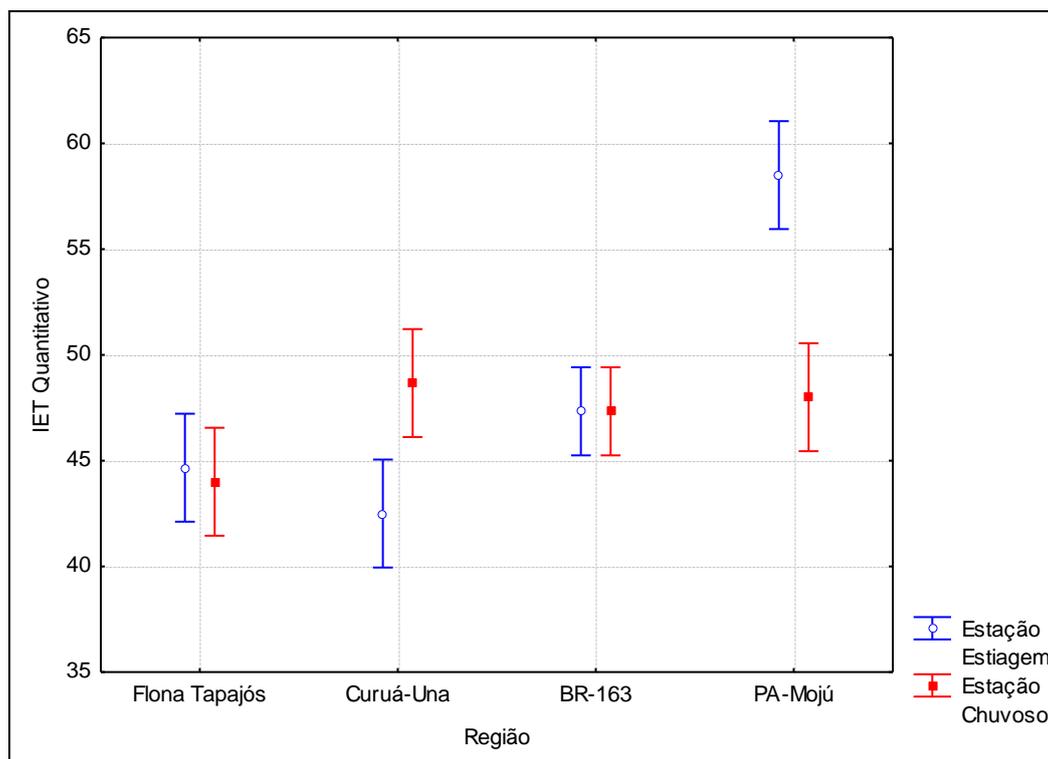


Figura 6 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento dos tratamentos região, estação e IET. $F_{(1,10)} = 17.070$; $p = 0.00204$.

Nas regiões de assentamento é comum a prática da queima para preparo do solo para futuras lavouras, com intenção de remover a vegetação. Para Silva e colaboradores (2001), esta prática propicia a redução da infiltração da água para o solo e o aumento do escoamento superficial e de sedimentos, contribuindo para a erosão do mesmo. Dessa forma, é provável que o processo também tenha colaborado para o maior aporte do nutriente em relação às outras áreas amostradas. As regiões da Flona e da BR-163 apresentaram comportamentos similares para os índices de estado de trofia durante as duas estações estudadas, com valores um pouco superiores para a segunda região.

A Curuá-Una apresentou comportamento atípico quando comparada as demais áreas pesquisadas, com maior IET durante o período chuvoso (média = $49,17 \mu\text{g.L}^{-1}$). Este fato pode estar associado ao ponto CU03 que apresentou valor acima da média apresentada pelos demais pontos de amostragem. De acordo com Sharpley *et al.* (1985); Dils e Heathwaite (1996) e McDowell *et al.* (2001), a agricultura tradicional fornece maior aporte de fósforo para as microbacias, que áreas de cultivo mecanizado, dependendo da escolha do sistema de uso e manejo do solo. Nesse contexto, a

diversidade de usos de solo que ocorrem na Curuá-Una, com agricultura de pequeno porte, criação de animais, dentre outros, podem estar contribuindo para a elevação dos índices apresentados.

As mudanças no uso do solo e de cobertura vegetal são abordadas por D'Antona e colaboradores (2011) como resultado da polarização da estrutura fundiária, aumentada pela intensificação na produção de grãos, principalmente pela soja. Com isso, o ecossistema aquático recebe o aporte de nutrientes provenientes do solo superficial fragilizado por processos erosivos e pela fertilização de reposição, através do escoamento superficial da água, modificando o perfil hídrico, independentemente se a cultura é mecanizada ou tradicional (Bigarrella 2003; Pellegrini 2005).

Em relação ao fósforo total, percebeu-se uma tendência de diferença entre as regiões estudadas, independente das microbacias e da estação de coleta ($F_{(3,50)} = 2,7485$; $p = 0,05247$). Analisando-se o conjunto em função do período de coleta, verificou-se diferença deste parâmetro apenas para o período chuvoso ($F_{(1,52)} = 22,196$; $p = 0,00002$), com concentrações variando de 3,3 a 3,9 $\mu\text{g.L}^{-1}$, para a unidade conservada, 3,8 a 5,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$, para a com agricultura mecanizada de soja recente, 3,9 a 15,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$, a de agricultura mecanizada de soja antiga, e de 3,8 a 4,9 $\mu\text{g.L}^{-1}$, para a área de cultivo tradicional. Por outro lado, todas as regiões quando tratadas isoladamente, tiveram a concentração do nutriente influenciado pelo período de coleta, com maior aporte do nutriente durante a estação chuvosa (Figura 7), em virtude de seu carreamento para o corpo aquático. Carvalho e colaboradores (2000) afirmam que a água da chuva contribui para as alterações físico-químicas e ecológica do meio aquático, pelo carreamento de material orgânico, mineral e de compostos artificiais, provenientes do escoamento superficial sobre o solo exposto e erodido, impactando a flora e fauna aquática, e prejudicando a economia regional, seja pela diminuição da disponibilidade de peixes ou pela substituição de espécies mais resistentes, contudo de valor comercial menor. Não houve interação entre período, região de coleta e as concentrações de fósforo total ($F_{(3,46)} = 1,5992$; $p = 0,20249$).

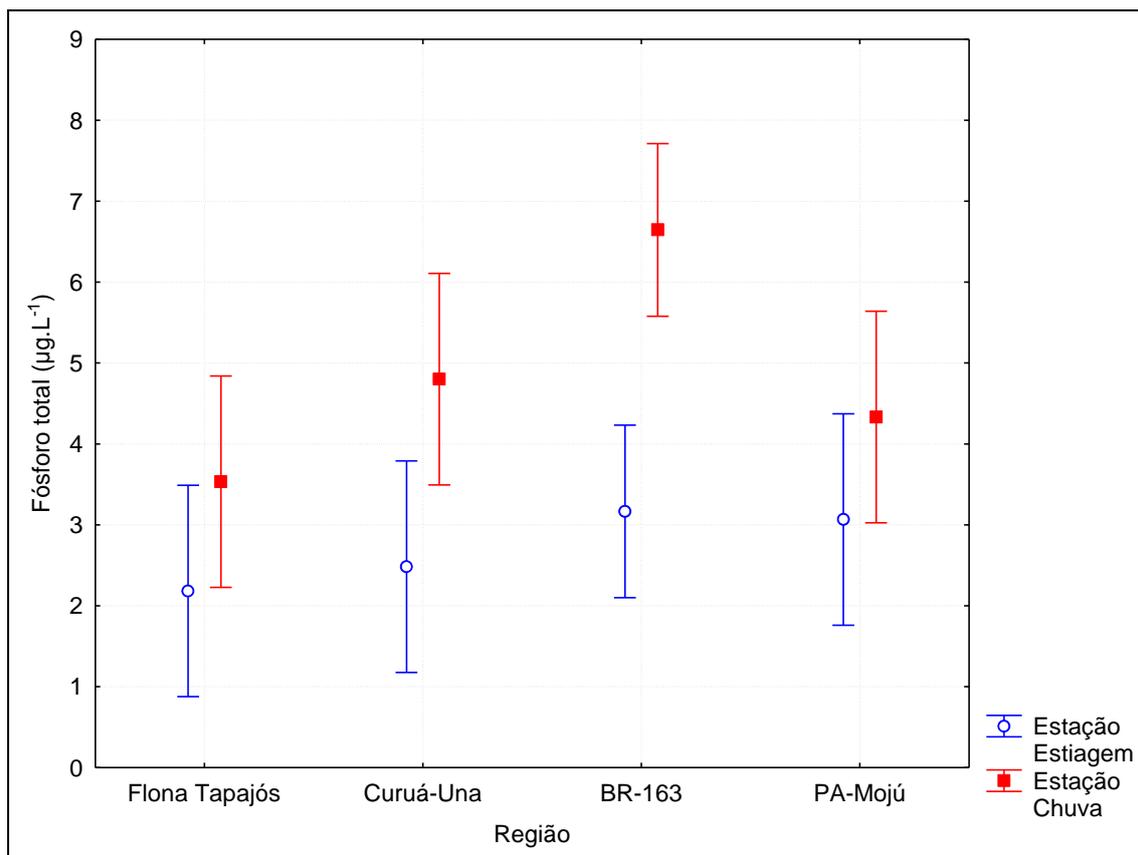


Figura 7 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento entre os tratamentos região, estação e concentração de fósforo total: $F_{(3,46)} = 1,5992$; $p = 0,20249$.

Os dados para clorofila-a revelaram que a relação entre as regiões de estudo, independente da sazonalidade, demonstrou-se altamente significativa ($F_{(3,50)} = 11,992$; $p = 0,00001$), com concentrações do componente mais elevadas para a região com agricultura tradicional (PA-Mojú), sendo a média do parâmetro de $23,94 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação seca, e de $5,57 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação chuvosa. A interação entre os grupos e sazonalidade, demonstrou resultados semelhantes ao componente fósforo total, com alterações muito significativas durante a estação seca ($F_{(3,23)} = 26,046$; $p = 0,00000$) e não significativas durante a estação chuvosa ($F_{(3,23)} = 1,0612$; $p = 0,38478$). Quanto à temporalidade, a interação foi significativa apenas para as regiões do PA-Mojú ($F_{(1,10)} = 7,6147$; $p = 0,02015$) e Curuá-Una ($F_{(1,10)} = 8,8076$; $p = 0,01410$), com comportamentos inversos em relação às concentrações, ou seja, maiores concentrações de clorofila-a no período seco para a região do PA-Mojú, enquanto que para a Curuá-Una, maiores níveis se apresentaram no período chuvoso. Tais resultados são coincidentes com os resultados de eutrofização apresentados na Figura 5, com IETs maiores para a Curuá-Una, no período chuvoso e, para o PA-Mojú, no período seco. Assim, confirma-se a relação

direta entre o aumento da concentração de clorofila-a, como resposta demonstrada pelo crescimento de algas, e o aumento do grau de degradação trófico (CETESB 2011b). Diferentemente do fósforo total, houve relação significativa entre o período, região de coleta e as concentrações de clorofila-a (Figura 8).

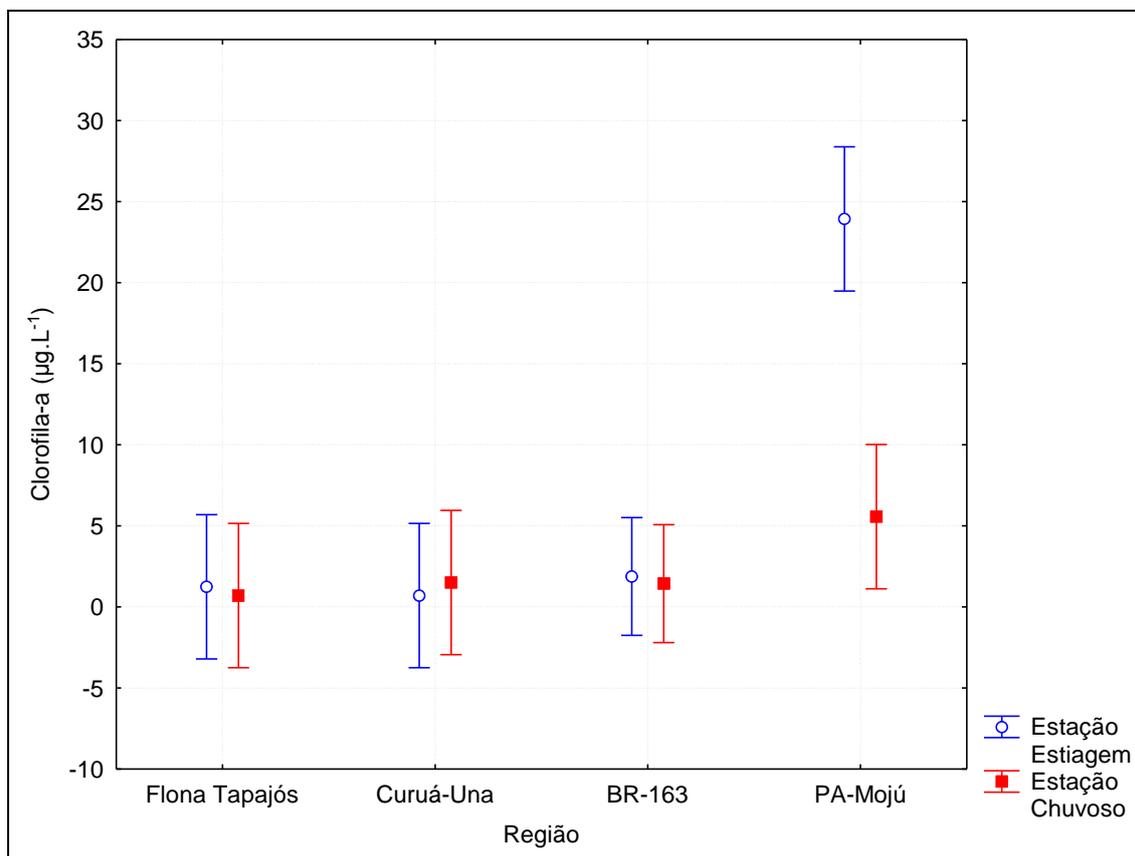


Figura 8 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento entre os tratamentos região, estação e concentração de clorofila-a: $F_{(3,46)} = 8,8794$; $p = 0,00009$.

Na BR-163, três igarapés foram avaliados considerando o efeito da montante a jusante: Açaizal (BR02 e BR03), Cacimba (BR04 e BR05) e Panela (BR06 e BR07). Não se notou alteração significativa entre as amostras, considerando-se a variação entre as estações para a montante ($F_{(1,4)} = 0,07547$; $p = 0,79714$) e jusante ($F_{(1,4)} = 1,0000$; $p = 0,37390$). De forma geral, houve redução no gradiente de fósforo em direção à jusante, semelhante aos relatos de McDowell *et al.* (2001), que atribuem à diluição das águas durante o deflúvio, a redução na concentração de fósforo. Von Sperling (2007) relata que os cursos hídricos durante o período de menor precipitação mantém sua vazão de base com águas oriundas do lençol subterrâneo ao passo que, durante a estação de chuvas, observa-se a elevação da vazão, causando escoamento imediato das águas pós-

eventos de precipitação. A construção de barragens interrompe o fluxo normal do curso de um rio, reduzindo a vazão no sentido montante a jusante. Assim, a redução no transporte de sedimentos pelo rio associada à sedimentação nos reservatórios, pode ser a responsável pela diminuição na concentração de clorofila-a nos pontos amostrados.

