

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**IMPACTOS DE PEQUENAS CENTRAIS
HIDRELÉTRICAS COM DIFERENTES ARRANJOS NA
BACIA DO ALTO SÃO LOURENÇO**

RÚBIA FANTIN DA CRUZ

ORIENTADOR: PROF. DR. PETER ZEILHOFER

Cuiabá, MT

Março/2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

IMPACTOS DE PEQUENAS CENTRAIS
HIDRELÉTRICAS COM DIFERENTES ARRANJOS NA
BACIA DO ALTO SÃO LOURENÇO

RÚBIA FANTIN DA CRUZ

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Física Ambiental.

ORIENTADOR: PROF. DR. PETER ZEILHOFER

Cuiabá, MT
Março/2018

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

F216i Fantin da Cruz, Rúbia.
IMPACTOS DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS COM
DIFERENTES ARRANJOS NA BACIA DO ALTO SÃO LOURENÇO / Rúbia
Fantin da Cruz. -- 2018
144 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Peter Zeilhofer.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2018.
Inclui bibliografia.

1. PCH. 2. Qualidade da água. 3. Queda de projeto. 4. Canal de desvio. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: IMPACTOS DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS
COM DIFERENTES ARRANJOS NA BACIA DO ALTO SÃO
LOURENÇO**

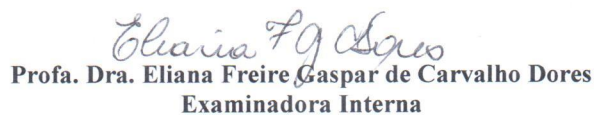
AUTORA: RÚBIA FANTIN DA CRUZ

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 15 de março de 2018, pela
comissão julgadora:



Prof. Dr. Peter Zeilhofer
Orientador

Instituto de Geografia, História e Documentação - UFMT



Instituto de Ciências Exatas e da Terra – UFMT

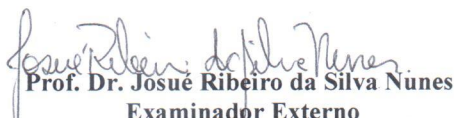


Prof. Dr. Pierre Girard
Examinador Interno

Instituto de Biociências - UFMT



Programa Nacional de Pós Doutorado/PNPD - CAPES



Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT



Kellogg Biological Station, Michigan State University-EUA

DEDICATÓRIA

Dedico...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que fizeram parte dessa etapa da minha vida, alguns de forma passageira e outros definitivamente, mas todos com sua importância e significado, me fazendo um ser humano melhor em todos os aspectos. Muito obrigada.

Pensamento...

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO GERAL.....	2
1.1.1. Objetivos Específicos.....	2
2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 PCHS	3
2.1.1- Aspectos gerais.....	3
2.2.1 - Legislação e outros	8
2.2.1 - Contexto regional	13
3.0 MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1 ÁREA DE ESTUDO	16
3.3 PCHs.....	31
3.4 HIDROSEDIMENTOLOGIA.....	31
3.5 OUTRAS MÉTRICAS.....	32
3.6 TRATAMENTO DOS DADOS.....	33
4.0 RESULTADOS.....	36
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO ALTO SÃO LOURENÇO	36
4.1.1 Vazão e Qualidade da Água.....	36
4.1.2 Comparação ao CONAMA 357/05, Art. 15.	58
4.2 PCHs.....	59
4.2.1 – Qualidade da Água dos Rios.....	59
4.4.2 Outras métricas	72
5.0 DISCUSSÃO	81

5.1 QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO ALTO SÃO LOURENÇO.....	81
5.2 PCHs.....	89
5.2.1 Os efeitos da PCH São Lourenço sobre Qualidade da Água.....	90
5.2.2 Os efeitos das PCHs do Complexo Tenente Amaral sobre Qualidade da Água.....	94
5.3 Retenção dos nutrientes e sedimentos suspensos nos reservatórios.....	96
5.4 Outras métricas.....	99
5.5 Hidrossedimentologia.....	102
6.0 CONCLUSÕES	107
7.0 RECOMENDAÇÕES	108
8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Linha do tempo para os critérios de caracterização de PCHs no Brasil.....	11
Figura 2 Mapa de vegetação e usos do solo da bacia do Alto São Lourenço.	18
Figura 3 Mapa geológico da bacia do Alto São Lourenço.....	20
Figura 4 Mapa pedológico da bacia do Alto São Lourenço.....	26
Figura 5 Localização dos corpos d'água amostrados, vegetação e usos do solo na bacia do Alto São Lourenço.	29
Figura 6 Variação da vazão líquida na bacia do Alto São Lourenço nos períodos de Transição, Chuvoso e Seco, entre 2014 e 2015.	37
Figura 7 Variação espaço-temporal da precipitação e temperatura do ar na bacia do Alto São Lourenço nos períodos de Transição, Chuvoso e Seco, entre 2014 e 2015.....	38
Figura 8 Variação espaço-temporal da temperatura da água na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.	40
Figura 9 Variação espaço-temporal do oxigênio dissolvido na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.	41
Figura 10 Variação espaço-temporal do pH na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. A linha tracejada na horizontal é o referencial da Resolução CONAMA 357/05, Art. 15.	42
Figura 11 Variação espaço-temporal da condutividade elétrica na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.	43
Figura 12 Variação espaço-temporal de sólidos dissolvidos na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata	

(PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. 44

Figura 13 Variação espaço-temporal da cor verdadeira na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. 45

Figura 14 Variação espaço-temporal de sólidos em suspensão na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. 46

Figura 15 Variação espaço-temporal de turbidez na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. A linha tracejada na horizontal é o referencial da Resolução CONAMA 357/05, Art. 15. 47

Figura 16 Variação espaço-temporal da DQO na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. 48

Figura 17 Variação espaço-temporal do carbono orgânico dissolvido na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. 49

Figura 18 Variação espaço-temporal do nitrogênio Kjeldahl total na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. 50

Figura 19 Variação espaço-temporal do nitrogênio Kjeldahl dissolvido na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. 50

Figura 20 Variação espaço-temporal do nitrogênio amoniacal na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. 51

Figura 21 Variação espaço-temporal do nitrato na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.....	52
Figura 22 Variação espaço-temporal do fósforo total na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. A linha tracejada na horizontal é o referencial da Resolução CONAMA 357/05, Art. 15.	53
Figura 23 Variação espaço-temporal do fósforo total dissolvido na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.	54
Figura 24 Variação espaço-temporal do ferro total na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.	55
Figura 25 Variação espaço-temporal do ferro dissolvido na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. A linha tracejada na horizontal é o referencial da Resolução CONAMA 357/05, Art. 15.....	56
Figura 26 Dendograma com as características hidroquímicas dos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015, na bacia do Alto São Lourenço.....	57
Figura 27 Variação espaço-temporal do pH e condutividade elétrica a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$	63
Figura 28 Variação espaço-temporal dos sólidos dissolvidos e cor verdadeira a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$	64

Figura 29 Variação espaço-temporal da temperatura da água e oxigênio dissolvido a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$ 65

Figura 30 Variação espaço-temporal de sólidos em suspensão e turbidez a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$ 66

Figura 31 Variação espaço-temporal da DQO e Carbono orgânico dissolvido a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$ 67

Figura 32 Variação espaço-temporal do nitrogênio Kjeldahl total e dissolvido a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$ 68

Figura 33 Variação espaço-temporal de nitrogênio amoniacal e nitrato a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$ 69

Figura 34 Variação espaço-temporal de nitrogênio amoniacal, nitrato e fósforo total a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$ 70

Figura 35 Variação espaço-temporal do ferro total e ferro dissolvido a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$ 71

Figura 36 Percentual do comprimento dos rios da bacia do Alto São Lourenço afetados por canais de derivação e reservatórios e trechos de vazão reduzida por PCHs em operação (atual) e previstas (futuro). 75

Figura 37 Imagens do Google Earth Pro mostrando as áreas de depósito de sedimentos nos rios Saia Branca (a) e Beleza (b), antes (a1;b1) e depois (a2;b2;b3) da construção dos reservatórios das PCHs Pequi (a) e São Lourenço (b). 78

Figura 38 Imagens do Google Earth Pro mostrando as áreas de depósito de sedimentos nos rios Prata (c) e Areia (d), antes (c1;d1) e depois (c2; c3; d2; d3) da construção do reservatório da PCH São Lourenço. 79

Figura 39 Imagens do Google Earth Pro mostrando as áreas de depósito de sedimentos no rio São Lourenço antes (e1) e depois (e2; e3) da construção do reservatório da PCH São Lourenço..... 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação atual das PCHs no Brasil em relação a potência e queda do projeto.	13
Tabela 2 Status e características das Pequenas Centrais Hidrelétricas na bacia do Alto São Lourenço.	15
Tabela 3 Datas, períodos e números de amostras de água coletadas na bacia do Alto São Lourenço entre 2014 e 2015.....	28
Tabela 4 Descrição dos locais de coleta.....	28
Tabela 5 Síntese dos métodos de coleta e análise de água.....	30
Tabela 6 Data das imagens do Google Earth Pro, utilizadas para quantificação das áreas de depósito dos sedimentos a montante das PCHs Pequ e São Lourenço.	32
Tabela 7 Vazão média (m ³ /s) dos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL) na bacia do Alto São Lourenço, entre 2014 e 2015.....	36
Tabela 8 Mediana e nível de significância das variáveis mensuradas a montante e a jusante do Complexo de PCHs do rio Tenente Amaral (CTA) no gradiente espacial (Geral) e temporal (períodos de Transição, Chuvoso e Seco) entre 2014 e 2015. Comparando montante e jusante em cada período, o símbolo * foi adotado para identificação do nível de significância obtido pelo teste de Friedman de 5% e ** para nível de significância de 1%. O tempo de residência da água nos reservatórios em cada período também foi apresentado.....	61
Tabela 9 Mediana e nível de significância das variáveis mensuradas a montante e a jusante da PCH São Lourenço no gradiente espacial (Geral) e temporal (períodos de Transição, Chuvoso e Seco) entre 2014 e 2015. Comparando a montante e a jusante em cada período, o o símbolo * foi adotado para identificação do nível de significância obtido pelo teste de Friedman de 5% e ** para nível de significância de 1%. O tempo de residência da água no reservatório em cada período também foi apresentado.....	62
Tabela 10 Qualidade da água do rio São Lourenço, comparativo entre os resultados obtidos neste estudo e o monitoramento realizado pela SEMA (2014).	72