Universalmente, as áreas totais de captação dinâmica das bacias, naturalmente, contribuem para alterações de qualidade da água entre as fases do ciclo hidrológico (Precipitação→Infiltração→Escoamento). Este efeito é potencializado com a retirada da cobertura vegetal das áreas de drenagens, bem como, com as diferentes atividades antrópicas de uso do solo. Assim, no sentido de se visualizar as flutuações de trofia da água das microbacias em função da área de drenagem total das mesmas e das porcentagens de cobertura vegetal *versus* porcentagem de uso agrícola (solo exposto), são apresentados na Tabela 6, os dados morfométricos e fisiográficos de uso do solo das microbacias. Estes dados foram confrontados com os índices de estado trófico e com as variáveis que compõem estes. As microbacias pertencentes a uma mesma área de drenagem foram agrupadas.

Tabela 5 – Dados morfométricos e fisiográficos de uso do solo das microbacias hidrográficas.

Bacia	% Cobertura Vegetal	% Uso Agrícola (Solo exposto)	Área Cobertura Vegetal	Área Uso Agrícola (Solo exposto)	Área total (Km ²)
Açaizal	75.37	24.63	13.73	4.49	18.22
Riacho Verde	69.16	30.84	10.85	4.84	15.69
ACTAAIA 01, 02, 03	74.81	25.19	3.73	1.26	4.99
ACTAAIA 04, 05, Anta	80.28	19.72	95.42	23.44	118.86
Bica, Igarapé-Açu	61.91	38.09	9.47	5.83	15.29
Branco	86.47	13.53	72.83	11.40	84.23
Cacimba	77.74	22.26	31.15	8.92	40.07
Guaraná	62.97	37.03	14.28	8.40	22.68
Guaranzinho	67.41	32.59	5.91	2.86	8.77
Jatuarana	87.27	12.73	89.88	13.11	102.99
Mojú	94.46	5.54	756.50	44.39	800.90
Mutum	92.56	7.44	8.15	0.66	8.81
Onça	96.51	3.49	247.39	8.95	256.34
Panela, São Benedito	48.62	51.38	5.15	5.44	10.59
Prata	79.33	20.67	5.48	1.43	6.91
Ramal do Gato	80.19	19.81	1.29	0.32	1.61

Aplicada a matriz de correlação de Pearson, evidenciou-se que não há relação entre o Índice de Estado Trófico com a área total da bacia, nem com a percentagem de cobertura vegetal e de uso agrícola, independente da sazonalidade. Contudo, a variável fósforo total, apesar de não apresentar relação com as variáveis expostas anteriormente, demonstrou relação direta e significativa com a porcentagem de uso do solo ($r = 0,7176$; $p = 0,0017$), durante o período chuvoso, aumentando à medida que cresce a área antropizada, ocorrendo situação inversa em áreas florestadas ($r = - 0,7176$; $p = 0,0017$). Nesse contexto, 52% das variações nas concentrações do nutriente entre as microbacias são respondidas pelo aumento da conversão das áreas florestadas em áreas de plantio (Figura 9).

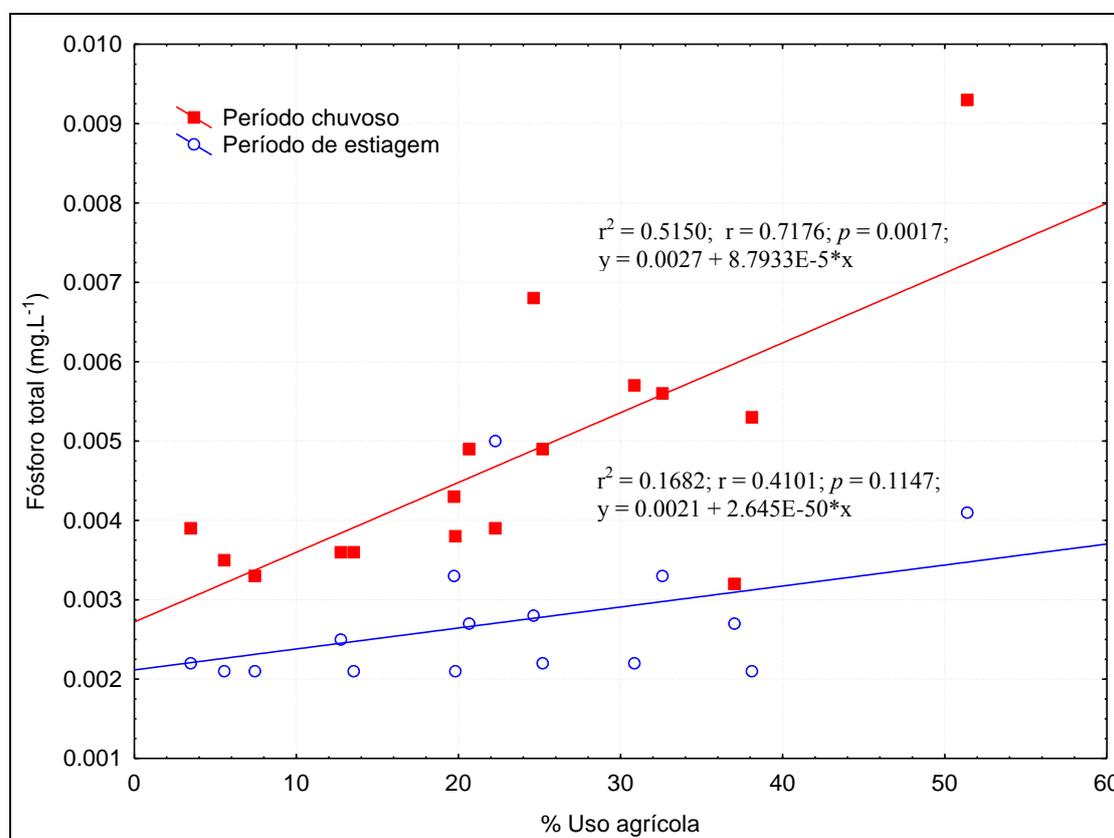


Figura 9 – Matriz de correlação descrevendo a relação entre o fósforo total e o percentual de uso agrícola, durante os períodos de estiagem e chuvoso.

McDowell *et al.* (2001) demonstraram em sistemas de cultivo convencional, a relação significativa entre a concentração de fósforo existente no solo e aquele encontrado dissolvido no deflúvio, pelo escoamento dos nutrientes da área agricultável para os corpos d'água, dependente do nível de antropismo. O desmatamento dentre

outras atividades, foi apontado por Figueirêdo (2008) como um dos responsáveis pelo aumento de fósforo total em reservatórios, e da consequente eutrofização aquática. Ainda, concentrações do nutriente fora do limite estabelecido, foram encontrados em áreas com redução da vegetação ciliar por Beltrão *et al.* (2010) e Beu *et al.* (2011).

No sentido de facilitar a discussão e a visualização espacial dos resultados, por microbacias e regiões geográficas de estudo, as Figuras 10 e 11 apresentam dois mapas temáticos referentes aos períodos de estiagem e chuva, respectivamente.

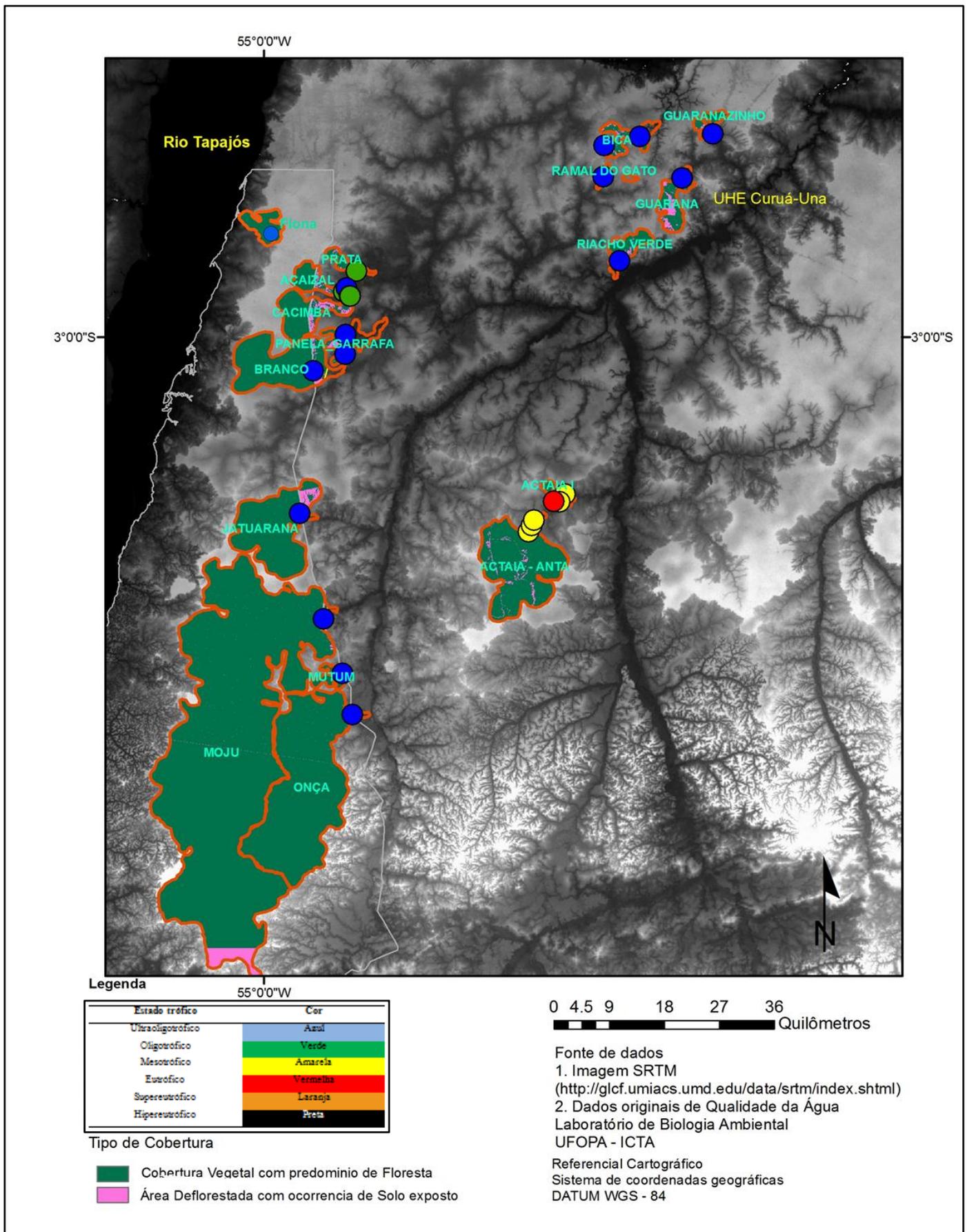


Figura 10 – Mapa temático para o IET, durante o período de estiagem. Elaboração: Keid Nolan Silva Sousa.

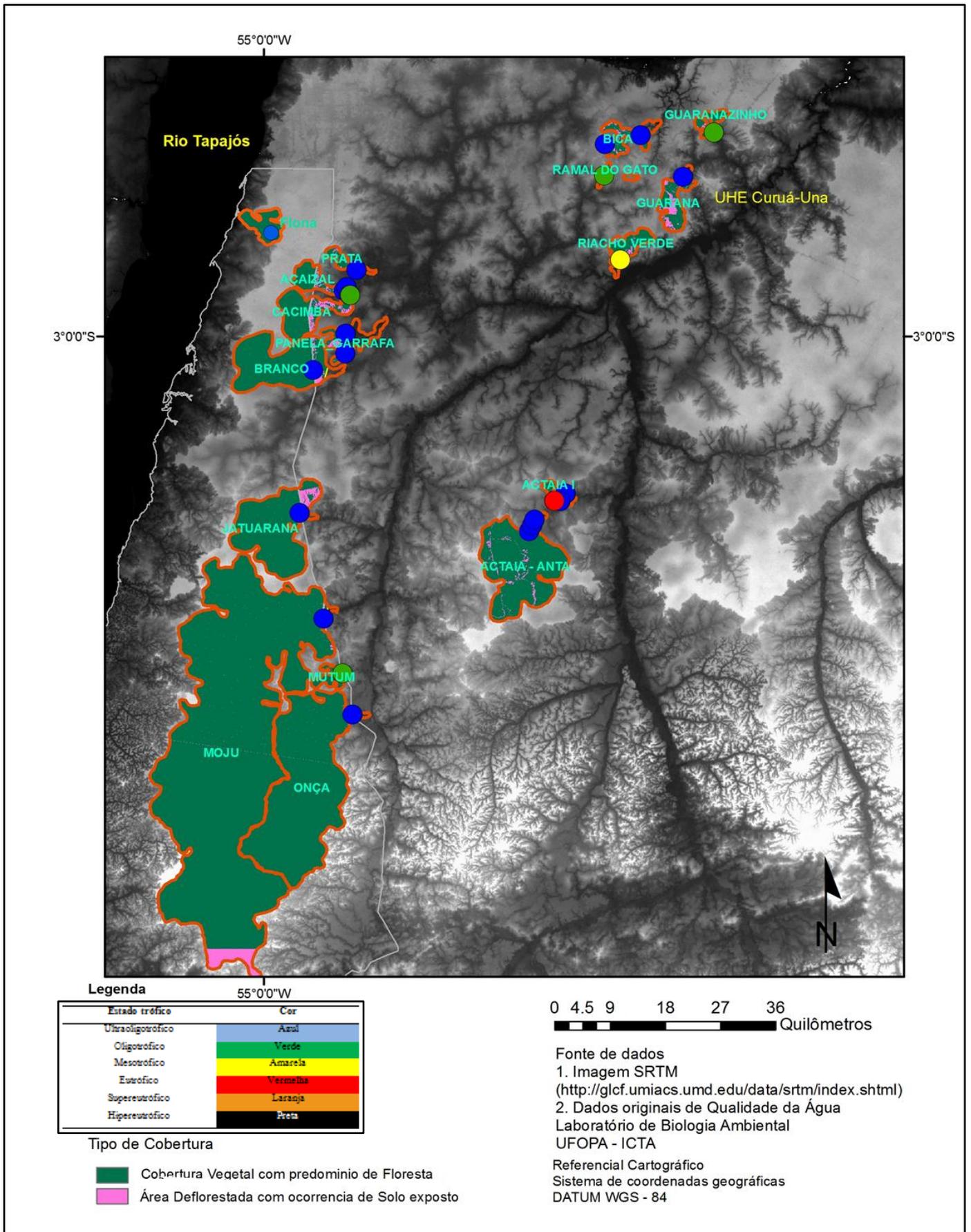


Figura 11 – Mapa temático para o IET, durante o período chuvoso. Elaboração: Keid Nolan Silva Sousa.

Os corpos d'água são sentinelas fiéis das transformações naturais e antropogênicas. Nas áreas tropicais, o uso desordenado do solo tem promovido alterações físicas, químicas e biológicas nas águas superficiais e subterrâneas. A eutrofização é um dos impactos oriundos do despejo de efluentes que podem prejudicar o ecossistema aquático. Nesse sentido, o monitoramento dos mananciais é de grande importância para a preservação e manutenção dos recursos hídricos, bem como para a tomada de decisão na gestão dos mesmos.

CONCLUSÕES

O índice de Estado Trófico indicou que todas as áreas pesquisadas apresentaram algum nível de enriquecimento por fósforo, seja ele natural (Flona-Tapajós) ou proveniente de ações antrópicas (Curuá-Una, BR-163 e PA-Mojú).

As microbacias do PA-Mojú (agricultura familiar) apresentaram maiores graus de trofia nos corpos aquáticos que os de agricultura mecanizada (BR-163 e Curuá-Una). A estação chuvosa contribuiu significativamente para o aumento das concentrações de fósforo total e clorofila-a na água superficial das microbacias, com destaque para as áreas da Curuá-Una, BR-163 e PA-Mojú.

As microbacias com as maiores porcentagens de suas áreas de drenagem desmatadas foram as que apresentaram as maiores concentrações de fósforo total, principalmente no período chuvoso.

Em relação aos igarapés da BR-163 que tiveram seus cursos interceptados por barragens, não foram visualizadas diferenças significativas no grau de trofia entre os pontos montante e jusante destas obras de arte.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), ao Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA), e à equipe do Laboratório de Biologia

Ambiental (LBA), que propiciaram a integração do conhecimento à prática para a apresentação dos resultados desse trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. 1987a. NBR9897. Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. 1987b. NBR9898. Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Almeida, L. M. ; Dias, A. F. ; Lobato, M. P. ; Fernandes, D. ; Oliveira JR., J. N. 2009. Arranjo produtivo de grãos no estado do Pará: análise para região de influência de Santarém. In: VII Encontro Nacional da ENABER, 2009, São Paulo - SP. *Anais*. VII Encontro Nacional da ENABER.

Alves, I.C.C.; El-Robrini, M.; Santos, M.L.S.; Monteiro, S.M.; Barbosa, L.P.F.; Guimarães, J.T.F. 2012. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazonica [online]*, 42: 115-124.

APHA, AWWA, WEF - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

Arcova, F.C.S, Cicco, V. 1999. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. *Scientia Florestalis*, 56:125–134.

Ayres, M.; Ayres, M. J.; Ayres, D. L.; Santos, A. S. 2000. *Bio Estatística 2.0: Aplicações estatísticas nas áreas biológicas e médicas*. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq, XII, 272p.

Beltrão, D.D.; Araújo, M.L.; Oliveira, R.F.S.; Lima, A.E.; Calado Neto, A.V.; Costa, B.D.F.; Marcelino, S.C.; Santos, T.C.P.; Severi, W. 2010. *Influência da concentração de fósforo total na qualidade da água do reservatório de Itaparica*. X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX. UFRPE: Recife, B18 a 22 de outubro. 3 p.

Bem, C.C. 2009. *Determinação do Estado de Eutrofização de um lago raso: estudo de caso do Lago Barigui - Curitiba*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídrico e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Paraná. 129 p.

Beu, S.E.; Misato, M.T.; Hahn, C.M. 2011. APA de Itupararanga. In: Beu, S.E.; Santos, A.C.A.; Casali, S. *Biodiversidade na APA Itupararanga: Condições atuais e perspectivas futuras*. São Paulo: SMA/FF/UFSCar/CCR-Via Oeste.

Bigarrella, J. J. 2003. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. v. 3, Florianópolis: UFSC, 1436 p.

- Bleich, M. E.; Silva, C. J.; Rossete, A. N. 2009. Variação temporal e espacial das características limnológicas de um ecossistema lótico no cerrado do Mato grosso. *Biotemas*, n. 22, jun. 2009.
- Brasil. Decreto nº 94.076, de 05 de março de 1987. Institui o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 05 mar. 1987. (<http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=131009>). Acesso em: 22/12/11.
- Brasil/Presidência da República. Casa Civil. 2006. *Plano de desenvolvimento regional sustentável para a área de influência da rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém*. Brasília. 193 p. (Grupo de Trabalho Interministerial, Decreto de 15 de março de 2004).
- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology & Oceanography*, 22: 361-80.
- Carvalho, A.R., Schlittler, F.H.M., Tornisielo, V.L. 2000. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. *Química Nova*, 23:618-622.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. 2011. *Índice de Estado Trófico*. São Paulo, out. 2011b. (<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/04.pdf>). Acesso em: 12/10/11.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. 2006. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2005/CETESB*. São Paulo: CETESB.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. 2004. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2003/CETESB*. São Paulo: CETESB.
- Coelho, A. S. 2009. *Modelagem de dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal na região de Santarém, oeste do Pará*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará.
- Costa, S.M.G. 2012. *Grãos na floresta: estratégia expansionista do agronegócio na Amazônia*. 312 f. Tese (Doutorado em Planejamento do Desenvolvimento) – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Universidade Federal do Pará, Pará.
- D'Antona, A.; Vanwey, L.; Ludewigs, T. 2011. Polarização da estrutura fundiária e mudanças no uso e na cobertura da terra na Amazônia. *Acta Amazônica [online]*, 41: 223-232.
- Dils, M. R.; Heathwaite, A. L. 1996. Phosphorus fractionation in hillslope hydrological pathways contributing to agricultural runoff. In: Anderson, M. G. & Brooks, S. M. (Ed.) *Advances in Hillslope Processes*. New York: John

Wiley and Sons, 1: 229-251.

Duarte, M. A. C.; Ceballos, B. S. O.; König, A.; Melo, S.H. N.; Araújo, H.J.A. 1998. *Índice do estado Trófico de Carlson (IET) aplicado em corpos aquáticos lênticos do nordeste do Brasil*. In: Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; AIDIS: Gestión ambiental em El siglo XXI. Lima: APIS, p 1-5.

Duarte, M. A. C.; Ceballos, B. S. O.; Freitas, E. B. P.; Melo, H. N. S.; König, A. 1997. *Utilização dos Índices do Estado Trófico (IET) e de Qualidade da Água (IQA) na Caracterização Limnológica e Sanitária das Lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui/RN - Análise Preliminar*. In: 19 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu-PR.

Fia, R., Matos T. A., Coradi, P. C., Ramirez, O. P. 2009. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. *Revista Ambiente e Água*.

Figueirêdo, A. C. 2008. *Avaliação e diagnóstico da qualidade da água do açude de apipucos, Recife-PE*. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

Gastaldini, M. C. C.; Mendonça, A. S. F. 2001. Conceitos para avaliação da qualidade da água. In: PAIVA, J. B. D & PAIVA, E. M. C. D. (Org.) *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. 1.ed. Porto Alegre: Metrópole indústria gráfica, p.429-452.

Jarvie, H. P.; Neal, C.; Withers, P. J. A. 2005. Sewage-effluent phosphorus: a greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus? *Science of the Total Environment*, 360: 246-253. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.038>). Acesso em: 04/03/12.

Lamparelli, M.C. 2004. *Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 235 p.

Lanna, A. E. 2002. Gestão dos recursos hídricos In: Tucci, C. E. M. (Org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, p.727-804.

Lima, J.E.F.W. 2001. *Recursos hídricos no Brasil e no mundo*. 1 ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, n. 33, 46 p. ISSN 1517-5111.

McDowell, R. W.; Sharpely, A. N.; Condren, L.M. 2001. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 59:269-284.

Paixão Jr., P.R.C.; Nahum, J. S. 2010. Do território recurso ao território abrigo: o produtor no processo de expansão da lavoura da soja no planalto santareno. In:

- Encontro Nacional de Geografia, 2010, Porto Alegre. *Crise, Práxis e Autonomia: espaço de resistência e de esperança*.
- Pellegrinni, J.B.R. 2005. *Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino - Agudo – RS*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul.
- Quinton, J. N.; Catt, J. A.; Hess, T. M. 2001. The selective removal of phosphorus from soil: Is event size important? *Journal of Environmental Quality*, Madison, 30:538-545.
- Reynolds, C. 2006. *Ecology of phytoplankton*. New York: Cambridge University Press.
- Reynolds, C. S.; Davies, P. S. 2001. Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a British perspective. *Biology review*, 76: 27-64.
- Rodrigues, M. M.; Marques, M. E. F.; Oliveira, E. A. A. Q.; Dias, N. W. 2009. *A economia de Santarém e o encadeamento do processo de urbanização*. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba.
- Schlesinger, S. 2004. *A soja no Brasil*. FASE. (<http://www.comova.org.br/pdf/observandosoja/12-A-soja-no-Brasil.pdf>). Acesso em: 21/12/11.
- Sharpley, A. N. 1985. Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, 49: 905-911.
- Sharpley, A. N.; Daniel, T.; Sims, A.; Lemunyon, R.; Stevens, R.; Parry, R. 1999. *Agricultural phosphorus and eutrophication*. Ohio: United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. 36 p.
- Silva, J.C.; Fiedler, N.C.; Silva JR., M.C.; Ribeiro, G.A.; Felfili, J.M. 2001. Diagnóstico das principais causas de incêndios florestais em unidades de conservação do Distrito Federal. *Anais. Workshop Sobre Incêndios Florestais no Cerrado*, 1: 35-41.
- Silveira, C.; Rosa, L.; Mees, J.B.R.; Bortoli, M.M. 2011. *Determinação do índice de estado trófico de um manancial Receptor de efluente de estação de tratamento de esgoto*. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais.
- Soares Filho, B.; Alencar, A.; Nesptad, D.; Cerqueira, G.; Diaz, M.D.V.; Rivero, S. 2004. *Simulation the response of land-cover changes to the roads paving and governace along a major highways: the Santarem-Cuiaba corridor*. *Glob Chang Biol*, 10:745-64.
- Souza, R.J.; Lindo, P.V.F. 2009. Integração econômica da Amazônia no contexto de um Brasil dual: do ciclo da borracha à implantação da rodovia BR-163. *Revista Formação*, n.16, volume 1: 70-83.

Venturieri, A.; Coelho, A.S.; Thales, M.C.; Bacelar, M.D.R. 2007. Análise da Expansão da Agricultura de Grãos na Região de Santarém e Belterra, Oeste do estado do Pará. *Anais. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13, Florianópolis.

Viana, J.S.; Fonseca, M.G. Expansão de estradas e desflorestamento em unidades de conservação do município de Belterra, Pará. *Anais. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, 2009. INPE, p. 1573-1579.

Von Sperling, E. 1994. Avaliação do estado trófico de lagoas e reservatórios tropicais. *Revista Bio: Ano 2, 3: 68-76*. ABES. Rio de Janeiro.

Von Sperling, M. 2007. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v.7. 588 p.

Wikipédia. BR-163. 2011. (<http://pt.wikipedia.org/wiki/BR-163>). Acesso em: 31/05/11.

Zar, J.H. 1984. *Biostatistical Analysis*. 2ed. Ed. Prentice Hall. 718p.

CAPÍTULO 3

AGRICULTURA E QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163, NOS MUNICÍPIOS DE SANTARÉM E BELTERRA, PARÁ, BRASIL

Christiane Patrícia Oliveira de Aguiar

Agricultura e qualidade da água em microbacias da área de influência da BR-163, nos municípios de Santarém e Belterra, Pará, Brasil

Christiane Patrícia O. AGUIAR¹

RESUMO

A supressão da mata ciliar, queimadas, construção de barragens, dentre outras ações antrópicas, estão causando degradação dos recursos hídricos. O trabalho objetivou avaliar a qualidade da água de 27 microbacias hidrográficas, sob diferentes usos de solo (área natural, agricultura tradicional e agriculturas mecanizada recente e antiga), com base na resolução CONAMA n°357/05. As coletas foram realizadas nos meses de outubro de 2011 e abril de 2012. Foram analisados os seguintes parâmetros: pH, cor, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, fósforo total, clorofila-a e coliformes termotolerantes. Em comparação aos parâmetros estabelecidos pela resolução CONAMA, constatou-se no período de estiagem que apenas uma microbacia da área de cultivo mecanizado apresentou pH fora do intervalo da resolução. Na Unidade de Conservação da Flona-Tapajós, seis microbacias apresentaram-se abaixo dos limites permissíveis para oxigênio dissolvido, além de uma localizada em área com agricultura familiar (PA-Mojú). Todas as microbacias do assentamento PA-Mojú superaram o limite estabelecido de 10 µg.L⁻¹ para clorofila-a, enquanto que para a área de cultivo mecanizado recente de soja, a cor foi o parâmetro em desconformidade para quatro microbacias, durante o período chuvoso. A retirada de vegetação ciliar, desmatamento e queimadas são práticas utilizadas das atividades agropecuárias podem estar contribuindo para o assoreamento e aporte de compostos e nutrientes aos recursos hídricos. A precipitação, as características do solo e seus diferentes usos, devem estar influenciando a qualidade da água das microbacias.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da água, Microbacias hidrográficas, CONAMA n° 357/05, BR-163.

¹ Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Av. Vera Paz, s/n, Salé, 68035-110, Santarém, PA, Brasil. Fone: (93) 2101-4944. E-mail: christianedeaguiar@hotmail.com.

Space-time variability of water quality in watersheds, under different land uses in the area of influence of BR-163, Para, Brazil

Christiane Patrícia O. AGUIAR¹

ABSTRACT

The removal of riparian vegetation, fires, dam building, among other human actions are causing degradation of water resources. The study aimed to evaluate the water quality of 27 watersheds under different land use (natural area, traditional agriculture and mechanized agricultures recent and old), based on CONAMA Resolution No. 357/05. Samples were collected in October 2011 and April 2012. We analyzed the following parameters: pH, color, temperature, turbidity, conductivity, total dissolved solids, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, nitrate, nitrite, ammonia nitrogen, total phosphorus, chlorophyll-a and fecal coliform. Compared to the parameters established by CONAMA, was found in the dry season that only a small catchment area of mechanized cultivation showed pH outside the range of the resolution. Conservation Unit in the Tapajós National Forest, six catchments were below the permissible limits for dissolved oxygen, and one located in the area with family agriculture (PA-Mojú). All the nesting PA-Mojú overcame the prescribed limit of $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ to chlorophyll-a, while for mechanized farming area recent soybean, color was parameter in disagreement for four micro during the period rainy. The removal of riparian vegetation, deforestation and burning practices used are agricultural activities may be contributing to the siltation and inflow of compounds and nutrients to water resources. The precipitation, soil characteristics and their different uses, must be influencing the water quality of the watersheds.

KEYWORDS: Water quality, Watersheds, CONAMA N°. 357/05, BR-163.

¹ Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Tapajós, Av. Vera Paz, s/n, Salé, 68035-110, Santarém, PA, Brasil. Fone: (93) 2101-4944. E-mail: christianedeaguiar@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

A humanidade vem enfrentando dificuldades para adequar a crescente demanda por água, para atender seus usos múltiplos, sem comprometer a sua qualidade e conservação. Dentre os fatores para a pressão sobre os recursos hídricos estão o crescimento demográfico, que tem intensificado as atividades agropecuárias e de indústria. Nesse contexto, a disponibilidade de água para a sobrevivência da espécie humana e da biosfera vem sendo comprometida, seja pela diminuição de sua disponibilidade ou pela possibilidade de contaminação provocada pelo uso de produtos químicos ou despejo de efluentes no meio ambiente (Setti *et al.* 2000).

Apesar de ser um dos recursos mais abundantes na crosta terrestre, apenas 2,5% do total que recobre o globo terrestre são de água doce, considerada própria para consumo humano e deste, menos de 0,01% está acessível ao homem, em forma de rios e lagos. Segundo Tundisi (2003), o suporte de águas doces é fundamental para a qualidade de vida humana, para os ciclos de nutrientes no planeta e para desenvolvimento economia.

O Brasil detém 11% da água doce superficial mundial e 50% da América do Sul, com mais de 30.000 m³/habitante/ano. Contudo, a distribuição espacial do volume hídrico brasileiro é desigual, estando 73% concentrados na bacia amazônica, onde se encontram 4% da população do país, induzindo a cultura do desperdício nessa região (Setti *et al.* 2000; Barros 2006; Campos e Soares 2008; Hirata *et al.* 2009).