Tabela 11 Razão entre as principais características das PCHs e a capacidade de geração de energia (MW) das PCHs em operação na bacia do Alto São Lourenço/MT. 73

Tabela 12 Razão entre as principais características das PCHs e a capacidade de geração de energia (MW) das PCHs em operação e previstas na bacia do Alto São Lourenço/MT. 74

Tabela 13 Percentual do comprimento dos rios da bacia do Alto São Lourenço afetados por canais de derivação e reservatórios e trechos de vazão reduzida por PCHs em operação (atual) e previstas (futuro). 75

Tabela 14 Composição granulométrica do sedimento dos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Tenente Amaral jusante das PCHs (TAJ), Areia (AR), São Lourenço (SL) e São Lourenço jusante da PCH São Lourenço (SLJ) na bacia do Alto São Lourenço, entre 2014 e 2015. AMG (Areia Muito Grossa), AG (Areia Grossa), AM (Areia Média), AF (Areia Fina), AMF (Areia Muito Fina), Silte. 76

Tabela 15 Áreas de depósitos de sedimento a montante das PCHs Pequi e São Lourenço. 80

LISTA DE ABREVIACÕES

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MW - Megawatt(s)
OD - Oxigênio dissolvido
PCH - Pequena central hidrelétrica
SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos
Hídricos de mato Grosso
TR - Tempo de residência teórico da água

CRUZ, R. F. C **Impactos de pequenas centrais hidrelétricas com diferentes arranjos na Bacia do Alto São Lourenço**. Cuiabá, 2018, 144f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

RESUMO

A expansão de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) pelo mundo, fundamentada na geração de energia de fonte renovável, de baixo carbono e de reduzidos impactos ambientais, faz parte do cenário mundial, considerando que grande parte dos novos projetos hidrelétricos existentes e futuros, inclusive financiados por fundos mundiais, se enquadram nessa categoria. No entanto, seus impactos ambientais sinérgicos e cumulativos ainda são pouco conhecidos e muito questionados, principalmente se seus efeitos podem se estender a áreas alagáveis de elevada biodiversidade, como o Pantanal. Neste contexto, foram realizadas medições de vazão e coletas de água a montante e a jusante de rios barrados por PCHs no planalto da Bacia do Alto Paraguai, cabeceiras do Pantanal, na bacia do rio São Lourenço, bem como pesquisas em documentos disponíveis para consulta pública no órgão ambiental. Na bacia do Alto São Lourenço, foi selecionado um conjunto de PCHs de Média Queda de Projeto na sub-bacia do rio Tenente Amaral, que foram agrupadas como um complexo, e a PCH São Lourenço, de Baixa Queda de Projeto, no canal do rio de mesmo nome, objetivando comparar os efeitos desses diferentes arranjos, dentro da categoria de PCH, sobre a qualidade da água. Entende-se como Queda do Projeto a distância vertical entre a parte superior da lâmina d'água do reservatório e a do canal de restituição a jusante. Para medição vazão utilizou-se o método do molinete e para as coletas e análises das variáveis da qualidade da água foram adotadas as normas consagradas. A comparação entre montante e jusante das hidrelétricas foi feita utilizando o método da média ponderada pela vazão, devido a existência de vários rios formadores do reservatório, ou reservatórios em rios diferentes, como no caso das PCHs de Queda Média existentes na sub-bacia do rio Tenente Amaral, seguido pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Os resultados indicaram que a PCH São Lourenço, de Baixa Queda, alterou a dinâmicas das variáveis DQO, ferro total, sólidos suspensos e turbidez, pH e oxigênio dissolvido e que as PCHs de Média Queda não influenciaram de forma detectável a qualidade da água. Os resultados também indicaram melhor razão do custo-benefício das PCHs com canal de desvio em pequenos tributários em relação a PCH com reservatório típico no canal principal na bacia do Alto São Lourenço. E que se todos os estudos ambientais para instalação de novas PCHs fossem efetivados, as sub-bacias dos córregos Ibó, Prata e Beleza serão as mais afetadas, com ocupação de 15 a 20% do curso dos canais principais por reservatórios e desviados por canais de derivação. As sub-bacias do Tenente Amaral, Saia Branca e São Lourenço apresentaram pequeno incremento, com porcentagens semelhantes às atuais (10,1%, 20,6%, 3,9%, respectivamente).

Palavras-chave: PCH, qualidade da água, Queda de Projeto, Canal de desvio

CRUZ, R. F. **Impacts of small hydroelectric plants with different arrangements in the São Lourenço Basin plateau.** Cuiabá, 2018, 144f. Thesis (Doctoral Degree in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

ABSTRACT

The spread of Small Hydropower Plants (SHPs) around the world, based on the generation of energy from renewable sources, of low carbon and reduced environmental impacts, is part of the world scenario, considering that a large part of new and existing hydroelectric projects, including financed by global funds, fall into this category. However, their synergistic and cumulative environmental impacts are still poorly known and highly questioned, especially if their effects can extend to high biodiversity floodplains such as the Pantanal. In this context, flow measurements and sampling of water were performed upstream and downstream of rivers dammed by SHPs in the Upper Paraguay River basin plateau, headwaters of the Pantanal, in the São Lourenço River basin, and searches of documents available for public consultation were carried out in the environmental body. In the Upper São Lourenço basin, a set of SHPs of Medium height of fall of the project was selected in the Tenente Amaral River sub-basin, which were grouped together as a complex, and the São Lourenço SHP of Low height of fall of the project, in the channel of the river of the same name, aiming to compare the effects of these different arrangements, within the category of SHP, on water quality. Fall of the project is understood as the vertical distance between the upper part of the water layer of the reservoir and that of the restitution channel downstream. For flow measurement, the reel method was used, and for the collection and analysis of water quality variables, the recognized standards were adopted. The comparison between upstream and downstream of the hydropower plants was done using the weighted average by the flow, due to the existence of several reservoir-forming rivers, or reservoirs in different rivers, as in the case of the SHPs of Medium height of fall existing in the Tenente Amaral River sub-basin, followed by non-parametric Kruskal-Wallis test. The results indicated that the São Lourenço SHP, of Low height of fall, changed the dynamics of COD, total iron, suspended solids and turbidity, pH and dissolved oxygen, and that SHPs of Medium height of fall did not detectably influence water quality. The results also indicated a better cost-benefit ratio of SHPs with diversion channel in small tributaries compared to SHP with typical reservoir in the main channel in the Upper São Lourenço basin. And if all environmental studies for the implementation of new SHPs were carried out, the sub-basins of the Ibó, Prata and Beleza streams will be the most affected, occupying 15-20% of the main channels with reservoirs and diverted by diversion channels. The sub-basins of Tenente Amaral, Saia Branca and São Lourenço presented a small increase, with similar percentages to the current ones (10.1%, 20.6%, 3.9%, respectively).

Keywords: SHP, Water Quality, Height of fall, Diversion Channel.

1. INTRODUÇÃO

A bacia do Alto São Lourenço está localizada em uma região de planalto pertencente ao bioma Cerrado e suas águas contribuem para a dinâmica da planície pantaneira (MMA, 2006). Essa configuração faz dessa região uma relevante área de estudo, uma vez que conecta dois biomas de significância mundial (Cerrado e Pantanal), com elevada biodiversidade e fragilidade na conservação (MYERS et al. 2000). Essa conexão torna pertinente a inferência de que as atividades antrópicas predominantes nessa região de planalto influenciam tanto o planalto quanto a planície, apesar da complexidade das relações existentes.

As atividades antrópicas com maior potencial de causar impacto nos recursos hídricos na bacia do Alto São Lourenço são a agricultura, devido às extensas áreas planas com vocação para esse tipo de atividade e à crescente instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), devido a existência de inúmeros pequenos e médios cursos d'água com características favoráveis para a geração de energia elétrica (BRASIL, 2006). Ambas seguem uma tendência de expansão mundial focada no desenvolvimento de países subdesenvolvidos e em desenvolvimento (KIBLER & TULLOS, 2014; ZARFL et al. 2014).