O suprimento hídrico da América Latina foi reduzido em um quarto nas cinco últimas décadas, demonstrando a vulnerabilidade do recurso quanto à escassez (Ayibotele 1992). A expansão da fronteira agrícola provocou o aumento considerável no consumo de recursos hídricos, em especial para as atividades de irrigação (Barros 2006). De acordo com Tucci e colaboradores (2001), no ano de 1998, do total de água consumida da bacia amazônica, 91% foram utilizados em agricultura de irrigação. Aliado a isso, a ocorrência de degradação ambiental tem sido associada a prática intensa dessa atividade (Lucas *et al.* 2010)

Nobre e colaboradores (2004) avaliam que os ciclos da água da Amazônia é um dos responsáveis pelas mudanças climáticas e ambientais, desde a escala local a global, em virtude da modificação no uso do solo amazônico. Por essa razão, o monitoramento

da qualidade da água se torna necessário para o planejamento e gestão dos recursos hídricos brasileiros.

A rodovia BR-163 (Figura 1) possui uma extensão de 1.780 Km estendendo-se da capital Cuiabá (MT) ao município de Santarém (PA), este último, detentor de 1.152 Km do total (Wikipédia 2011). A área de influência da rodovia BR-163 abrange 32 municípios do Mato Grosso, 28 do Pará e 05 do Amazonas, totalizando 65 municípios, numa área de 974 mil Km², estando mais de 50% concentrada no estado do Pará, 1/3 no Mato Grosso e 15% no Amazonas, sendo a única conexão entre o Norte- Sul do País (Brasil 2006).

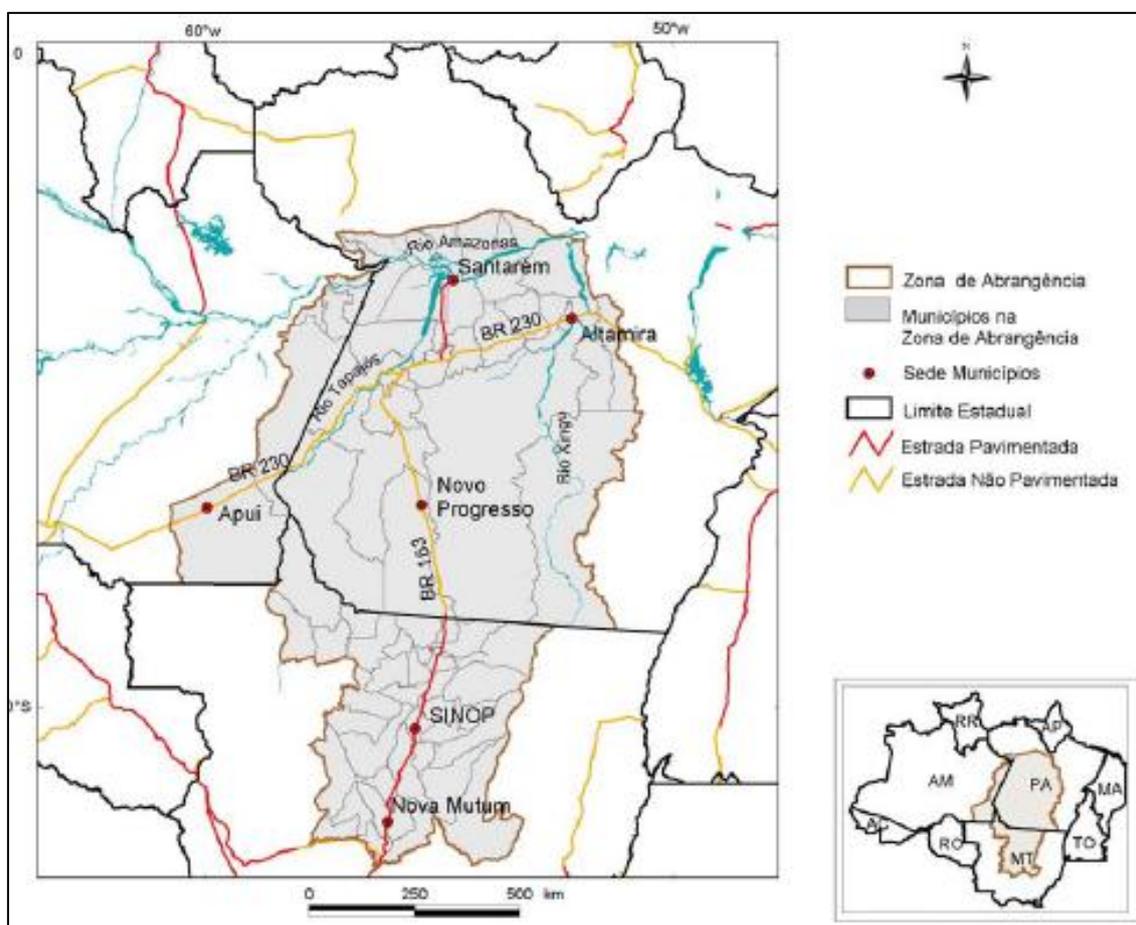


Figura 1 – Área de influência da rodovia BR-163.

Fonte: Adaptado de Brasil, 2006.

A rodovia atravessa os municípios de Santarém e Belterra, estando situada na sub-região do Baixo Amazonas. Inseridas no bioma Amazônia, apresenta diversificação no relevo, apresentando regiões de planalto a várzea ao longo do rio Amazonas. Com densa floresta ombrófila, possuem vegetação coberta por florestas distribuídas em

florestas densas, florestas abertas florestas de transição e florestas estacionais (Brasil 2006). A região apresenta, em grande parte, solos de baixa fertilidade e com elevados níveis de acidez, com alternância de chuvas abundantes e curtos períodos de estiagem. A agricultura familiar e o extrativismo florestal de produtos madeireiros e não madeireiros são as principais atividades econômicas aliadas, em menor escala, a pecuária extensiva e pesca de subsistência (Brasil 2006).

A expansão do monocultivo da soja no estado do Pará iniciou-se em 1997, chegando aos municípios de Santarém e Belterra, em 1997 e 2002, respectivamente, através de incentivos governamentais, de financiamento pelo Banco da Amazônia (BASA) e de instituições fornecedoras de tecnologia, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa/Amazônia Oriental) (Alencar *et al.* 2004, Carvalho e Tura 2006).

Santarém iniciou sua produção com 50 hectares (Ha), alcançando 620 Ha em 1999. Após a instalação do porto graneleiro Cargill no município, em 2001, a área se expandiu para 4.000 Ha, em 2003, chegando a 22.000 Ha, em 2005, de acordo com o Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (Alencar *et al.* 2005; IBGE 2011). Com isso, o município apresenta um cenário bem diferente de uma década atrás, onde extensas áreas verdes deram espaço à cultura da soja.

A expansão da agricultura mecanizada na região tem promovido diversos impactos ambientais como desmatamento, destruição de matas ciliares, queimadas, construção de barragens, desvio de cursos d'água e assoreamento de mananciais, que abastecem as comunidades locais para diversos usos (Greenpeace 2009; Lemos *et al.* 2010). Aliado a isso, a aplicação de insumos destinados à fertilização do solo e proteção contra pragas e doenças na cultura, tem ocasionado alterações quantitativas e qualitativas das águas doces, surgimento de doenças, conflitos sociais, oriundos da grilagem e da expulsão das populações tradicionais e mortalidade de espécies aquáticas, em especial a de peixes (Nepstad *et al.* 2001; Lemos *et al.* 2010), base da alimentação paraense.

Apesar de não ser a única atividade a degradar a qualidade dos recursos hídricos, a aplicação de defensivos agrícolas, pesticidas, herbicidas, fertilizantes e de derivados residuais da criação intensiva de animais colabora, direta ou indiretamente, para a poluição dos corpos d'água, inclusive sem a rega, pois são transportados aos

reservatórios superficiais ou subterrâneos por escoamento, causando poluição, eutrofização e redução do oxigênio disponível no meio aquático (Resende 2002; Instituto da Água 2003).

A resolução nº 357, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 17 de março de 2005, define a classificação dos corpos d'água e é considerado um fator preponderante para avaliação hídrica qualitativa. Por essa razão, é utilizada na avaliação da qualidade das águas brasileiras para os diversos usos, servindo para o monitoramento da contaminação das águas superficiais bem como de outros pontos de interferência dos recursos hídricos (CONAMA 2005).

Considerando que tal recurso é essencial para a manutenção da vida humana e de outros organismos vivos, além das próprias condições climáticas na Terra, é importante a proteção e prevenção contra atividades que possam causar a degradação dos recursos naturais. Pelas razões expostas o trabalho teve como objetivo geral investigar o efeito da agricultura tradicional e mecanizada sobre a saúde ambiental das microbacias hidrográficas na área de influência da rodovia BR-163 nos municípios de Santarém e Belterra, Pará, com ênfase aos aspectos limnológicos e de precipitação, com base na resolução CONAMA nº 357/05 de forma a traçar um comparativo de qualidade da água dos igarapés que drenam bacias em quatro ambientes: os mecanizados de cultivos de soja antigos (com aproximadamente 15 anos de uso do solo) e recentes (com média de 10 anos de uso do solo), com igarapés naturais (unidades de conservação) e igarapés situados em áreas de cultivo tradicional da região (com aproximadamente 16 anos de uso de solo), considerando o efeito do período de chuvas e de estiagem na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Vinte e sete microbacias foram selecionadas ao longo da área de influência da BR-163, entre os municípios de Santarém e Belterra (Figura 2), distribuídas em 04 grupos: cultivo mecanizado recente de soja (Região da rodovia Curuá-Una), cultivo mecanizado antigo de soja (Região da rodovia BR-163), cultivo familiar tradicional (Região do assentamento Mojú/PA-Mojú) e a área de referência (Região da Flona-Tapajós).

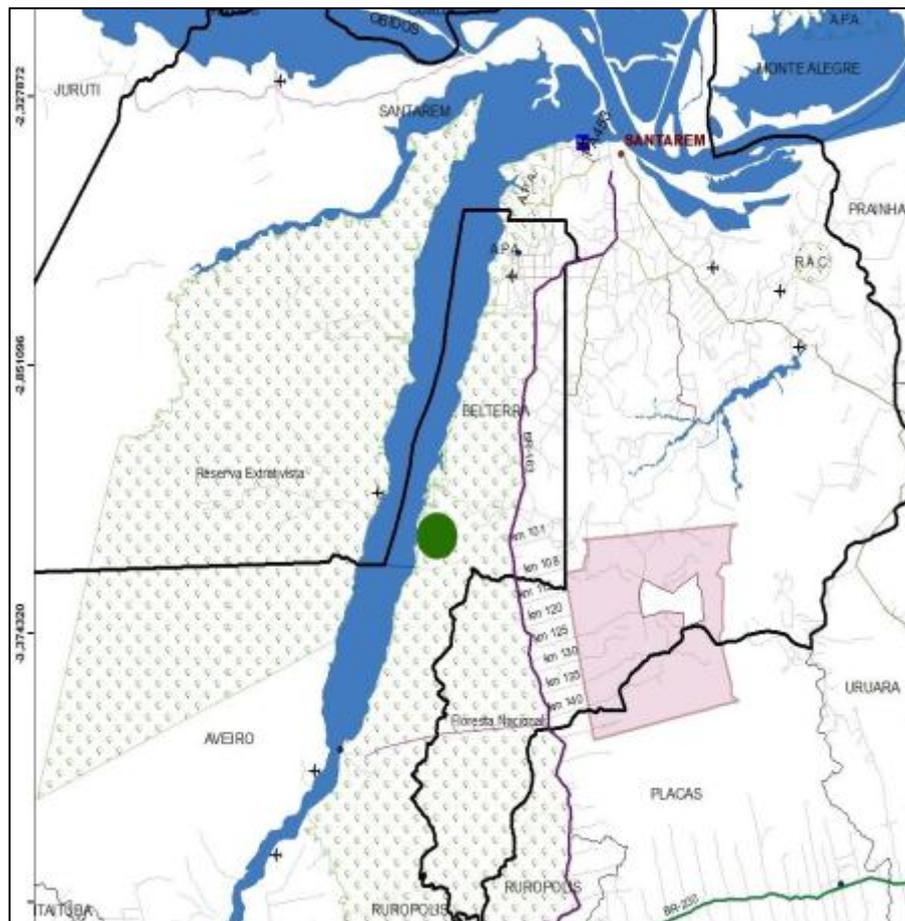


Figura 2 – Localização dos municípios de Santarém e Belterra.
Fonte: Adaptado de COOPVAG, 2009.

As microbacias investigadas são apresentadas na Tabela 1, com sua respectiva região e coordenadas:

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos da coleta de água.

Ponto	Denominação	Região	Coordenadas	
			S	W
CU01	Igarapé Ramal do Gato		02°45'45.7"	054°30'03.1"
CU02	Igarapé-Açu		02°42'10.8"	054°26'51.7"
CU03	Igarapé Riacho-Verde	Rodovia	02°53'12.9"	054°28'38.5"
CU04	Igarapé Guaranzinho	PA-370	02°41'55.6"	054°20'23.8"
CU05	Igarapé do Guaraná	Curuá-Una	02°45'52.0"	054°23'07.6"
CU06	Igarapé da Bica		02°42'58.4"	054°29'58.9"

Continuação

BR01	Igarapé do Prata		02°54'08.6"	054°51'51.1"
BR02	Igarapé do Açaizal – Montante		02°55'59.1"	054°52'58.0"
BR03	Igarapé do Açaizal – Jusante		02°55'39.4"	054°52'42.9"
BR04	Igarapé do Cacimba – Montante	Rodovia	02°56'21.2"	054°52'26.8"
BR05	Igarapé do Cacimba – Jusante	BR-163	02°56'21.3"	054°52'23.5"
BR06	Igarapé do Panela – Montante		02°59'46.2"	054°52'47.1"
BR07	Igarapé do Panela – Jusante		02°59'46.6"	054°52'47.0"
BR08	Igarapé do Garrafa		03°01'32.1"	054°52'49.3"
BR09	Igarapé São Benedito		02°59'46.6"	054°52'47.0"
PM01	ACTAAIA 01		03°13'57.2"	054°33'26.5"
PM02	ACTAAIA 02		03°14'38.1"	054°33'54.2"
PM03	ACTAAIA 03		03°14'36.4"	054°34'26.2"
PM04	Igarapé do Anta	PA-Moju	03°17'18.3"	054°36'38.7"
PM05	ACTAAIA 04		03°16'45.7"	054°36'23.8"
PM06	ACTAAIA 05		03°16'17.0"	054°36'10.9"
FT01	Igarapé do Branco		03°03'01.0"	054°55'38.7"
FT02	Igarapé Jatuarana		03°15'41.1"	054°56'50.4"
FT03	Igarapé Moju		03°25'03.8"	054°54'45.1"
FT04	Igarapé do Mutum	Flona	03°29'55.6"	054°53'04.8"
FT05	Igarapé do Onça		03°33'35.0"	054°52'12.7"
FT06	Igarapé da Flona		02°50'42.0"	054°59'35.2"

A coleta foi realizada durante os meses de outubro de 2011 e abril de 2012, o primeiro mês representou o período de menor precipitação pluviométrica (período de estiagem) e o segundo, o de maior (período chuvoso). A metodologia para a coleta das amostras seguiu o protocolo analítico da Normalização Técnica NBR9897 (ABNT, 1987a) enquanto que, a conservação seguiu a NBR9898 (ABNT, 1987b).