A geração de energia elétrica por PCHs tem sido fomentada por políticas nacionais e internacionais e amplamente divulgada como sustentável e de baixo impacto (NAUTIVAL et al. 2011; CAPIK et al 2012; OKOT, 2013; ZHANG et al. 2015; FERREIRA et al. 2016). No entanto, algumas pesquisas tem questionado essa abordagem, instigando estudos com abordagens sistêmicas que levem em consideração métricas diferenciadas e os efeitos cumulativos e sinérgicos (GLEICK, 1992; HENNIG et al. 2013; KIBLER & TULLOS, 2013; KUMAR & KATOCH, 2014). Dentre as questões levantadas estão alterações no regime térmico, retenção de nutrientes e sedimentos, além de alterações no fluxo de água e sedimento e a fragmentação de habitats, bem como o efeito de diversos tipos de arranjos estruturais, sistemas em cascata e múltiplos empreendimentos hidrelétricos na mesma bacia hidrográfica.

No contexto mundial, o nexus entre água, comida e energia é uma temática que vem sendo amplamente discutida, considerando a crescente demanda mundial e

a gestão sustentável dos recursos naturais (BIZIKOVA et al. 2013). Na bacia do Alto São Lourenço essa problemática também é evidenciada, considerando as relações existentes entre os recursos hídricos, a agricultura e geração de energia, assim como os conflitos pelos usos da água e as potenciais implicações nos serviços ecossistêmicos.

A posição estratégica da bacia do Alto São Lourenço, parte alta da planície pantaneira, associada a temática descrita anteriormente, faz dessa área uma amostra representativa para o entendimento destas relações e suas potenciais implicações na planície, considerando sua similaridade em relação aos usos do solo e da água e características hidroquímicas com outras bacias formadoras da Bacia do Alto Paraguai (BAP) também contribuintes do Pantanal Mato-grossense.

1.1. OBJETIVO GERAL

Analisar os impactos de 5 PCHs sobre os recursos hídricos da bacia do Alto São Lourenço, contribuinte da planície do Pantanal Mato-grossense.

1.1.1. Objetivos Específicos

- Avaliar a qualidade da água da bacia do Alto São Lourenço e identificar os fatores controladores das variações temporais e espaciais;
- Avaliar a influência do tipo de arranjo das PCHs sobre a qualidade da água;
- Identificar as áreas de deposição de sedimentos na zona de transição dos reservatórios das PCHs;
- Realizar um prognóstico sobre os possíveis efeitos das PCHs previstas na bacia;

2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PCHS

2.1.1- Aspectos gerais

A geração de energia hidráulica é considerada a fonte mais viável e promissora de energia renovável, tem elevado potencial ainda não utilizado na maioria dos países, baixo custo relativo e tecnologia bem desenvolvida. Atualmente ocupa um modesto terceiro lugar no cenário mundial, atrás das principais fontes como os combustíveis fósseis, que seguem em declínio devido a sua quantidade limitada e impactos ambientais, especificamente em relação as emissões de gases de efeito estufa (KAUNDA et al. 2012).

Esse tipo de geração de energia, oriunda de fonte renovável e de baixo carbono, é uma tendência observada em escala global (CAPIK et al. 2012), considerando os tratados internacionais para sustentabilidade, apesar das controvérsias sobre a quantificação significativa de gases como metano e dióxido de carbono emitidos por empreendimentos hidrelétricos, principalmente em regiões tropicais (FEARNSIDE, 2008; FEARNSIDE, 2012; FEARNSIDE, 2015).

Sob a perspectiva inicial, de baixo carbono, políticas nacionais e internacionais incentivam a produção de energia oriunda dessa matriz, especialmente pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e empreendimentos a fio d'água, que apoiados no princípio de que causam menores impactos sociais e ambientais (NAUTIVAL et al. 2011; OKOT, 2013; ZHANG et al. 2015; FERREIRA et al. 2016). Tornando-se, assim detentoras de uma série de atrativos econômicos, políticos e ambientais quando comparadas às de maior porte e a outras fontes de energia, disseminando esse tipo de empreendimento pelos continentes.

Dentre os atrativos, está o processo simplificado de licenciamento ambiental, que na maioria das vezes é menos burocrático e baseado na potência instalada desses empreendimentos. Segundo Gleick (1992) esse critério é questionável como indicador dos impactos ambientais e ecológicos, considerando os resultados obtidos no estudo com 100 usinas hidrelétricas na Califórnia (USA) com capacidade de geração inferiores e superiores a 25MW. Este autor considerou a

relação existente entre a distância vertical da parte superior da água no reservatório e a superior da água no canal de fuga a jusante da barragem (Gross Static Head, GSH) e a altura do barramento (Dam Height, DH) um indicador eficiente para avaliar os impactos de usinas hidrelétricas. Nas situações onde a GSH foi superior à DH os reservatórios apresentaram menor custo ambiental, caracterizados por hidrelétricas construídas em áreas com desníveis. Seus resultados sugerem ainda que muitos dos impactos ambientais de pequenas instalações são comparáveis ou até piores do que as grandes usinas hidrelétricas convencionais, quando o GSH é menor que o DH por unidade de energia produzida, principalmente em relação ao uso da terra, perdas de água por evaporação e infiltração e taxas de sedimentação.

O estudo de Kibler & Tullos (2013) na bacia do rio Nu na China, comparando barramentos de geração de energia inferiores e superiores a 50 MW, indicou que os efeitos biofísicos cumulativos provocados por empreendimentos de menor porte podem ser superiores aos de maior porte quando estão normalizados pela quantidade de energia gerada, particularmente em relação a perda de habitat e mudanças hidrológicas. Como por exemplo, comprimento do canal do rio afetado, diversidade de habitats afetados, conectividade da área de captação na escala de sub-bacia, influência direta e indireta em áreas de conservação e prioritárias para a biodiversidade, potencial para modificar regimes hidrológicos e afetar a qualidade da água.

Considerando as políticas internacionais de incentivo, as PCHs são parte expressiva dentre os projetos mais recentes de geração de energia elétrica em escala global, como o evidenciado na amostragem realizada por Kibler & Tullos (2014) no banco de dados do Protocolo do Quioto para Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), tendência essa registrada também por Jager & McManamay (2014) nos Estados Unidos, onde 42% das hidrelétricas construídas recentemente são de pequeno porte. Em escala global, do total de 3.700 barragens hidroelétricas em construção ou planejadas em 2014, 75% são de pequeno a médio porte, ou seja, com capacidade de geração entre 1 e 100 MW (ZARFL et al. 2014).

Segundo Winemiller et al. (2016), a maioria das barragens existentes e propostas para as bacias Amazônica, do Congo e Mekong, elencadas como as detentoras de um terço da biodiversidade íctia de água doce do mundo, são

relativamente pequenas e localizadas em afluentes de terras altas, devido às potencialidades hidráulicas favoráveis, como corredeiras e cachoeiras. Assim, como o previsto por Zarfl et al. (2014), os rios mais afetados por barramentos serão de baixa descarga fluvial e alto gradiente.

Apesar do conhecimento sobre grandes reservatórios estar bem consolidado na literatura, como fragmentação e regulação do fluxo (GRILL et al., 2015), redução da biodiversidade (WINEMILLER et al., 2016), alteração do regime térmico (OLDEN & NAIMAN, 2010), redução no transporte de nutrientes (VON SCHILLER et al., 2016; MAAVARA et al., 2015, MAAVARA et al., 2014) e sedimentos (KUNZ et al., 2011; KONDOLF et al., 2014) e emissão de gases do efeito estufa (MAECK et al., 2013), raros são os estudos que relatam efeitos significativos de pequenos represamentos sobre propriedades físico-químicas da água e seus efeitos ecológicos, segundo a revisão feita por Mbaka e Mwaniki (2015) no período entre 1986 e 2013, na qual não constam registros para a América do Sul. Esses autores utilizaram a altura do barramento como critério de classificação dos pequenos barramentos entre fio d'água, altura inferior a 5 m, e entre 5 e 15 m. A maior parte dos estudos foram realizados na América do Norte (57,4%), seguidos pela Europa (20,2%), Ásia (13,8%), África (3,19%), Austrália (3,19%) e Reino Unido (2,13%).

As questões ambientais envolvendo PCHs em todo o mundo ainda estão longe de um consenso científico, não havendo padronização nem em relação às características que definem uma PCH, sendo que cada país adota seu próprio referencial, que em relação a potência instalada pode oscilar de 1,5 MW, como na Suécia (PENICHE, 2004), até 50 MW, como na China (HENNIG et al., 2013).

Neste contexto de franca expansão, as questões ambientais envolvendo PCHs e seus impactos presumivelmente pouco expressivos, estão sendo revisados e questionados por pesquisadores na China (HENNIG et al. 2013; KIBLER & TULLOS, 2013), Estados Unidos (GLEICK, 1992) e Índia (KUMAR & KATOCH, 2014), levando em consideração seus efeitos sinérgicos e cumulativos. A natureza e a severidade dos custos ambientais desse tipo de empreendimento são preocupantes e precisam ser avaliados, considerando a ausência de análises abrangentes (GLEICK,

1992; KIBLER&TULLOS, 2013; HENNIG et al. 2013), bem como métodos padronizados de medição e avaliação de sua sustentabilidade (KUMAR & KATOCH, 2014).

Segundo Hennig et al. (2013), a situação é ainda mais preocupante quando PCHs com canal de desvio são construídas em cascata e não há um controle e dimensionamento adequado da vazão ecológica no trecho desviado. E em alguns países como a China, bacia Namtarbet, isto pode implicar em trechos de até 90 Km completamente secos no período de estiagem.

Análises dos efeitos cumulativos em bacias hidrográficas, com múltiplos pequenos reservatórios, apenas recentemente apareceram na literatura científica, provavelmente devido à complexidade de quantificação dos impactos acumulativos em um contexto de toda a bacia hidrográfica, considerando sua distribuição espacial heterogênea e o efeito cumulativo de vários projetos, que variam temporal e espacialmente, além da disponibilidade limitada de informações (DEITCH et al. 2013).