As amostras foram coletadas na superfície contra a água corrente e armazenadas em frascos de polietileno, sendo três de 1.000 mL, para as análises físico-químicas, e um estéril de 250 mL, para as análises microbiológicas. Os frascos foram conservados em caixa refrigerada e transportados ao Laboratório de Biologia Ambiental (LBA), da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), para a realização das análises.

Os parâmetros temperatura da água (T), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvido (TDS), oxigênio dissolvido (OD) e potencial hidrogeniônico (pH), além das coordenadas geográficas e altitude foram determinadas “*in loco*”, nos pontos de

amostragem, antes do procedimento de coleta das amostras. As medidas foram realizados “*in loco*” com auxílio de equipamentos portáteis das marcas Corning (CE, TDS e OD), Oakton (pH e T), Garmin (coordenadas geográficas e altitude).

Doze parâmetros foram realizados com base na resolução CONAMA n° 357/05: pH, cor, turbidez, OD, DBO, clorofila-a, fósforo total, sólidos dissolvidos totais, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes, além de dois parâmetros não incluídos nessa resolução, temperatura e condutividade elétrica, que serviram de subsídio para a discussão dos resultados.

Os parâmetros coliformes termotolerantes (CT), cor, clorofila-a (CL), demanda biológica de oxigênio (DBO₅); fósforo total (PT), nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), nitrogênio amoniacal (NH₃) e turbidez (Tu), foram determinados em laboratório, segundo as normas da APHA (2005), de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros medidos em laboratório, instrumentos e métodos de análise empregados.

Parâmetro	Unidade	Equipamento	Método/Código <i>Standard Methods (2005)*</i>
Coliformes fecais	UFC ¹ .100 mL	Incubadora bacteriológica	Membrana filtrante – Meio Endo/Cód: 9222-D
Cor	mg.L ⁻¹	Colorímetro, marca Hanna, modelo HI 93727	Platinum-cobalto/ Cód: 2120-C
Clorofila a	µg.L ⁻¹	Spectrofotômetro, marca Shimadzu, modelo UV-1201	Tricromático, acetona 90%/ Cód: 10200-H
DBO	mg.L ⁻¹	Medidor de OD, marca HACH, modelo Sensón6	Incubação/Eletrodo de membrana/5210-B
Fósforo total	mg.L ⁻¹	Spectrofotômetro, marca Shimadzu, modelo UV-1201	Redução com ácido ascórbico/ Cód: 4500-PE
Nitrato	mg.L ⁻¹	Colorímetro, marca Lamotte, modelo Smart	N-(1-naftyl)-etilenodiamina/ Cód: 4500-NO ₃ ⁻ C
Nitrito	mg.L ⁻¹	Idem anterior	N-(1-naftyl)-etilenodiamina/ Cód: 4500-NO ₂ ⁻ B
Nitrogênio amoniacal	mg.L ⁻¹	Idem anterior	N-(1-naftyl)-etilenodiamina/ Cód: 4500-NH ₃ F
Turbidez	UNT ²	Colorímetro, marca Lamotte, modelo Smart	Nefelométrico/ Cód: 2130-B

* FONTE: American Public Health Association (APHA), 2005.

¹UFC = Unidade Formadora de Colônia/100 mL de amostra, ²UNT = Unidade Nefelométrica de Turbidez.

Com base nos dados gerados e definidos pela Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005) foi realizado o diagnóstico da qualidade ambiental da área de estudo, dando ênfase à identificação das áreas de risco potencial a fenômenos erosivos e de assoreamento, de destituição da mata ciliar e de contaminação por produtos químicos provenientes da sojicultura, em áreas de drenagem das microbacias hidrográficas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A definição do enquadramento de classe da água, segundo a Resolução nº 357/05 (CONAMA 2005), é ponto de partida para análise e discussão dos resultados da pesquisa. Os corpos d'água no estado do Pará são enquadrados como de classe II, face aos usos preponderantes e de recreação de contato primário, faltando outros estudos para seu enquadramento definitivo. Os resultados dos pontos de amostragem estão expressos pelas Tabelas 3 e 4, de acordo com o período de coleta das amostras.

Em comparação aos parâmetros estabelecidos pela resolução, estavam em desconformidade para o período de estiagem, os parâmetros pH (BR02), oxigênio dissolvido (FT01, FT02, FT03, FT04, FT05, FT06 e PM01) e clorofila-a (PM01, PM02, PM03, PM04, PM05 e PM06) e, para o período chuvoso, a cor (CU02, CU03, CU04 e CU06).

Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas e biológicas, para o período de estiagem.

Região	Microbacia hidrográfica	Amostra	Coordenadas		pH	T °C	Cor mg.L ⁻¹	Tu UNT	CE µS.cm ⁻¹	TDS mg.L ⁻¹	OD mg.L ⁻¹	DBO mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₂ ⁻ mg.L ⁻¹	NH ₃ mg.L ⁻¹	PT µg.L ⁻¹	CL-a µg.L ⁻¹	CT UFC.100mL ⁻¹
			S	W														
Flona-Tapajós	Igarapé do Branco	FT01	03°03'01.0"	054°55'38.7"	5,1	27,6	20	11	14,94	7,25	2,1	0,0	0,01	0,00	0,00	2,1	2,00	0
	Igarapé Jatuarana	FT02	03°15'41.1"	054°56'50.4"	5,0	28,0	40	12	15,13	7,55	3,2	0,0	0,01	0,00	0,00	2,5	1,03	0
	Igarapé Moju	FT03	03°25'03.8"	054°54'45.1"	4,9	27,4	50	14	14,90	7,46	3,7	0,0	0,01	0,00	0,00	2,1	0,51	0
	Igarapé do Mutum	FT04	03°29'55.6"	054°53'04.8"	4,8	31,6	30	11	13,46	6,78	2,3	0,0	0,01	0,00	0,00	2,1	1,49	0
	Igarapé do Onça	FT05	03°33'35.0"	054°52'12.7"	4,9	27,9	40	13	15,15	7,60	4,2	0,0	0,01	0,00	0,00	2,2	0,80	0
	Igarapé da Flona	FT06	02°50'42.0"	054°59'35.2"	4,4	28,5	30	9	23,60	12,2	2,9	0,2	0,01	0,00	0,00	2,1	1,64	0
Curuá-Una	Igarapé Ramal do Gato	CU01	02°45'45.7"	054°30'03.1"	5,2	28,5	0	5	16,11	8,17	6,8	1,3	0,01	0,00	1,42	2,1	0,81	0
	Igarapé-Açu	CU02	02°42'10.8"	054°26'51.7"	5,1	28,9	30	11	12,66	6,70	7,0	0,2	0,01	0,00	0,52	2,5	0,82	0
	Igarapé Riacho-Verde	CU03	02°53'12.9"	054°28'38.5"	5,4	32,3	17	11	16,35	7,94	8,5	0,0	0,01	0,00	0,25	2,2	0,48	0
	Igarapé Guaranzinho	CU04	02°41'55.6"	054°20'23.8"	5,6	30,0	10	10	18,55	8,68	8,4	0,8	0,01	0,00	0,13	3,3	1,06	1
	Igarapé do Guaraná	CU05	02°45'52.0"	054°23'07.6"	5,4	29,5	50	15	19,57	11,4	8,2	0,0	0,01	0,00	0,07	2,7	0,47	0
	Igarapé da Bica	CU06	02°42'58.4"	054°29'58.9"	4,9	27,9	0	6	28,2	14,1	8,6	0,0	0,01	0,00	0,00	2,1	0,56	141
BR-163	Igarapé do Prata	BR01	02°54'08.6"	054°51'51.1"	5,6	27,1	17	5	21,70	10,5	5,7	0,6	0,01	0,00	0,00	2,7	3,74	0
	Igarapé do Açaizal – Montante	BR02	02°55'59.1"	054°52'58.0"	6,2	29,5	10	9	77,40	37,9	6,6	0,1	0,01	0,00	0,00	3,2	2,10	0
	Igarapé do Açaizal – Jusante	BR03	02°55'39.4"	054°52'42.9"	5,9	29,9	30	8	35,90	16,3	6,1	0,1	0,01	0,00	0,00	2,8	1,23	0
	Igarapé do Cacimba – Montante	BR04	02°56'21.2"	054°52'26.8"	5,2	29,7	20	8	53,20	26,6	7,6	1,4	0,01	0,00	0,00	2,8	2,27	0
	Igarapé do Cacimba – Jusante	BR05	02°56'21.3"	054°52'23.5"	5,1	31,5	10	5	13,18	6,29	6,5	0,9	0,01	0,00	0,00	5,0	1,76	0
	Igarapé do Panela – Montante	BR06	02°59'46.2"	054°52'47.1"	5,1	31,3	0	5	30,60	14,7	8,4	0,9	0,01	0,00	0,00	2,7	1,85	0
	Igarapé do Panela – Jusante	BR07	02°59'46.6"	054°52'47.0"	5,6	29,7	0	2	69,90	33,7	8,4	0,6	0,01	0,00	0,00	2,4	1,06	0
	Igarapé do Garrafa	BR08	03°01'32.1"	054°52'49.3"	5,5	28,7	0	10	17,56	8,88	7,0	0,9	0,01	0,00	0,00	2,8	1,81	0
	Igarapé São Benedito	BR09	02°59'46.6"	054°52'47.0"	5,6	27,8	10	7	16,40	7,63	8,0	0,9	0,01	0,00	0,00	4,1	1,13	0
PA-Mojú	ACTAAIA 01	PM01	03°13'57.2"	054°33'26.5"	5,1	28,4	0	10	17,23	8,69	3,5	1,2	0,01	0,00	0,00	3,0	18,68	0
	ACTAAIA 02	PM02	03°14'38.1"	054°33'54.2"	4,9	26,2	10	11	15,44	7,34	5,4	1,2	0,01	0,00	0,00	3,0	20,16	0
	ACTAAIA 03	PM03	03°14'36.4"	054°34'26.2"	5,6	28,1	30	19	14,18	6,87	5,7	1,2	0,01	0,00	0,00	3,3	47,84	0
	Igarapé do Anta	PM04	03°17'18.3"	054°36'38.7"	4,9	26,3	0	11	14,61	7,57	5,5	1,5	0,01	0,00	0,00	3,7	21,19	0
	ACTAAIA 04	PM05	03°16'45.7"	054°36'23.8"	5,1	26,2	10	11	14,53	7,59	5,3	1,8	0,01	0,00	0,00	2,6	17,83	0
	ACTAAIA 05	PM06	03°16'17.0"	054°36'10.9"	4,9	26,7	0	12	17,25	7,72	5,0	1,2	0,01	0,00	0,00	2,8	17,92	0
Valores de referência resolução CONAMA n° 357/05					6-9	-	<75	<100	-	<500	>5	<5	<10	<1	<3,7*	<100	<10	200

LEGENDA: pH (Potencial hidrogeniônico); T (Temperatura); Tu (Turbidez); CE (Condutividade elétrica); TDS (Sólidos Dissolvidos Totais); OD (Oxigênio Dissolvido); DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); NO₃⁻ (Nitrato); NO₂⁻ (Nitrito); NH₃ (Nitrogênio amoniacal); PT (Fósforo total); CL-a (Clorofila-a); CT (Coliforme termotolerante); * Para pH ≤ 7,5.

Tabela 4 – Resultados das análises físico-químicas e biológicas, para o período chuvoso.

Região	Microbacia hidrográfica	Amostra	Coordenadas		pH	T	Cor	Tu	CE	TDS	OD	DBO	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₃	PT	CL-a	CT
			S	W														
Flona-Tapajós	Igarapé do Branco	FT01	03°03'01.0"	054°55'38.7"	5,0	21,2	0	8	8,75	4,37	7,3	1,0	0,01	0,00	0,160	3,6	0,55	0
	Igarapé Jatuarana	FT02	03°15'41.1"	054°56'50.4"	4,9	26,3	23	11	18,06	8,81	8,8	3,1	0,01	0,00	0,170	3,6	0,23	0
	Igarapé Moju	FT03	03°25'03.8"	054°54'45.1"	4,7	25,3	30	9	18,13	8,95	8,4	3,7	0,01	0,00	0,242	3,5	1,03	0
	Igarapé do Mutum	FT04	03°29'55.6"	054°53'04.8"	5,6	25,4	0	14	13,21	6,50	7,8	4,5	0,01	0,00	0,070	3,3	1,78	0
	Igarapé do Onça	FT05	03°33'35.0"	054°52'12.7"	4,8	25,8	0	5	15,15	7,63	8,2	3,9	0,01	0,00	0,175	3,9	0,13	0
	Igarapé da Flona	FT06	02°50'42.0"	054°59'35.2"	4,5	25,8	0	8	21,0	11,1	6,5	1,2	0,01	0,00	0,061	3,3	0,48	0
Curuá-Una	Igarapé Ramal do Gato	CU01	02°45'45.7"	054°30'03.1"	5,6	27,8	40	31	20,10	10,00	7,8	0,0	0,01	0,00	0,108	3,8	1,62	0
	Igarapé-Açu	CU02	02°42'10.8"	054°26'51.7"	5,5	25,8	83	33	15,06	7,54	7,1	1,1	0,01	0,00	0,197	5,2	1,03	0
	Igarapé Riacho-Verde	CU03	02°53'12.9"	054°28'38.5"	5,7	27,5	90	40	16,41	8,15	7,8	0,0	0,01	0,00	0,180	5,7	1,53	0
	Igarapé Guaranzinho	CU04	02°41'55.6"	054°20'23.8"	5,2	26,3	130	40	13,57	6,62	7,5	0,0	0,01	0,00	0,199	5,6	2,66	0
	Igarapé do Guaraná	CU05	02°45'52.0"	054°23'07.6"	4,7	27,8	0	5	24,20	11,6	8,9	0,0	0,01	0,00	0,014	3,2	1,13	0
	Igarapé da Bica	CU06	02°42'58.4"	054°29'58.9"	5,3	26,8	120	37	2,58	1,25	5,1	0,0	0,01	0,00	0,154	5,3	1,05	0
BR-163	Igarapé do Prata	BR01	02°54'08.6"	054°51'51.1"	4,8	26,0	0	9	13,50	6,78	7,8	0,0	0,01	0,00	0,068	4,9	0,95	0
	Igarapé do Açaizal – Montante	BR02	02°55'59.1"	054°52'58.0"	5,8	28,2	0	16	19,03	9,45	6,4	0,0	0,01	0,00	0,211	5,0	0,81	0
	Igarapé do Açaizal – Jusante	BR03	02°55'39.4"	054°52'42.9"	5,4	29,3	0	16	11,70	5,87	7,2	0,0	0,01	0,00	0,063	6,8	1,03	0
	Igarapé do Cacimba – Montante	BR04	02°56'21.2"	054°52'26.8"	5,4	28,0	0	10	10,04	4,97	5,9	0,0	0,01	0,00	0,077	6,5	3,68	0
	Igarapé do Cacimba – Jusante	BR05	02°56'21.3"	054°52'23.5"	5,0	28,1	0	10	11,53	5,82	7,5	0,0	0,01	0,00	0,099	3,9	2,21	0
	Igarapé do Panela – Montante	BR06	02°59'46.2"	054°52'47.1"	4,9	29,5	0	10	14,33	7,19	6,9	0,0	0,01	0,00	0,082	4,3	1,45	0
	Igarapé do Panela – Jusante	BR07	02°59'46.6"	054°52'47.0"	5,1	28,4	0	11	12,04	6,01	8,4	0,7	0,01	0,00	0,054	4,1	1,80	0
	Igarapé do Garrafa	BR08	03°01'32.1"	054°52'49.3"	5,4	27,9	0	9	14,32	6,53	7,2	0,0	0,01	0,00	0,070	15,0	0,35	0
	Igarapé São Benedito	BR09	02°59'46.6"	054°52'47.0"	5,5	26,4	0	13	11,49	5,42	7,6	0,0	0,01	0,00	0,101	9,3	0,69	0
PA-Moju	ACTAAIA 01	PM01	03°13'57.2"	054°33'26.5"	5,1	28,8	10	6	17,19	8,53	5,6	3,9	0,01	0,00	0,094	3,8	1,18	0
	ACTAAIA 02	PM02	03°14'38.1"	054°33'54.2"	4,9	26,6	20	10	14,13	7,07	9,1	0,0	0,01	0,00	0,210	4,7	0,68	0
	ACTAAIA 03	PM03	03°14'36.4"	054°34'26.2"	5,8	30,8	30	16	10,01	4,98	7,9	0,9	0,01	0,00	0,215	4,9	28,57	0
	Igarapé do Anta	PM04	03°17'18.3"	054°36'38.7"	4,1	25,3	11	43	14,20	7,07	7,4	0,7	0,01	0,00	0,172	4,3	0,93	0
	ACTAAIA 04	PM05	03°16'45.7"	054°36'23.8"	4,9	25,0	11	40	14,31	7,18	6,4	0,0	0,01	0,00	0,193	4,1	1,22	0
	ACTAAIA 05	PM06	03°16'17.0"	054°36'10.9"	4,8	25,4	11	40	23,30	10,70	7,1	0,0	0,01	0,00	0,209	4,2	0,82	0
Valores de referência resolução CONAMA n° 357/05					6-9	-	<75	<100	-	<500	>5	<5	<10	<1	<3,7*	<100	<10	200

LEGENDA: pH (Potencial hidrogeniônico); T (Temperatura); Tu (Turbidez); CE (Condutividade elétrica); TDS (Sólidos Dissolvidos Totais); OD (Oxigênio Dissolvido); DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); NO₃⁻ (Nitrato); NO₂⁻ (Nitrito); NH₃ (Nitrogênio amoniacal); PT (Fósforo total); CL-a (Clorofila-a); CT (Coliforme termotolerante); * Para pH ≤ 7,5.