Segundo Kaunda et al. (2012), a comparação entre pequenos e grandes projetos deveria ser feita de modo integrado, somando-se os impactos de todos os projetos pequenos e comparando com o de maior tamanho com a mesma capacidade de geração e em áreas semelhantes. Assim, seria possível uma comparação por unidade de energia gerada, assim como os estudos efetuados por Gleick (1992) e Kibler & Tullos (2012).

Além dos efeitos locais, sinérgicos e cumulativos, a avaliação das questões sócio-ambientais envolvendo empreendimentos hidrelétricos de qualquer porte também deve levar em consideração mudanças possíveis nos usos do solo e mudanças climáticas, sempre no contexto holístico da bacia hidrográfica, com suas particularidades, como biodiversidade e produtividade pesqueira, em seu planejamento estratégico (WINEMILLER et al., 2016).

Questões como incertezas climáticas e destino das estruturas após a vida útil são relevantes em uma avaliação de longo prazo, pois empreendimentos onde se tem uma geração muito pequena de energia, com impacto significativo nas questões ambientais e sociais, não havendo um equilíbrio no custo-benefício sócio-ambiental,

poderão ainda deixar um passivo ambiental estrutural ao findar sua utilidade, seja por questões ambientais como mudanças climáticas, gestão da bacia hidrográfica como assoreamento, ou sistema obsoleto.

Segundo Lovett (2014), nas últimas duas décadas os Estados Unidos vem gastando dezenas de milhões de dólares na remoção de barragens, pois cerca de metade das aproximadamente 85.000 existentes já não servem a sua finalidade e os custos para reativação e exigências ambientais não são viáveis economicamente. Esse contexto tem levado a um número crescente de remoções de barragens, a maioria com cerca de 100 anos de idade e de pequenas alturas (5 metros), mas outras com até 32 metros.

Há também investimentos em estudos de regulação adequada do fluxo ambiental e regime térmico a jusante (OLDEN et al., 2014; OLDEN & NAIMAN, 2010) e re-operacionalização de usinas (WATTS et al., 2011), visando reduzir os impactos ambientais já estabelecidos. Assim como ferramentas de gestão, como a proposta por Poff et al. (2011), que descrevem uma metodologia para avaliação da sustentabilidade de empreendimentos hidrelétricos frente as incertezas climáticas e hidrológicas.

O Brasil possui o terceiro maior potencial de geração de energia hidrelétrica viável do mundo (818 TWh/a), ficando atrás somente da China (1.753 TWh/ano) e Rússia (852 TWh/a). Deste potencial o país utiliza 48% do total e tem feito vários investimentos para aumentar essa marca, sendo o segundo país no ranque de cinco, que mais ampliou a capacidade hidrelétrica (8,5%) em 2014. A China (27%) foi o primeiro e logo atrás do Brasil ficaram os Estados Unidos (7,5%), Canadá (7,3%), Rússia (4,5%) e Índia (4,3%), que juntos representaram cerca de 60% da capacidade instalada global até o final de 2014. Fruto desses investimentos o país adicionou a sua matriz energética no referido ano 3,3 GW, incluindo 138 MW pertinentes a hidrelétricas de pequeno porte (< 30 MW) de capacidade. O Brasil é um dos líderes tanto em capacidade instalada quanto em novas adições de capacidade, sendo que a energia hidrelétrica é a principal fonte do sistema de energético do país (64,8%) (WEC, 2015; REN 21,2015; ANEEL, 2016).

Além de estratégias internas, o Brasil também é defensor da instalação de projetos hidrelétricos pelo mundo, incluindo as PCHs, considerando os inúmeros avanços em relação a sustentabilidade desse tipo de projeto, conforme apresentado na Reunião Ministerial sobre energia limpa no Fórum das Maiores Economias (MEF), coordenado pela IEA (Agência Internacional de Energia). A apresentação teve o propósito de promover a hidroeletricidade em países em desenvolvimento e motivar agências multilaterais de financiamento e bancos de desenvolvimento regionais a considerar a hidroeletricidade sustentável em seus portfólios de possíveis soluções energéticas para esses países (WEC, 2015), mesmo não estando dentre os principais emissores de gases do efeito estufa do mundo, como a China (29%), Estados Unidos (16%), União Européia (11%), Índia (6%), Rússia (5%) e Japão (4%) (OLIVIER et al., 2012).

2.2.1 - Legislação e outros

A definição de PCH adotada atualmente pelo Brasil compreende empreendimentos com potência instalada entre 3 e 30 MW e área do reservatório de até 13 km², segundo a Resolução 637/2015 da ANEEL (BRASIL, 2015). Além desta caracterização, há também particularidades na parte estrutural, como a Queda do Projeto, que está relacionada com a altura entre o nível d'água do reservatório e do rio a jusante das turbinas (ELETROBRÁS, 2000). Quanto maior este desnível, maior eficiência energética e teoricamente menor área alagada pelo reservatório. A redução desta área tende a influenciar positivamente as outras perturbações sócio-ambientais inerentes ao processo de formação e operação do reservatório. PCHs de Baixa Queda têm desnível inferior a 25 m, as de Média Queda entre 25 e 130 m e Alta Queda altura superior a 130 m, segundo ELETROBRÁS (2000).

No Brasil a definição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH) foi publicada em 1982 através do Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas pela ELETROBRÁS, no qual foram estabelecidos os seguintes critérios de enquadramento: *i)* potência instalada total entre 1,0 MW e 10 MW; *ii)* a capacidade do conjunto turbina-gerador entre 1,0 MW e 5,0 MW; *iii)* sem obras em túneis (conduto adutor, conduto forçado, desvio de rio, etc.); *iv)* altura máxima das estruturas de barramento do rio (barragens,

diques, vertedouro, tomada d'água, etc.) iguais ou inferiores a 10 m; e v) vazão de dimensionamento da tomada d'água igual ou inferior a 20 m³/s. No mesmo ano em 24 de novembro foi publicada a Portaria DNAEE 109, que ratificou os critérios e adicionou que a operação deve ser a fio d'água ou no máximo com regularização diária (ELETROBRÁS, 2000).

Em 1987, o DNAEE através da Portaria 136 de 06/10/87 definiu critérios menos rígidos na definição da categoria PCH, restrito a potência instalada menor ou igual a 10 MW e igual ou menor a 5MW por unidade geradora.

Em 1998, a Lei 9.648 de 27/05/98 ampliou potência instalada em PCHs para até 30 MW.

A Resolução 394 da ANEEL de 04/12/98 estabeleceu que os aproveitamentos com características de PCH são aqueles que têm potência entre 1 e 30 MW e área inundada de até 3,0 km². Áreas maiores poderiam ser enquadradas com a deliberação da Diretoria da ANEEL, considerando as especificidades regionais.

Em 2003, a Resolução da ANEEL 652 de 09/12/2003, especifica os critérios para enquadramento de reservatórios superiores a 3 km² e iguais ou inferiores a 13 km².

Em 2015, Lei 13.097/2015 de 20/01/15 e a Resolução 673 da ANEEL (04/08/15) caracterizaram PCH como empreendimento com potência superior a 3 MW e igual ou inferior a 30MW e com área de reservatório de até 13 km², a qual poderá ser extrapolada se o reservatório for de regularização, no mínimo, semanal ou cujo dimensionamento foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica.

Além da flexibilização contínua dos critérios para caracterização de PCHs ao longo do tempo (Figura 1), também houve fomento no campo econômico, com a criação em 2002 do Programa de Incentivos as Fontes Alternativas (PROINFA), que assegura compra de longo prazo da eletricidade a ser produzida por fontes renováveis, especificamente PCHs, biomassa e eólica, e estabelece linhas de crédito no BNDES para o financiamento dos empreendimentos a juros baixos. A região Centro Oeste, principalmente o estado de Mato Grosso, se destacou no panorama

nacional em relação as PCHs, com 25 empreendimentos financiados na primeira etapa do projeto com previsão de geração total de 498,94MW, inclusive na PCH São Lourenço, um dos objetos desse estudo (MME, 2015).

Esses fomentos tiveram motivações em acordos internacionais, como a participação do Brasil no Protocolo de Quioto e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) em 1997, beneficiando as PCHs, por serem consideradas menos impactantes e poluentes, frente aos seus efeitos sobre mudanças climáticas globais, e por proporcionar o desenvolvimento sustentável nos países em desenvolvimento. Internamente, a crise energética de 2001 enfrentada pelo Brasil, fez com que o governo investisse na ampliação do parque gerador e na diversificação das fontes de geração de eletricidade da matriz nacional, assim como o PROINFA (MOREIRA & GIOMETTI, 2008).