Considerando os aspectos determinados pela Resolução nº 357, do Conselho Nacional de Meio Ambiente, para água doce, classe II, perceberam-se alterações pontuais quanto à qualidade da água, no tocante a sazonalidade, para as quatro áreas pesquisadas (Flona, Curuá-Una, BR-163 e PA-Mojú).

De forma geral, o pH apresentou-se ácido, abaixo da faixa estabelecida pela legislação, a exceção do ponto BR02 (pH = 6,2), que apresentou resultado dentro da normalidade para águas da classe II, que estabelece valores entre 6,0 e 9,0. A média de pH foi de 4,8 para a Flona-Tapajós; 5,2 para a Curuá-Una; 5,5 para a BR-163 e 5,1 para o PA-Mojú, durante a estação seca, enquanto que para a estação chuvosa, houve leve variação, com média maior para as regiões da Flona (4,9) e Curuá-Una (5,3) e, menor, para a BR-163 (5,3) e PA-Mojú (4,9).

De acordo com Siqueira e colaboradores (2012), as águas da região amazônica possuem características ácidas, em virtude da contribuição da bacia hidrográfica e da decomposição de matéria orgânica, não sendo considerado necessariamente um desvio na qualidade da água. A riqueza de compostos orgânicos e de ácidos húmicos é indicada como a responsável pelos baixos valores de pH encontrados nos rios amazônicos, segundo Sioli (1976) e Siqueira *et al.* (2012). Além disso, durante a estação chuvosa, ocorre a calagem do solo para a correção da acidez. Dessa forma, a supressão da mata ripária, desprotege as margens da nascente, e permite que o calcário utilizado na calagem, chegue ao leito dos mananciais, elevando os valores de pH.

Em relação à cor, durante a estação das chuvas, notou-se que quatro pontos da área da Curuá-Una (CU02, CU03, CU04 e CU06) apresentaram valores que superaram o limite de 75 mg.L⁻¹, preconizado pela resolução proposta. Também se percebeu que as áreas da Flona e BR-163 demonstraram valores maiores na estação seca, quando comparados às áreas da Curuá-Una e PA-Mojú. Sioli (1976) atribui à decomposição da vegetação, a coloração adquirida pelas águas, advinda da extração da água das chuvas (Sioli 1976) ou ao total de sólidos dissolvidos (Mato Grosso 2006).

Os resultados para turbidez e sólidos dissolvidos totais mostraram valores dentro da normalidade, independente do período de estudo. Contudo, as regiões com agricultura demonstraram características semelhantes, com turbidez mais elevada durante a estação chuvosa, quando comparada à área natural. A pesquisa realizada por Miranda e colaboradores (2009), detectou durante o período de menor precipitação

pluviométrica, a média de 72 UNT para o ponto de amostragem localizado próximo às descargas do porto graneleiro Cargill. Valores entre 9 e 19 UNT, no período seco, e de 15 a 26 UNT, no período chuvoso, foram encontrados na microbacia de Ribeirão Marins (SP), utilizada para atividades de agricultura e pecuária. Vanzela (2004), avaliando a qualidade da água na microbacia do córrego Três Barras, notou diferença na turbidez, com tendência de aumento durante a estação chuvosa, atribuída ao carreamento de partículas para o leito do manancial.

Durante o período de estiagem, a média da condutividade elétrica se demonstrou mais elevada, sendo que as áreas com agricultura mecanizada apresentaram valores superiores aos de agricultura de subsistência, com valores que oscilaram entre 12,66 a 28,20 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (média = 18,57 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), para a Curuá-Una, e 13,18 a 77,40 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (média = 37,32 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) para a BR-163. Para a agricultura familiar a condutividade variou entre 14,18 e 17,25 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (média = 15,54 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Possivelmente, o menor volume de águas colaborou para a concentração de eletrólitos que, somado ao lixiviado de agroquímicos e fertilizantes, justifica a diferença apresentada. Segundo Carvalho *et al.* (2000), existe uma relação direta entre a condutividade e os sólidos em suspensão, ou seja, o aumento de condutividade é indicativo da quantidade de sólidos suspensos na água.

A maioria das microbacias apresentaram teores de oxigênio dissolvido normais para os dois períodos de análise, à exceção de todos os pontos da área de referência e um ponto do Projeto de Assentamento Mojú que demonstraram, no período seco, valores abaixo do limite mínimo estabelecido, e que se normalizaram durante a estação de chuvas. Tais valores podem comprometer a qualidade da água e da vida aquática. O aporte de matéria orgânica e de sedimentos pode estar contribuindo para a redução do oxigênio dissolvido disponível, pela decomposição bacteriana com degradação qualitativa da água. As reações de nitrato, segundo Sunraday *et al.* (2005), podem reduzir a concentração de oxigênio, desequilibrando a vida aquática aeróbica.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (BDO) foi considerada satisfatória em 100% das amostras analisadas, independente da estação, indicando que não está havendo comprometimento do oxigênio na água pela quantidade de matéria orgânica no período estudado. Valores superiores de DBO foram encontrados por Lemos (2003), em

áreas com uso de solo destinadas principalmente a atividades agrícolas, porém ainda dentro dos valores determinados pela legislação CONAMA 357/05.

As concentrações envolvendo o componente nitrogênio (nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal) estavam de acordo com a legislação. Entretanto, observou-se um pequeno aporte do nutriente durante a estação chuvosa para as regiões da BR-163, com média de $0,09 \text{ mg.L}^{-1}$, e PA-Mojú, com média de $0,18 \text{ mg.L}^{-1}$, podendo ser um indicativo de que o composto está sendo carregado através do deflúvio superficial ao corpo hídrico. A mesma situação foi observada para o parâmetro fósforo total, com maior concentração na região da BR-163 (agricultura mecanizada de soja antiga), com média de $6,64 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, seguida pela Curuá-Una (agricultura mecanizada de soja recente), com média de $4,80 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ e, por fim, o PA-Mojú (agricultura familiar tradicional), com média de $4,33 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$. Alguns trabalhos realizados em áreas com intensa atividade agrícola têm demonstrado concentrações de nitrato e amônia que ultrapassaram os valores máximos permissíveis preconizados pela resolução, provavelmente devido ao aporte do nutriente proveniente do processo erosivo do solo e de lixiviações (Lucas *et al.* 2010).

Carpenter e colaboradores (1998) relataram que 82% do descarte de nitrogênio total e 84% do fósforo total foram provenientes de fontes difusas sendo mais de 90%, de áreas rurais nos Estados Unidos. Em outro trabalho, Diel e colaboradores (2007), detectaram concentrações médias de nitrato, nitrogênio amoniacal e fósforo em rios, na ordem de 133, 143 e $60 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, em águas de rios utilizadas para irrigação de arroz, enquanto Pinheiro e Deschamps (2008) encontraram concentrações que variaram de 1,13 a $4,97 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para nitrato, e de 6,51 a $62,79 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para ortofosfato, em águas superficiais da microbacia do Rio Fortuna (SC). Finalmente, Pionke e colaboradores (2000) concluíram em sua pesquisa que cerca de um terço da área agrícola foi responsável por 58% do fósforo encontrado na bacia hidrográfica de Chesapeake, nos Estados Unidos.

A produção de clorofila-a foi maior durante o período seco, ultrapassando os valores permitidos para a região do PA-Mojú, em todos os pontos amostrados, atingindo a concentração de $47,84 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ no ponto PM03. Os demais pontos, para mesmo período e área, oscilaram entre 17,83 e $21,19 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$. Na estação de chuvas, os pontos voltaram a normalizar, não superando os limites da resolução CONAMA, à exceção do ponto

PM03, que continuou acima do máximo permitido de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$. A clorofila-a é a resposta do corpo hídrico ao agente causador (fósforo), indicada pelo nível de crescimento das algas em suas águas (CETESB 2011). No rio Arari, localizado na Ilha de Marajó (PA), com áreas de fazenda e lavoura, Alves e colaboradores (2012) demonstraram valores de clorofila-a maiores para o período chuvoso quando comparados ao período seco, com concentrações oscilando de 4.220 a $38.320 \mu\text{g.L}^{-1}$, no período de chuvas e, de 3.900 a $25.810 \mu\text{g.L}^{-1}$, no período de estiagem.

Quanto ao aspecto bacteriológico, todos os pontos pesquisados demonstraram concentrações para coliformes termotolerantes abaixo do limite permitido por lei. Das regiões analisadas, apenas dois pontos de amostragem (CU04 e CU06) revelaram contaminação fecal, somente durante a estiagem, diferente dos resultados apresentados por Lemos *et al.* (2010), na Lagoa do Apodi (RN) e de Emiliani e Gonzáles, para a bacia do Rio Salado, na Argentina (1998). Por outro lado, Cunha e colaboradores (2001) destacam que o número de coliformes termotolerantes são menores em áreas afastadas dos centros urbanos. Nessa situação, convém a repetição de análises nas microbacias por um período maior, de forma a se avaliar se os dados apresentarão ou não comportamento semelhante aos resultados aqui explanados.

Os rios constituem sistemas naturais, cujas características limnológicas são influenciadas naturalmente pela geologia, fisiografia, vegetação, clima, ou pela ocupação antropogênica e de uso do solo das bacias de drenagem. A capacidade de dispersão, de diluição e de autodepuração dos corpos aquáticos sofre influência direta dos canais, que dependendo das condições de precipitação, radiação solar, temperatura, velocidade do vento, etc., poderão produzir variações no deflúvio e na assimilação dos compostos durante sua drenagem (Siqueira e Cunha 2001; Siqueira e Cunha, 1997; Siqueira 1996; Lung 1993; Velz 1984), com alterações no perfil físico-químico e biológico dos corpos d'água e, conseqüentemente, danos à vida aquática e restrição dos usos preponderantes.

CONCLUSÕES

A resolução CONAMA n° 357/05 tem como finalidade a proteção à saúde e ao bem estar humano, bem como do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Nesse sentido,

para as microbacias estudadas, comparando-se os 12 parâmetros de qualidade com aqueles estabelecidos pela Resolução CONAMA, constatou-se que os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, clorofila-a e cor estiveram em desacordo com a mesma, sendo que as três primeiras predominaram no período de estiagem e a última, no período de chuvas.

De forma geral, as alterações nos valores dos parâmetros limnológicos das microbacias estudadas ocorreram em diferentes áreas geográficas, com o pH para a área de agricultura mecanizada (BR-163), oxigênio dissolvido, para a Unidade de Conservação da Floresta Nacional do Tapajós (Flona-Tapajós), clorofila-a para as áreas de cultivo familiar tradicional (PA-Mojú) e, cor para a região de agricultura mecanizada recente.

A região do PA-Mojú se destacou com as microbacias mais eutrofizadas, com todas superando o limite estabelecido de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o parâmetro clorofila-a.

A área de cultivo mecanizado recente mostrou-se mais sensível aos efeitos da chuva, principalmente para o parâmetro cor sugerindo dessa forma, relação com os processos de erosão e o carreamento de sedimentos pelas águas superficiais aos mananciais.

A precipitação, as características do solo, seus diferentes usos e o tamanho da área de drenagem, são fatores importantes que podem estar contribuindo para alterações na qualidade da água das microbacias.

A supressão da vegetação ciliar, o desmatamento e as queimadas são práticas utilizadas nas atividades agropecuárias que podem estar contribuindo para o assoreamento e aporte de compostos e nutrientes para as microbacias.

A Resolução 357/05 necessita de adequações para a região Amazônica, visto que alguns parâmetros que apresentaram valores em desconformidade com a resolução refletem condições naturais da região.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), ao Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA), e à equipe do Laboratório de Biologia

Ambiental (LBA), que propiciaram a integração do conhecimento à prática para a apresentação dos resultados desse trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. 1987a NBR9897. Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. 1987b NBR9898. Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Alencar, A.; Nepstad, D.; Mcgrath, D.; Pena, S.; Vera Diaz, M. Del C.; Costa. R. 2004. A pavimentação da Cuiabá-Santarém: Exploração desordenada ou oportunidade de governança? *Revista Proposta*. Fase. No 99, Dez./ Fev. de 2003/04. 60-65 pp.

Alves, I.C.C.; El-Robrini, M.; Santos, M.L.S.; Monteiro, S.M.; Barbosa, L.P.F.; Guimarães, J.T.F. 2012. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazônica*, 42: 115 – 124.

APHA, AWWA, WEF - American Public Health Association. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed. Washington: American Public Health Association.

Ayibotele, N.B. 1992. *The world water: assessing the resource*. (<http://www.uniagua.org.br>). Acesso em: 12/11/11.

Barros, F.G.N. 2006. *A Bacia Amazônica Brasileira no contexto geopolítico da escassez mundial de água*. 153 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade da Amazônia, Pará.

Brasil/Presidência da República. Casa Civil. 2006. *Plano de desenvolvimento regional sustentável para a área de influência da rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém*. Brasília. 193 p. (Grupo de Trabalho Interministerial, Decreto de 15 de março de 2004).

Campos, A.; Soares, A.M.S. 2008. *O acesso à água na América do Sul e em África, Diferenças e semelhanças*. Africanologia - Revista Lusófona de Estudos Africanos. Trabalho apresentado na Universidade de Santiago do Chile em Novembro de 2008.