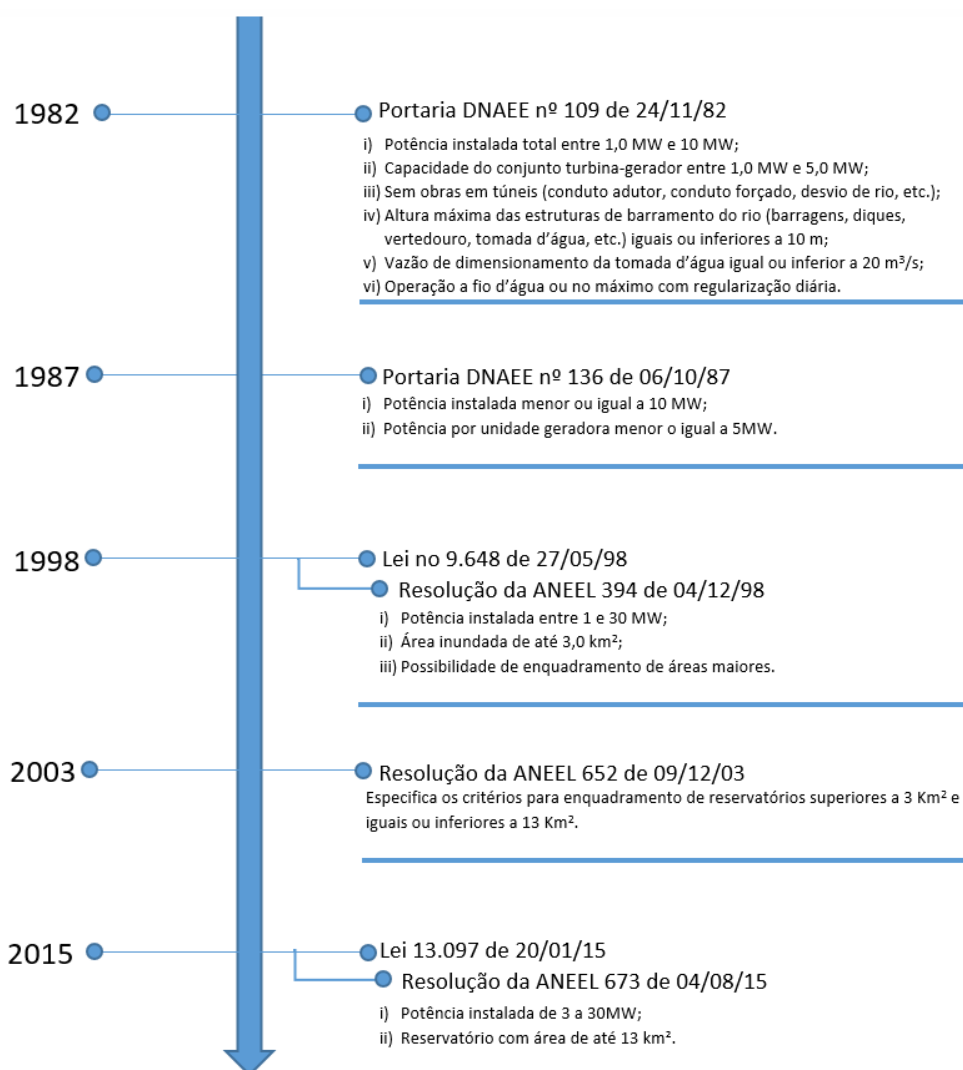


Figura 1. Linha do tempo para os critérios de caracterização de PCHs no Brasil.

Neste mesmo cenário internacional, mas com uma forte economia, a China foi bem mais flexível na ampliação da definição de Pequena Central Hidrelétrica, a qual migrou a capacidade de geração de 0,5 MW para 50 MW nas últimas seis décadas, referencial superior ao adotado pela Europa (10MW), Estados Unidos e Índia (25MW) e Brasil (30MW) (HENNING et al. 2013), somente equiparado ao Canadá (WEC, 2007). A Suécia é o país mais restritivo, com 1,5 MW de capacidade de geração para PCHs (PENICHE, 2004).

A classificação de Pequena Central Hidrelétrica é feita a partir de critérios adotados internamente pelos países, que divergem em sua maioria do referencial

adotado pela Agência Internacional de Energia e Comissão Internacional de Barragens (10MW; IEA,2010; WCD & KLUNNE, 2010).

A matriz energética hidráulica da China conta atualmente com 98,6% de usinas hidrelétricas de pequeno porte, fomentada principalmente por Programas de eletrificação rural, por grandes polêmicas em relação a construção de grandes usinas, pela grande demanda rural por energia, em investimentos do MDL, na disponibilidade de tecnologia de ponta e excelente integração com a rede elétrica de distribuição (HENNING et al. 2013). E assim como no Brasil foram financiadas principalmente por capital privado, mas com incentivo do governo.

Paralelamente, a ampliação da capacidade de geração de energia das PCHs para o patamar 50MW na China favoreceu os usos múltiplos dos empreendimentos, que também podem exercer funções como controle de enchentes, irrigação e abastecimento público. As PCHs chinesas são divididos em três tipos: i) Fio d'água; ii) Ajustável e iii) Irrigação (HENNING et al., 2013).

No Brasil, as PCHs podem ser classificadas por capacidade de regulação do regime de fluxo, conforme ELETROBRÁS (2000):

- Fio d'água: as vazões de estiagem do rio são iguais ou maiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima prevista. As barragens são, normalmente, baixas, pois têm a função apenas de desviar a água para o circuito de adução e com áreas inundadas pequenas.
- Acumulação, com regularização diária do reservatório: as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessária para fornecer a potência para suprir a demanda máxima do mercado consumidor e ocorrem com risco superior ao adotado no projeto. Nesse caso, o reservatório fornecerá o adicional necessário de vazão regularizada.
- Acumulação, com regularização mensal do reservatório: as vazões médias mensais no seu dimensionamento energético, analisando as vazões de estiagem médias mensais, pressupõe-se uma regularização mensal das vazões médias diárias, promovida pelo reservatório.

As PCHs no Brasil podem ser ainda classificadas quanto à potência instalada e à queda de projeto, como mostrado na Tabela 1.

As centrais com alta e média queda são instaladas onde existe um desnível natural elevado, a casa de força fica situada, normalmente, afastada da estrutura do barramento. A concepção do circuito hidráulico de adução envolve, rotineiramente, canal ou conduto de baixa pressão com extensão longa.

Nas centrais de baixa queda, a casa de força fica, normalmente, junto da barragem, sendo a adução feita através de uma tomada d'água incorporada ao barramento.

Tabela 1 Classificação atual das PCHs no Brasil em relação a potência e queda do projeto.

Classificação	Potência- P (MW)	Queda do projeto – H_d (m)		
		Baixa	Média	Alta
Pequena Central Hidrelétrica	$3 < P \leq 30$	$H_d < 25$	$25 < H_d < 130$	$H_d > 130$

FONTE: Eletrobrás, 2000. Adaptado pelo autor com base na Resolução 673 da ANEEL (04/08/15).

Apesar de também não haver um consenso sobre a queda do projeto, a Associação Européia de Pequenas Hidrelétricas adota características semelhantes as do Brasil, de 2 a 30 metros para baixa, 30 a 100 metros para média e superior a 100 metros para alta (PENICHE, 2004). Já na Índia as alturas são menores, como menor de 3 metros, 3 a 40 metros e superiores a 40 metros, respectivamente (VENKATESWARAN, 2007).

2.2.1 - Contexto regional

A matriz energética brasileira conta com 64,8% de energia gerada por hidrelétricas e 3,4% deste percentual são de PCHs, o que corresponde a 458 unidades em operação. Além destas, mais 160 empreendimentos estão em construção ou têm concessão (ANEEL, 2016).

Do potencial hidrelétrico nacional, estima-se que 30% são explorados em proporções equivalentes nas regiões Sul (46,3%), Nordeste (42%) e Centro-Oeste

(41,5%) e, em menor expressão, no Sudeste (28,2%) e Norte (8,4%). O potencial brasileiro para PCHs é de 22.500 MW com utilização de 18% desse total e destaque para os estados de Minas Gerais e Mato Grosso, respectivamente (FERREIRA et al., 2016).

O Estado de Mato Grosso possui um total de 121 empreendimentos hidrelétricos em operação com potência instalada total de 2.045 MW, o que corresponde a 70% do total de energia elétrica gerada no estado. Dentre estes empreendimentos hidrelétricos, 52 estão localizados na BAP e 56% são PCHs, assim como todos os empreendimentos hidrelétricos em construção e previstos pertencem a esta categoria (ANEEL, 2016), o que é motivo de preocupação, uma vez que pode trazer impactos à maior planície alagável do mundo, o Pantanal (BRASIL, 2006; CALHEIROS et al. 2009; FANTIN-CRUZ et al. 2015; FIGUEIREDO & CRUZ-FANTIN, 2014).

Na bacia do Alto São Lourenço, estão em operação sete PCHs, sendo seis com Canal de desvio instaladas nas sub-bacias do Tenente Amaral, que conta com cinco empreendimentos (PCHs Pequi, Sucupira, Cambará, Embaúba e Rio Tenente Amaral), uma na sub-bacia do Ibó (PCH Sete Quedas Altas, também com canal de desvio) e uma no canal principal do rio São Lourenço (PCH São Lourenço) com reservatório típico (MATO GROSSO, 2016; Tabela 2).

Nesta bacia mais três empreendimentos estão em fase de instalação (PCHs Água Branca, Água Prata e Água Brava) na sub-bacia do Prata, seis estão em fase de estudos de viabilidade (PCHs Água Clara, Beleza, Mangaba, Europa, Buriti e Jaciara) e duas obtiveram Licença Prévia mas ainda não se instalaram, sendo que todas tem canal de derivação, exceto a PCH Jaciara (MATO GROSSO, 2016), conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 Situação atual e características das Pequenas Centrais Hidrelétricas na bacia do Alto São Lourenço.

Situação atual	PCH	Arranjo	Município/UF	Drenagem	Coordenadas	Início da operação	Potência instalada (MW)	Área do Reservatório (ha)	Área de drenagem (Km ²)
Operação	Pequi	CD	Jaciara/MT	Saia Branca	16°00'11,70"S/55°06'55,40"W	05.12.08	6,0	6	327
	Sucupira	CD	Jaciara/MT	Saia Branca	15°59'30,80"S/55°05'14,30"W	18.10.08	4,5	7,1	356
	Cambará	CD	Jaciara/MT	Tenente Amaral	15°58'12,35"S/ 55°05'17,35"W	21.12.12	3,5	0,18	332
	Embaúba	CD	Jaciara/MT	Tenente Amaral	15°58'57"S/55°04'58"W	25.08.08	4,5	0,08	335
	Tenente Amaral	CD	Jaciara/MT	Tenente Amaral	15°58'12"S/55°02'11,7"W	30.12.75	2,56	0,0099	693
	São Lourenço	R	Juscimeira/MT	São Lourenço	16°13'00"S/ 54°56'00"W	28.04.09	29,1	1290	5329
	Sete Quedas Altas	CD	Juscimeira/MT	Ibó	16°18'18,7"S/ 55°03'22,16"W	28.12.10	18	39,2	392
Implantação	Água Branca	CD	Juscimeira/MT	Prata	16°06'12"S/ 54°59'23"W	-	10	28,48	440
	Água Prata	CD	Juscimeira/MT	Prata	16°05'40"S/ 55°02'24,00"W	-	13,3	18,13	333
	Água Brava	CD	Juscimeira/MT	Prata	16°06'12"S/ 54°59'23"W	-	13,05	Sem	357
Em estudo	Água Clara	CD	Juscimeira/MT	Prata	16°06'12"S/ 54°59'23"W	-	4	56	327
	Beleza	R	Juscimeira/MT	Beleza	16°11'03,35"S/ 54°37'38"W	-	6,5	36,32	93
	Mangaba	CD	Jaciara/MT	Tenente Amaral	15°58'50,90"S/55°02'51,20"W	-	3,34	19,09	737
	Europa	CD	Juscimeira/MT	Ibó	16°19'37,00"S/ 55°06'07,00"W	-	4,5	26,36	237
	Buriti	CD	Jaciara/MT	Saia Branca	16°01'07,00"S/55°08'28,00"W	-	1	16,78	319
	Jaciara	R	Jaciara/MT	São Lourenço	16°02'12,20"S/ 54°56'45,16"W	-	10	341	4158
Parado	Ibó	CD	Juscimeira/MT	Ibó	16°19'28"S/ 55°02'33"W	-	7,9	31,5	424
	Ibó-Guazu	CD	Juscimeira/MT	Ibó	16°19'28"S/ 55°02'33"W	-	11,8	30	388

Legenda: R – Reservatório e CD – Canal de Derivação.

3.0 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Região Hidrográfica do Paraguai abriga o Pantanal Mato-grossense, uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta, declarado como Patrimônio Nacional, Reserva da Biosfera da Unesco e Patrimônio Natural da Humanidade, tornando-se a terceira maior reserva do mundo no gênero. A dinâmica estabelecida entre o planalto (cabeceiras) e a planície (Pantanal) faz com que sejam mantidos os pulsos de inundação dos rios que compõem o Pantanal, com interdependência entre as fases de cheia e seca, ora contribuindo para a produtividade do sistema terrestre, ora para a produtividade do sistema aquático. Dinâmica essa de extrema importância para a sobrevivência dos ecossistemas terrestres e aquáticos regionais e sua diversidade (MMA, 2006).

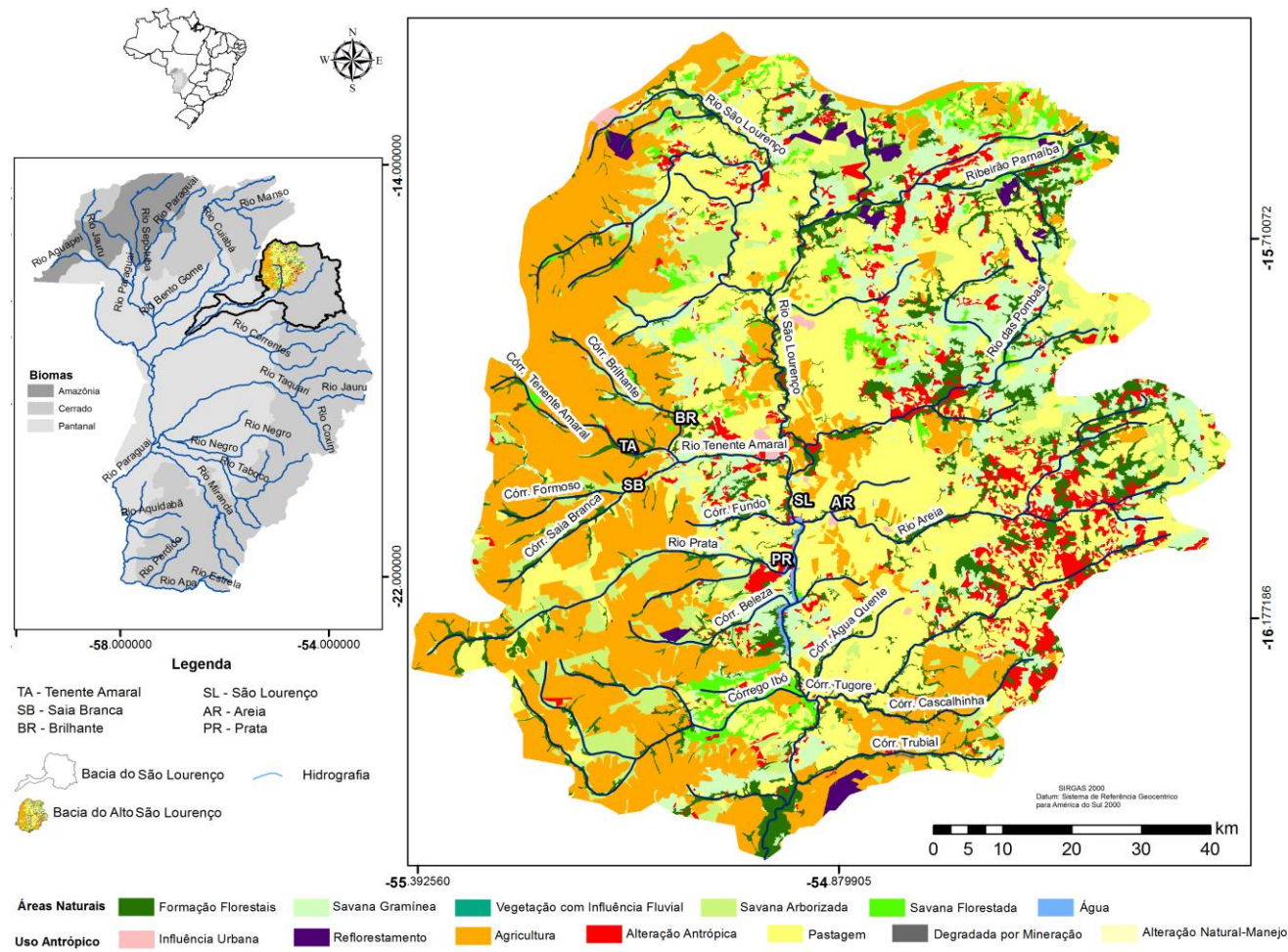
O presente estudo foi realizado na bacia do São Lourenço, que faz parte da Bacia do Alto Paraguai (BAP) em território brasileiro, que ocupa uma área de 27.726,00 km² (MMA, 2006), tendo as principais nascentes localizadas nos planaltos dos Guimarães e do Taquari-Itiquira. O rio São Lourenço tem como seus principais afluentes pela margem esquerda os rios Pombas e Córrego Prata e pela margem direita os rios Vermelho e São Pedro. Localiza-se no sudeste do Estado de Mato Grosso, entre as coordenadas geográficas 15°22'15"S e 17°16'22"S e 53°37'3,6"W (BRASIL, 2006; MATO GROSSO, 2014). No presente estudo os rios avaliados foram Saia Branca, Brilhante, Tenente Amaral, Areia, Prata e São Lourenço (Figura 2).

A água da Bacia do Alto São Lourenço é utilizada para a geração de energia elétrica, uso não-consultivo considerando a manutenção do quantitativo disponível, e para as atividades relacionadas ao agronegócio, como dessedentação animal, irrigação e uso industrial, neste último caso na Usina Pantanal de açúcar e álcool de Jaciara. Algumas propriedades rurais utilizam a água superficial para uso doméstico, mas a água subterrânea é a principal fonte de abastecimento urbano e rural na bacia.

Dentre as principais pressões antrópicas que atuam na região do planalto desta bacia estão o desmatamento para plantio de soja e cana-de-açúcar e formação de pastos, além de um novo desafio para os órgãos gestores, a implantação de obras de infra-estrutura hidrelétrica, consideradas com potencial de interferir no pulso natural de inundações da planície pantaneira (BRASIL, 2006; Figura 2).