Carpenter, S.R.; Caraco, N.F.; Correll, D.L.; Howarth, R.W.; Sharpley, A.N.; Smith, V.H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, v.8, n.3, p.559-568. ([http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/1051-0761\(1998\)008%5B0559%3ANPOSWW%5D2.0.CO%3B2](http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/1051-0761(1998)008%5B0559%3ANPOSWW%5D2.0.CO%3B2)). Acesso em: 24/01/12.

Carvalho, V.; Tura, L. 2006. *A expansão do monocultivo de soja em Santarém e Belterra: Injustiça ambiental e ameaça à segurança alimentar*. Belém: FASE.

Carvalho, A.R.; Schlittler, F.H.M.; Tornisielo, V.L. 2000. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. *Quím. Nova* [online], vol.23, n.5, pp. 618-622. Disponível em: (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-0422000000500009). Acesso em: 29/10/11.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB . 2011. *Índice de estado trófico*. São Paulo, out. 2011. (<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/04.pdf>). Acesso em: 12/11/11.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA 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*. (<https://www.mma.gov.br/conama>). Acesso em: 10/01/12.

Cooperativa de Profissionais Liberais do Vale do Araguaia - COOPVAG. 2009. PDA. Plano de Desenvolvimento do Assentamento. *Projeto de Assentamento Mojú I e II*. Instituto de Colonização e Reforma Agrária/SR-30. Conceição do Araguaia. Pará. 354 p.

Cunha, A.C.; Cunha, H.F.A.; Siqueira, E.Q. 2001. Diffuse Pollution Survey in Rivers of Southeast of Amapá State – Brazil. In: 5th International Conference on Diffuse/Nonpoint Pollution and Watershed Management, Milwaukee, Wisconsin, Proceedings, EUA, June, 10-15. CD-ROM.

Diel, M.; Castilhos, R.M.V.; Sousa, R.O.; Valh; L.D.; Silva, J.B. 2007. Nutrientes na água para irrigação de arroz na Região Sul do Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência Rural*, v.37, n.1, p.102-109. (<http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n1/a17v37n1.pdf>). Acesso em: 29/03/09.

Emiliani, F.; Gonzáles, S.M.P. 1998. Bacteriological quality of Bendetti Lake (Santo Tome, Santa Fé Province, Argentina) and associated environmental variables. *Revista Argentina de Microbiologia*. v.30, n.1, p.30-38.

Greenpeace; Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais de Santarém; Projeto Saúde e Alegria; Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Belterra. 2009. *Mapeamento comunitário dos impactos da soja em Santarém e Belterra*. Santarém. (<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/mapa-participativo-inedito-exp/>). Acesso em: 31/05/11.

Hirata, R.; Viviani-Lima, J.B.; Hirata, H. Água como recurso. In: Teixeira, W.; Fairchild, T. R.; Toledo, M. C. M.; Taioli, F. (Org.) *Decifrando a terra*. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 448-485.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. *Censos agropecuários*. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. (<http://www.ibge.gov.br>). Acesso em: 24/08/11.

Instituto da água. 2003. *A água, a terra e o homem – ciclo da água*. 20 p.

Lemos, C. A. 2003. *Qualidade da água de uma bacia hidrográfica inserida na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Maquiné, Rio Grande do Sul, Brasil*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ecologia. Instituto de Biociências, UFRGS. Porto Alegre, 98 pp.

Lemos, M.; Ferreira Neto, M.; Dias, N.S. 2010. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande. v.14, n.2; p.155-164.

Lucas, A.A.T; Folegatti, M.V.; Duarte, S.N. 2010. Qualidade da água de uma microbacia hidrográfica do rio Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande. v.14, n.9; p.937-943.

Lung, Seng-Wu. 1993. *Water quality modeling*. vol.III: Application to estuaries. CRC Press, Inc. USA. 194 p.

Mato Grosso. Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA. Superintendência de Recursos Hídricos – SURH. 2006. *Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas da Sub-Bacia do Rio Cuiabá – MT, 2005*. Cuiabá: SEMA; SURH. 55p.

Miranda, R. G.; Pereira, S. F. P.; Alves, D. T. V.; Oliveira, G. R. F. 2009. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia- Rio Tapajós: Avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. *Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal os Applied Science*: v.4, n.2.

Nepstad, D.; Carvalho, G.; Barros, A.C.; Alencar, A.; Capobianco, J.P.; Bishop, J.; Moutinho, P.; Lefebvre, P.; Silva, U.L.; Prins, E. 2001. *Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests*. *Forest Ecology and Management* 154:395-407.

Nobre, C.A.; Oyama, M.D.; Oliveira, G.S.; Marengo, J.A.; Salati, E. 2004. *Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America*. *First International Clivar Conference*, Baltimore, USA, 21-25.

Pinheiro, A.; Deschamps, F.C. 2008. Transporte de ortofosfato e de nitrato na microbacia do Ribeirão Fortuna, SC. *Engenharia Agrícola e Ambiental*. [online] v.12, n.3, p.318-325. (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662008000300014). Acesso em: 15/07/12.

Pionke, H.B. Gburek, W. Sharpley, A.N. 2000. Critical source area controls on water quality in an agricultural watershed located in de Chesapeake basin. *Ecological Engineering*, v.14, n.4, p.325-335, 2000.

- Resende, A.V. 2002. *Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato*. Planaltina. Brasília: EMBRAPA, Cerrados. 29p.
- Setti, A. A.; Lima, J. E. F. W.; Chaves, A. G. M.; Pereira, I. C. 2000. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas. 207 p.
- Sioli, H. 1976. A limnologia na região amazônica brasileira. *Anais*. I Encontro Nacional sobre Limnologia, Piscicultura e Pesca Continental. Belo Horizonte. p. 153-169.
- Siqueira, E.Q. 1996. *Aplicação do modelo de qualidade da água (QUAL2E) na modelação de oxigênio dissolvido no rio Meia Ponte (GO)*. São Carlos-SP. Dissertação (Mestrado) – SHS – Escola de Engenharia de São Carlos, USP-SP. 90p.
- Siqueira, E.Q.; Cunha. A.C. 1997. O coeficiente de reoxigenação no modelo QUAL2E: metodologia de previsão. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu, Paraná, 14 a 19 set. *Anais*.
- Siqueira, G. W.; Aprile, F.; Migueis, A.M. 2012. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará - Brasil). *Acta Amazônica [online]*. 42: 413-422.
- Siqueira, E.Q.; Cunha. A.C. 2001. *Reoxygenation coefficient in model QUAL2E: prediction methodology*. Int. Stormwater and Urban Water Syst. Modeling Conf. Mong. 9 in the Series, Proc. of the Conference on Stormwater and Urban Systems Modeling, Toronto, Ontario, Guelph. Edited by Willian James. Computational Hydraulisc International (CHI). Período 24-25 de fevereiro de 2000. pp.153-160.
- Sundaray, S.K. Pand, U.C.; Nayak, B.B.; Bhatta, D. 2005. Behaviour and distribution pattern of nutrients in river-estuarine waters of Mahanadi, Orissa, India. *Asian Journal of Water, Environmental and Pollution*, v.2, n.1, p.77-84.
- Tucci, C.E.M. (Org). 2001. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: ABRH.
- Tundisi, J.G. 2003. *Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado*. *Ciência e Cultura*. [online], vol.55, n.4, pp. 31-33. ISSN 0009-6725.
- Vanzela, L.S. 2004. *Qualidade de Água para a Irrigação na Microbacia do Córrego Três Barras no Município de Marinópolis*. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção), Universidade Estadual Paulista, UNESP, Ilha Solteira.
- Velz, C.J. 1984. *Applied stream Sanitation*. A Wiley-Interscience Publication. Second Edition. Michigan, EUA. 799 p.
- Wikipédia. 2011. *BR-163*. (<http://pt.wikipedia.org/wiki/BR-163>). Acesso em: 31/05/11.

SÍNTESE INTEGRADORA

A precipitação exerceu influência sobre o carreamento de nutrientes para os corpos hídricos. Nesse contexto, pode estar ocorrendo o carreamento de moléculas de agroquímicos, pelo escoamento superficial ou por lixiviação, que podem estar colaborando para a contaminação das águas superficiais e lençol freático. Contudo, são necessários estudos subsequentes que contemplem além da água superficial das microbacias hidrográficas, a análise de seus solos, das precipitações pluviométricas, bem como da saúde das pessoas que utilizam os recursos para suas diversas demandas;

As microbacias estudadas, apesar de ainda não demonstrarem alterações do ponto de vista limnológico em relação à legislação ambiental vigente e dos índices de avaliação da qualidade da água (IQA e IET) utilizados nesse estudo, apresentaram modificações no seu perfil para alguns parâmetros. A concentração maior de fósforo total nos pontos de amostragem da área de cultivo mecanizado de soja antigo em relação ao recente, indicou um provável efeito cumulativo do nutriente associado ao tempo de exposição ao solo. Se projetarmos a situação a longo prazo, poderemos inferir que poderá ocorrer a extrapolação dos limites aceitáveis pelos órgãos fiscalizadores.

As observações das alterações físicas nos mananciais relatadas pelas comunidades rurais das áreas envolvidas na pesquisa possuem fundamento. Nesse sentido, a continuidade do estudo se justifica pela necessidade do prolongamento do tempo de pesquisa para ampliação do tempo de amostragem e de outras análises a exemplo do solo e de águas provenientes das chuvas, para melhor definição do diagnóstico ambiental. Também, a avaliação da exposição a fertilizantes e agroquímicos utilizados na cultura da soja, se torna necessária, no sentido de se verificar os efeitos agudos e crônicos da exposição ao homem. Para tanto, são necessárias ferramentas que permitam o aprimoramento do diagnóstico tanto ambiental como humano, de forma a se obter dados mais seguros e confiáveis que subsidiem o monitoramento e a gestão dos recursos hídricos, antevendo futuros impactos aos recursos naturais, para a saúde humana e de espécies da flora e fauna brasileira.

ANEXO 1

INSTRUÇÕES DE PUBLICAÇÃO AOS AUTORES



ISSN  0044-5967  *versão impressa*

Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores devem verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. Submissões que não estejam de acordo com as normas são devolvidas aos autores.

1. O tamanho máximo do arquivo deve ser 3 MB.
2. O manuscrito deve ser acompanhado de uma carta de submissão indicando que: a) os dados contidos no trabalho são originais e precisos; b) que todos os autores participaram do trabalho de forma substancial e estão preparados para assumir responsabilidade pública pelo seu conteúdo; c) a contribuição apresentada à Revista não foi previamente publicada e nem está em processo de publicação, no todo ou em parte em outro veículo de divulgação. A carta de submissão deve ser carregada no sistema da Acta Amazonica como "documento suplementar".
3. Os manuscritos são aceitos em português, espanhol e inglês, mas encorajam-se contribuições em inglês. A veracidade das informações contidas numa submissão é de responsabilidade exclusiva dos autores.
4. A extensão máxima para artigos e revisões é de 30 páginas (ou 7500 palavras, excluindo a primeira página, ver item 8) incluindo bibliografia, tabelas, figuras e legendas, dez páginas (2500 palavras) para comunicações e notas científicas e cinco páginas para outros tipos de contribuições. Tabelas e figuras devem ser inseridas ao final do texto, nesta ordem. Uma cópia das figuras deve ser submetida em formato eletrônico na página do Periódico (ver itens 24-31).
5. Os manuscritos formatados conforme as Normas da Revista (Instruções para os autores) são enviados aos editores associados para pré-avaliação. Neste primeiro julgamento são levados em consideração a relevância científica, a inteligibilidade do manuscrito e o escopo no contexto amazônico. Nesta fase, contribuições fora do escopo ou de pouca relevância científica são rejeitadas. Manuscritos aprovados na pré-avaliação são enviados para revisores (pelo menos dois), especialistas de outras instituições diferentes daquelas dos autores, para uma análise mais detalhada.
6. Uma contribuição pode ser considerada para publicação, se tiver recebido pelo menos dois pareceres favoráveis no processo de avaliação. A aprovação dos manuscritos está

fundamentada no conteúdo científico e na sua apresentação conforme as Normas da Revista.

7. Os manuscritos que necessitam correções são encaminhados aos autores para revisão. A versão corrigida deve ser encaminhada ao Editor no prazo de DUAS semanas. Uma carta de encaminhamento deve ser carregada no sistema da Revista, detalhando as correções efetuadas. Nessa carta, recomendações não incorporadas ao manuscrito devem ser explicadas. Todo o processo de avaliação pode ser acompanhado no endereço, <http://submission.scielo.br/index.php/aa/login>.

8. A organização do manuscrito deve seguir esta ordem, na primeira página: Título, nome(s) e endereço institucional e eletrônico do(s) autor(es). Nas páginas seguintes: Título, Resumo, Palavras-Chave, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Agradecimentos (incluído apoio financeiro), Bibliografia Citada e finalmente, tabelas e figuras com as suas respectivas legendas.

Importante: Toda submissão deve incluir antes da Introdução: título, abstract e palavras-chave (keywords) em inglês.

9. As comunicações e notas científicas são redigidas separando os tópicos (Introdução, etc) em parágrafos, mas sem incluir os seus respectivos títulos. Estas contribuições, como no caso do artigo completo, também devem conter: Título, nome(s) e endereço institucional e eletrônico do(s) autor(es), Resumo, Palavras Chave e os tópicos do artigo completo incluindo título, abstract e palavras-chave (keywords) em inglês. São permitidas até três figuras e duas tabelas.

10. O(s) nome(s) completo(s) do(s) autor(es) deve(m) ser escrito(s) com o último nome em letras maiúsculas. Nomes e instituição(ões) com o endereço completo, incluindo telefone, fax, e-mail devem ser cadastrados no sistema da Revista no ato da submissão.

11. **IMPORTANTE:** Os manuscritos não formatados conforme as Normas da Revista **NÃO** são aceitos para publicação.

12. Os manuscritos devem ser preparados usando editor de texto (e salvos em formato doc, docx ou rtf), utilizando fonte "Times New Roman", tamanho 12 pt, espaçamento duplo, com margens de 3 cm. As páginas e as linhas devem ser numeradas de forma contínua.

13. O título deve ser justificado à esquerda; com a primeira letra maiúscula.

14. O resumo, com até 250 palavras ou até 150 palavras no caso de notas e comunicações, deve conter de forma sucinta, o objetivo, a metodologia; os resultados e as conclusões. Os nomes científicos das espécies e demais termos em latim devem ser escritos em itálico.

15. As palavras-chave devem ser em número de três a cinco. Cada palavra-chave pode conter dois ou mais termos. Porém, não repetir palavras utilizadas no título.

16. Introdução. Esta seção deve enfatizar o propósito do trabalho e fornecer de forma sucinta o estado do conhecimento sobre o tema em estudo. Nesta seção devem-se especificar claramente os objetivos ou hipóteses a serem testados. Não incluir resultados ou conclusões na Introdução.

17. Material e Métodos. Esta seção deve ser organizada cronologicamente e explicar os procedimentos realizados, de tal modo que outros pesquisadores possam repetir o estudo. O procedimento estatístico utilizado deve ser descrito nesta seção. Procedimentos-padrão devem ser apenas referenciados. As unidades de medidas e as suas abreviações devem seguir o Sistema Internacional e, quando necessário, deve constar uma lista com as abreviaturas utilizadas. Equipamento específico utilizado no estudo deve ser descrito (modelo, fabricante, cidade e país de fabricação). Material testemunho (amostra para referência futura) deve ser depositado em uma ou mais coleções científicas e informado no manuscrito.

18. Aspectos éticos e legais. Para estudos que exigem autorizações especiais (p.ex. Comitê de Ética/Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP, IBAMA, CNTBio, INCRA/FUNAI, EIA/RIMA, outros) deve-se informar o número do protocolo de aprovação.