A área de estudo foi classificada pelo projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai, Planejamento Ecorregional do Pantanal, coordenado pela The Nature Conservancy (TNC), como área prioritária para conservação, onde deveriam ser priorizados os ecossistemas aquáticos e sua biota como elemento-chave à manutenção dos processos ecológicos responsáveis pela biodiversidade da Região Hidrográfica (Grupo Ecológico 3, Piquiri/São Lourenço e Área 26: Rio São Lourenço). De acordo com a proposta, a conservação dos ecossistemas aquáticos dessas áreas, se manejado adequadamente iria garantir a sobrevivência em longo prazo das espécies, das comunidades vegetais e dos sistemas ecológicos, além da ocorrência dos processos ecológicos-chave responsáveis pela manutenção da viabilidade dos alvos no Pantanal e Região Hidrográfica (MMA, 2006). Atualmente as únicas Unidades de Conservação em Jaciara, município inserido nesta bacia, são a Estrada Parque Cachoeira da Fumaça (1.110,46 ha) e Parque Municipal de Jaciara (64,33 ha) (MATO GROSSO, 2016).

A região estudada pertence à Eco-região do Cerrado (Savana), Floresta estacional Semi-decidual e outras florestas (MMA, 2006; Figura 2). Segundo Köppen, o clima predominante é Aw – Clima de Savana –, com temperaturas médias anuais variando entre 22,5 e 26,5°C. O mês de novembro é o mais quente (média de 27°C) e o de julho, o mais frio (média de 21°C). A precipitação média anual é de 1.398 mm, variando entre 800 e 1.600 mm, sendo os maiores valores observados nas áreas de planalto. O período chuvoso ocorre entre outubro e abril, devido aos ventos de quadrante norte da massa equatorial continental (BRASIL, 2006).



FONTE: WWF, 2015 (adaptado pela autora).

Figura 2. Mapa de vegetação e usos do solo da bacia do Alto São Lourenço.

A bacia do Alto São Lourenço, na área de drenagem do presente estudo, se desenvolve sobre as formações e solos abaixo descritos, conforme os Mapas Geológico e de Solos (PCBAP, 1997).

Em relação a geologia, a bacia do Alto São Lourenço é bastante heterogênea (Figura 3), as principais são descritas abaixo:

Tndl – Coberturas Detrito-Lateríticas Neogênicas: Unidade edafo estratigráfica com três horizontes: Superior – constituído por solo areno-argiloso, marrom avermelhado, com concreções ferruginosas; Médio – formado por espessos lateritos ferruginosos, concrecionários com seixos de quartzo; Inferior – areias inconsolidadas, argilas de cores variegadas, concreções limoníticas e produtos de alterações de rochas adjacentes (DEL'ARCO et al. 1982).

Dpg: Formação Ponta Grossa: Siltitos e folhelhos de cor cinza e violácea, com intercalações subordinadas de arenitos muito finos (VIEIRA, 1965).

Sc – Formação Coimbra: Unidade constituída por arenitos róseos, grosseiros, predominantemente quartzosos, bem acamados com estratificação plano-paralela e localmente estratos cruzados. Apresenta cimento sílico-ferruginoso e frequentes níveis conglomeráticos.

CPa – Formação Aquidauana: Constituída essencialmente por uma sequência sedimentar com intensa variação faciológica, predominantemente arenosa e de coloração vermelho-arroxeadada, na qual distinguem-se dois níveis: superior – formado por arenitos com estratificação cruzada e siltitos vermelho-tijolo, finamente estratificados; Médio, com arenitos finos a muito finos, estratificação plano-paralela e intercalações de siltitos, folhelhos e diamictitos subordinados; Inferior, contendo arenitos avermelhados, com lentes de diamictitos, intercalações de argilitos, arenitos grosseiros esbranquiçados, arcóseos e conglomerado basal.

Kb – Grupo Bauru: Constituída por arenitos as vezes calcíferos, vermelhos e róseos de granulação média a grosseira, mal classificados com grânulos e seixos esparsos, com níveis conglomeráticos muitas vezes calcíferos. Lentes do conglomerados de matriz argilosa, vermelha e também níveis de sílex.

A pedologia da bacia do Alto São Lourenço indica o predomínio de solos com composição arenosa, como Areias Quartzosas/Neossolo Quartzarênico, Podzólico/Argissolo e Latossolos (Figura 4), os principais são descritos abaixo, conforme PCBAP (1997) e Santos et al. (2006):

Neossolo Quartzarênico, são solos sem contato lítico dentro de 50cm de profundidade, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo) (SANTOS et al., 2006).

Areias Quartzosas álicas/ Neossolo Quartzarênico: Solos minerais, não-hidromórficos, pouco evoluídos, de textura arenosa em toda a extensão do perfil e sequência de horizontes A, C. Apresentam horizonte A moderado e horizonte C de cores claras e avermelhadas em função do material de origem. São permeáveis, excessivamente drenados e sem estrutura desenvolvida, ou muito fracamente, sendo assim constituídos basicamente por grão simples. São também muito baixos os valores de soma de bases, além de, na maioria das vezes, ser levada a saturação por alumínio (PCBAP, 1997).

Esses fatores, aliados a baixa capacidade de retenção de umidade, intensa lixiviação e elevada susceptibilidade à erosão, sobretudo quando sujeitos a fluxo de água concentrado, que pode provocar a instalação de grandes voçorocas, tornam estes solos praticamente inviáveis para usos agrícolas, sendo sua utilização restrita a pastagens, desde que bem manejadas PCBAP (1997).

O grupo Argissolo compreende solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos,

Plintossolos ou Gleissolos. São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este. São forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa, predominantemente cauliniticos e com relação molecular Ki, em geral, variando de 1,0 a 3,3 (SANTOS et al., 2006).

Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico/ Argissolo: Solos minerais, não-hidromórficos, com horizonte B textural de cores vermelhas e amarelas e teores de Fe_2O_3 normalmente inferiores a 11%. Apresentam sequência de horizontes A, Bt, C ou A, E, Bt, C, podendo o horizonte A ser de qualquer tipo, exceto chernozêmico, caso o horizonte Bt contenha argila de atividade alta (Ta), e húmico, quando além de Ta o solo seja álico. Apresentam grande variação nas características físicas, químicas e morfológicas. A textura é em geral arenosa/média e média/argilosa, em alguns casos com presença de cascalho. São profundos ou pouco profundos (PCBAP, 1997).

Os solos do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo/Argissolo, estão presentes em cerca de 24,1% do Estado de Mato Grosso, são minerais, profundos, não hidromórficos, com horizontes B textural, de cor vermelho-amarelada e distinta diferenciação entre os horizontes no tocante a cor, estrutura e textura, principalmente. De uma maneira geral, pode-se dizer que os Podzólicos são solos bastante susceptíveis à erosão, sobretudo quando há maior diferença de textura do A para o B, presença de cascalhos e relevo mais movimentado com fortes declividades. Fisicamente, possuem teor de argila variando entre 59% e 73%. São solos bem drenados a moderadamente drenados. Em relação aos aspectos químicos são álicos com saturação por bases entre 8% e 11% e saturação por alumínio entre 79% e 84% e valores de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ entre 4,50 e 5,20. Apresentam, em geral, média capacidade de troca catiônica em torno de 7 cmolc.kg^{-1} (EMBRAPA, 2015).

O grupo dos Latossolos compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de

intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, e têm capacidade de troca de cátions da fração argila baixa, inferior a 17cmolc/kg de argila sem correção para carbono, comportando variações desde solos predominantemente cauliníticos, com valores de K_i mais altos, em torno de 2,0, admitindo o máximo de 2,2, até solos oxídicos de K_i extremamente baixo. Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram solos que têm cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenada, indicativa de formação em condições, atuais ou pretéritas, com um certo grau de gleização. São normalmente muito profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a um metro. Em distinção às cores mais escuras do A, o horizonte B tem cores mais vivas, variando desde amarelas ou mesmo bruno-acinzentadas até vermelho-escuro-acinzentadas, nos matizes 2,5YR a 10YR, dependendo da natureza, forma e quantidade dos constituintes minerais - mormente dos óxidos e hidróxidos de ferro - segundo condicionamento de regime hídrico e drenagem do solo, dos teores de ferro no material de origem e se a hematita é herdada ou não. São, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos (SANTOS et al, 2006).

Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico/Latossolo: Solos minerais, não-hidromórficos, caracterizados por possuírem horizonte B latossólico, virtualmente sem atração magnética, com cores na matiz 4YR ou mais amareladas, associadas a teores de Fe_2O_3 relativamente baixos – normalmente entre 7 e 11% -, e índice K_i inferior a 1,5 (CAMARGO et al., 1987). São solos em geral muito profundos, de elevada permeabilidade, bem acentuadamente drenados, apresentando sequência de horizontes A, Bw, C, com reduzido incremento de argila em profundidade. Apresentam horizonte A moderado, textura média ou argilosa e conteúdo de bases trocáveis muito baixo, por vezes com saturação por alumínio elevada, baixa fertilidade natural. Devido às suas boas condições físicas e topográficas são também aptos à utilização intensiva (PCBAP, 1997).