19. Resultados. Os resultados devem apresentar os dados obtidos com o mínimo julgamento pessoal. Não repetir no texto toda a informação contida em tabelas e figuras. Algarismos devem estar separados de unidades. Por exe., 60 °C e NÃO 60° C, exceto para percentagem (p. exe., 5% e NÃO 5 %). Utilizar unidades e símbolos do sistema internacional e simbologia exponencial. Por exe., cmol kg^{-1} em vez de meq/100g.

20. Discussão. A discussão deve ter como alvo os resultados obtidos. Evitar mera especulação. Entretanto, hipóteses bem fundamentadas podem ser incorporadas. Apenas referências relevantes devem ser incluídas. As conclusões devem conter uma interpretação sucinta dos resultados e uma mensagem final que destaque as implicações científicas do trabalho. As conclusões podem ser apresentadas como um tópico separado ou incluídas como parte da seção Discussão.

21. Agradecimentos (incluindo apoio financeiro). Devem ser breves e concisos.

22. Bibliografia citada. Pelo menos 70% das referências devem ser artigos de periódicos científicos. As referências devem ser preferencialmente dos últimos 10 anos e de preferência não exceder o número de 40. Os nomes dos autores devem ser citados em ordem alfabética. As referências devem se restringir a citações que aparecem no texto. Nesta seção, o título do periódico NÃO deve ser abreviado.

a) Artigos de periódicos:

Walker, I. 2009. Omnivory and resource - sharing in nutrient - deficient Rio Negro waters: Stabilization of biodiversity? *Acta Amazonica*, 39: 617-626.

Alvarenga, L.D.P.; Lisboa, R.C.L. 2009. Contribuição para o conhecimento da taxonomia, ecologia e fitogeografia de briófitas da Amazônia Oriental. *Acta Amazonica*, 39: 495-504.

b) Dissertações e teses:

Ribeiro, M.C.L.B. 1983. As migrações dos jaraquis (Pisces: Prochilodontidae) no rio Negro, Amazonas, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 192p.

c) Livros:

Steel, R.G.D.; Torrie, J.H. 1980. *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. 2da ed. McGraw-Hill, New York, 1980, 633p.

d) Capítulos de livros:

Absy, M.L. 1993. Mudanças da vegetação e clima da Amazônia durante o Quaternário. In: Ferreira, E.J.G.; Santos, G.M.; Leão, E.L.M.; Oliveira, L.A. (Ed.). *Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia*. v.2. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, p.3-10.

e) Citação de fonte eletrônica:

CPTEC, 1999. *Climanalise*, 14: 1-2 (www.cptec.inpe.br/products/climanalise). Acesso em 19/05/1999.

23. No texto, citações de referências seguem a ordem cronológica. Para duas ou mais referências do mesmo ano citar conforme a ordem alfabética. Exemplos:

a) Um autor:

Pereira (1995) ou (Pereira 1995).

b) Dois autores:

Oliveira e Souza (2003) ou (Oliveira e Souza 2003).

c) Três ou mais autores:

Rezende et al. (2002) ou (Rezende et al. 2002).

d) Citações de anos diferentes (ordem cronológica):

Silva (1991), Castro (1998) e Alves (2010) ou (Silva 1991; Castro 1998; Alves 2010).

e) Citações no mesmo ano (ordem alfabética):

Ferreira et al. (2001) e Fonseca et al. (2001); ou (Ferreira et al. 2001; Fonseca et al. 2001).

FIGURAS

24. Fotografias, desenhos e gráficos devem ser de alta resolução, em preto e branco com alto contraste, numerados sequencialmente em algarismos arábicos. A legenda da figura deve estar em posição inferior a esta. NÃO usar tonalidades de cinza em gráfico dispersão (linhas ou símbolos) ou gráficos de barra. Em gráfico de dispersão usar símbolos abertos ou sólidos (círculos, quadrados, triângulos, ou losangos) e linhas em preto (contínuas, pontilhadas ou tracejadas). Para gráfico de barra, usar barras pretas, bordas pretas, barras listradas ou pontilhadas. Na borda da área de plotagem utilizar uma linha contínua e fina, porém NÃO usar uma linha de borda na área do gráfico. Evitar legendas desnecessárias na área de plotagem. Nas figuras, NÃO usar letras muito pequenas (< tamanho 10 pt), nos títulos dos eixos ou na área de plotagem. Nos eixos (verticais, horizontais) usar marcas de escala internas. NÃO usar linhas de grade horizontais ou verticais, exceto em mapas ou ilustrações similares. O significado das siglas utilizadas deve ser descrito na legenda da figura.

25. O número máximo de figuras é de sete em artigos e de três em comunicações e notas científicas e devem ser de alta qualidade.

26. As figuras devem estar dimensionadas de forma compatível com as dimensões da Revista, ou seja, largura de uma coluna (8 cm) ou de uma página 17 cm e permitir espaço para a legenda. As ilustrações podem ser redimensionadas durante o processo de produção para otimizar o espaço da Revista. Na figura, quando for o caso, a escala deve ser indicada por uma linha ou barra (horizontal) e, se necessário, referenciadas na legenda da figura, por exemplo, barra = 1 mm.

27. No texto, a citação das figuras deve ser com letra inicial maiúscula, na forma direta ou indireta (entre parêntesis). Por exe.: Figura 1 ou (Figura 1). Na legenda, a figura deve ser numerada seguida de ponto antes do título. Por exe.: "Figura 1. Análise..."

28. Para figuras não originais ou publicadas anteriormente, os autores devem informar explicitamente no manuscrito que a permissão para reprodução foi concedida e carregar no sistema da Revista, como documento suplementar, o comprovante outorgado pelo detentor dos direitos autorais.

29. Fotografias e ilustrações (Bitmap) devem estar no formato tiff ou jpeg, em alta resolução (mínimo de 300 dpi). Em gráficos de dispersão ou de barras utilizar o formato xls, xlsx, eps, cdr ou ai. Cada uma das figuras inseridas no texto deve também ser carregada no sistema da Acta Amazonica em arquivo separado, como um "documento suplementar".

30. Fotografias devem estar, preferencialmente, em preto e branco. Fotografias coloridas podem ser aceitas, mas o custo de impressão é por conta dos autores. Como alternativa, pode ser usada figura em preto e branco na versão impressa e colorida (se for necessário) na versão eletrônica, sem custo para os autores.

31. Os autores podem ser convidados a enviar uma fotografia colorida, para ilustrar a capa da Revista. Nesse caso, não há custos para os autores.

TABELAS

32. As tabelas devem ser organizadas e numeradas sequencialmente em algarismos arábicos. O número máximo de tabelas é de cinco para os artigos e de duas para as comunicações e notas científicas. A numeração e o título (autoexplicativo) devem estar em posição superior à tabela. A tabela pode ter notas de rodapé. O significado das siglas utilizadas na tabela (cabeçalhos, etc) deve ser descrito no título.

33. As tabelas devem ser elaboradas em editor de texto (extensão rtf, doc ou docx) e não devem ser inseridas no texto como figura (p. exe. no formato jpeg).

34. A citação no texto pode ser na forma direta ou indireta (entre parêntesis), por extenso, com a letra inicial maiúscula. Por exe. Tabela 1 ou (Tabela 1). Na legenda, a tabela deve ser numerada seguida de ponto antes do título. Por exe. "Tabela 1. Análise...".

INFORMAÇÕES ADICIONAIS

1. A Acta Amazonica pode efetuar alterações de formatação e correções gramaticais no manuscrito para ajustá-lo ao padrão editorial e linguístico. As provas finais são enviadas aos autores para a verificação. Nesta fase, apenas os erros tipográficos e ortográficos podem ser corrigidos. Nessa etapa, NENHUMA alteração de conteúdo pode ser feita no manuscrito, se isso acontecer, o manuscrito pode retornar ao processo de avaliação.

2. A Acta Amazonica não cobra taxas para publicação. Informações adicionais podem ser obtidas por e-mail acta@inpa.gov.br. Para informações sobre um determinado manuscrito, deve-se fornecer o número de submissão.

3. As assinaturas da Acta Amazonica podem ser pagas com cheque ou vale postal. Para o exterior, a assinatura institucional custa US\$ 100,00 e a assinatura individual US\$ 75,00. Para contato: valda@inpa.gov.br. Tel.: (55 92) 3643-3643 ou fax: (55 92) 3643-3029.

APÊNDICE 1

	UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS LABORATÓRIO DE BIOLOGIA AMBIENTAL	
---	---	---

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DO MEIO GEOFÍSICO, BIOLÓGICO E ENTRÓPICO

Município:	UF:
Nome da Comunidade:	
Nome do Informante:	
Nasceu na comunidade? () Sim () Não	
Comunidade de origem? () Sim () Não	
Tempo de moradia na atual comunidade:	

DADOS DA MICROBACIA E PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS “IN LOCO”

Nome da Microbacia:		
Identificação da amostra:	Data da Coleta:	Hora:
Coordenadas: (W):	(S):	Altitude:
Tipo de amostra: () bruta () tratada () manancial () poço () rio/córrego () lagoa () canal () represa () igarapé () outras: _____		
Temperatura Ambiente:	Temperatura da amostra:	
pH:	Condutividade:	
TDS:	O ₂ Dissolvido:	

ASPECTOS FÍSICOS, MORFOLÓGICOS E LIMNOLÓGICOS

Hierarquia Fluvial Ordem: 1 ^a () 2 ^a () 3 ^a () 4 ^a () > 4 ^a () (determinada a partir de imagem de satélite)
Tipologia da água quanto ao quimismo: () branca () negra () clara
Substrato do leito: () sedimento fino (argila/silte) () areia () cascalho () rocha () folhoso () outros: _____
Presença de vegetação aquática: () sim em todo o espelho d'água () sim parcialmente () ausência
Presença de: () materiais flutuantes () óleos e graxas () corantes provenientes de fontes antrópicas () substâncias que comuniquem gosto ou odor () resíduos sólidos objetáveis
Presença de processos erosivos nas margens: () sim () não
Presença de assoreamento nos corpos d'água: () sim () não
Transformações do solo e construção: () urbanização () estradas, ramais () pontes () barragens e reservatórios () cortes e aterros
Presença de banheiro próximo ao lago? () Sim () Não
Coordenadas: (W): (S): Altitude:

ASPECTOS FISIográficos DA ÁREA DE DRENAGEM

Vegetação predominante: () mata primária () mata secundária (capoeira) () solo exposto () pastagem/plantações
Integridade da mata ripárea original: () conservada () alterada parcialmente () ausente
Integridade da mata de uso alternativo (20% permitido): () 25% () 50% () 75% () 100% () outros: _____
Principais usos da terra: () pecuária () agricultura () lixo () queimada () desmatamento () outros: _____
Extração do recurso natural: () madeireira () não-madeireira () Animal: _____ () vegetal: _____ () outros: _____
Destino do lixo: () queima () enterra () compostagem () outros: _____
Destino do esgoto doméstico: () sumidouro () céu aberto
Destino do esgoto sanitário: () privada () fossa () céu aberto () outros: _____
Usos preponderantes das águas superficiais: () abastecimento humano () cozinhar () lavagem de roupas e utensílios domésticos () recreação com contato primário () irrigação () agricultura () pecuária () pesca, extrativismo, aquicultura () diluição de efluentes () dessedentação de animais () captação para uso nas obras da rodovia () MCH outros: _____
Sistema de captação de água: () igarapé () cacimba () cisterna () poço artesiano: profundidade: _____ tempo de construção: _____ tempo de esgotamento: _____ () outros: _____
Possui caixa d'água? () sim () não Tempo de limpeza: _____
Tratamento da água para consumo: () Filtração () Fervura () Hipoclorito () Não trata () outros: _____
Principais fontes de poluição: () lavagem de roupas e utensílios domésticos () recreação com contato primário () irrigação () agricultura () pecuária () pesca, extrativismo, aquicultura () captação para uso nas obras da rodovia () MCH () outros: _____
Observações complementares: Condições meteorológicas nas ultimas 24 H: Precipitação: () sim () não OUTRAS: _____ _____

APÊNDICE 2

MICROBACIAS PESQUISADAS

REGIÃO DA FLONA-TAPAJÓS

FT 01 – IGARAPÉ DO BRANCO



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

FT02 – IGARAPÉ JATUARANA



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

FT03 – IGARAPÉ MOJÚ



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

FT04 – IGARAPÉ DO MUTUM



PERÍODO DE ESTIAGEM

PERÍODO CHUVOSO

FT05 – IGARAPÉ DO ONÇA



PERÍODO DE ESTIAGEM

PERÍODO CHUVOSO

FT06 – IGARAPÉ DA FLONA



PERÍODO DE ESTIAGEM

PERÍODO CHUVOSO

REGIÃO DO PA-MOJÚ

PM01 – ACTAAIA 01



PERÍODO DE ESTIAGEM

PERÍODO CHUVOSO

PM02 – ACTAAIA 02



PERÍODO DE ESTIAGEM

PERÍODO CHUVOSO

PM03 – ACTAAIA 03



PERÍODO DE ESTIAGEM

PERÍODO CHUVOSO

PM04 – IGARAPÉ DO ANTA



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

PM05 – ACTAIA 05



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

PM06 – ACTAIA 06



PERÍODO DE ESTIAGEM



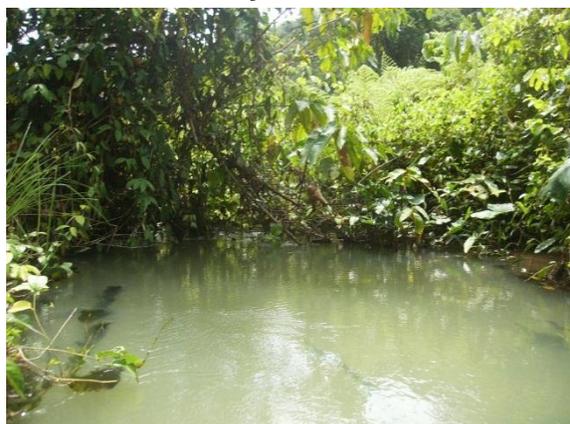
PERÍODO CHUVOSO

REGIÃO DA CURUÁ-UNA**CU01 – IGARAPÉ RAMAL DO GATO**

PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

CU02 – IGARAPÉ-AÇU

PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

CU03 – IGARAPÉ RIACHO VERDE

PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

CU04 – IGARAPÉ GUARANAZINHO



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

CU05 – IGARAPÉ DO GUARANÁ



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

CU06 – IGARAPÉ DA BICA



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

REGIÃO DA BR-163**BR01 – IGARAPÉ DO PRATA**

PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

BR02 – IGARAPÉ DO AÇAIZAL – MONTANTE

PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

BR03 – IGARAPÉ DO AÇAIZAL – JUSANTE

PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

BR04 – IGARAPÉ DO CACIMBA – MONTANTE



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

BR05 – IGARAPÉ DO CACIMBA – JUSANTE



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

BR06 – IGARAPÉ DO PANELA – MONTANTE



PERÍODO DE ESTIAGEM



PERÍODO CHUVOSO

BR07 – IGARAPÉ DO PANELA – JUSANTE



PERÍODO DE ESTIAGEM

PERÍODO CHUVOSO

BR08 – IGARAPÉ DO GARRAFA



PERÍODO DE ESTIAGEM

PERÍODO CHUVOSO

BR09 – IGARAPÉ SÃO BENEDITO



PERÍODO DE ESTIAGEM

PERÍODO CHUVOSO