Latossolo Vermelho-Escuro/Latossolo: Cobrem 23,63% do Estado de Mato Grosso, são minerais, profundos, bastante intemperizados, caracterizados por

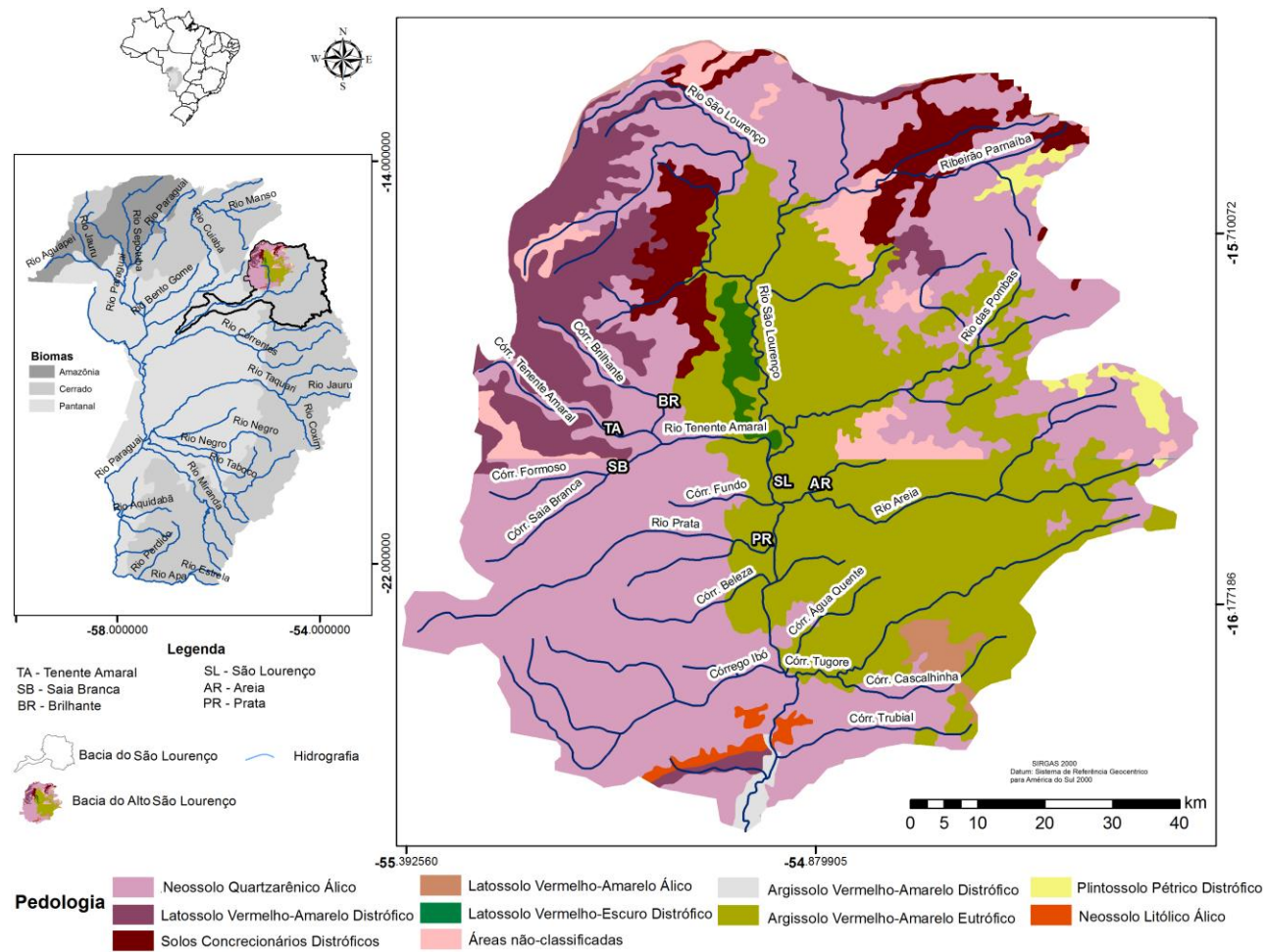
apresentar um horizonte B latossólico, de cor vermelho-escura e possuem teores de Fe_2O_3 entre 8 e 18%. Apresentam boa drenagem interna, condicionada por elevada porosidade e homogeneidade de características ao longo do perfil e, em razão disto, elevada permeabilidade. Este fato os coloca como solos de razoável resistência à erosão de superfície. São ácidos e distróficos, ou seja, com baixa saturação de bases, e para os cultivos requerem correção de acidez com calagem e fertilização com nitrogênio, fósforo e potássio (EMBRAPA, 2016).

Grande parte dos minerais existentes, nesses solos, são os secundários, constituintes da fração argila, que podem ser encontrados, na forma silicatos, como a caulinita ou sob a forma de óxidos, hidróxidos e oxiidróxidos de Fe e Al como hematita, goethita, gibbsita e outros. Fisicamente, possuem teor de argila, variando entre 67% e 75%. São solos acentuadamente drenados a bem drenados, com alta permeabilidade de água. Quimicamente, apresentam $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ em torno de 5, sendo os solos fortemente ácidos, pH_{KCl} entre 5 e 6,10, com alumínio trocável (Al^{+3}) entre 0,01 e 0,55 cmolc.kg^{-1} , têm baixa capacidade de troca catiônica (T) entre 1,26 e 2,11 cmolc.kg^{-1} , saturação por bases entre 4% e 49%; saturação por alumínio entre 2% e 58%, classificados como distróficos e ácricos (EMBRAPA, 2000).

O grupo de Plintossolos compreende solos minerais, formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, que se caracterizam fundamentalmente por apresentar expressiva plintitização com ou sem petroplintita na condição de que não satisfaçam os requisitos estipulados para as classes dos Neossolos, Cambissolos, Luvisolos, Argissolos, Latossolos, Planossolos ou Gleissolos. Apesar da coloração destes solos ser bastante variável, verifica-se o predomínio de cores pálidas com ou sem mosqueados de cores alaranjadas a vermelhas, ou coloração variegada, acima do horizonte diagnóstico (plíntico, concrecionário ou litoplíntico). Predominantemente são solos fortemente ácidos, com saturação por bases baixa e atividade da fração argila baixa. Parte dos solos desta classe (solos com horizonte plíntico) tem ocorrência relacionada a terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado e menos freqüentemente ondulado, em zonas geomórficas de depressão. Ocorrem também em terços

inferiores de encostas ou áreas de surgentes, sob condicionamento quer de oscilação do lençol freático, quer de alagamento ou encharcamento periódico por efeito de restrição à percolação ou escoamento de água (SANTOS et al., 2006).

Solos Concrecionários Distróficos/ Plintossolo Pétrico: Apresentam em sua constituição mais de 50% em volume de concreções ferruginosas. O horizonte A é o mais encontrado, com raros casos de A proeminente. Quanto ao horizonte B, os mais comumente encontrados são horizontes B latossólico, horizonte B textural e B incipiente, todos com quantidades elevadas de concreções ferruginosas do tamanho predominante de cascalho, chegando em alguns solos ao tamanho de calhaus. Possuem baixa fertilidade natural e forte impedimento à mecanização imposto pela abundância de frações grosseiras em sua constituição. A utilização como pastagem é a forma de aproveitamento agrícola mais intensiva possível (PCBAP, 1997).



Fonte: PCBAP, 2011 (adaptado pela autora).

Figura 4. Mapa pedológico da bacia do Alto São Lourenço.

Na área de drenagem do Alto São Lourenço estão em operação sete PCHs, sendo seis com canal de desvio instaladas em sub-bacias, principalmente na do Tenente Amaral, que conta com cinco empreendimentos (PCHs Pequi, Sucupira, Cambará, Embaúba e MCH Fazenda Sereno), e uma no canal principal (PCH São Lourenço), sem canal de desvio.

Além destes, mais três empreendimentos estão em fase de instalação (PCHs Água Branca, Água Prata e Água Brava) na sub-bacia do Prata, seis estão em fase de estudos de viabilidade (PCHs Água Clara, Beleza, Mangaba, Europa, Buriti e Jaciara) e duas obtiveram Licença Prévia mas ainda não se instalaram, sendo que todas terão canal de derivação, exceto a PCH Jaciara (MATO GROSSO, 2016), conforme descrito na Tabela 2.

3.2 QUALIDADE DA ÁGUA

As coletas para avaliação da qualidade da água foram realizadas em três eventos entre 2014 e 2015 (Tabela 3). As amostras de cada período foram coletadas em dias consecutivos, sendo 10 dias no período de Transição seco-chuvoso (setembro/outubro/2014) e Chuvoso (março/2015) e sete dias no período Seco (agosto/2015). Dentre os locais de coleta descritos na Tabela 4 e ilustrados da Figura 5, o rio Prata foi amostrado somente nos períodos Chuvoso e Seco. As amostragens foram realizadas tentando diversificar o horário da coleta durante o período de estudo, no intuito de ampliar a representatividade diária em relação as condições ambientais inerentes ao fotoperíodo, alternando coletas matutinas e vespertinas, na medida do possível.

Tabela 3 Datas, períodos e números de amostras de água coletadas na bacia do Alto São Lourenço entre 2014 e 2015.

Data	Período	Número de locais de coleta	Número de amostras/local de coleta	Número de amostras/período
26/09 a 11/10/2014	Transição Seco-Chuvoso	7*	10	70
10 a 22/03/2015	Chuvoso	8	10	80
04 a 11/08/2015	Seco	8	7	56

* O rio Prata não foi amostrado no período de transição seco-chuvoso.

Tabela 4 Descrição dos locais de coleta.

Rio principal	Local de coleta	Sigla	Coordenadas
Tenente Amaral	Rio Brilhante, montante	BR	021L 0706544/8236548
	Rio Saia Branca, montante	SB	021K 0698889/8228101
	Rio Tenente Amaral, montante	TAM	021L 0702904/8233575
	Rio Tenente Amaral, jusante	TAJ	021L 0706097/8231366
São Lourenço	Rio Prata, montante*	PR	021K 0717699/8217630
	Rio Areia, montante	AR	021K 0722552/8225362
	Rio São Lourenço, montante	SLM	021K 0720432/8225363
	Rio São Lourenço, jusante	SLJ	021K 0720977/8203646

* Amostragem não realizada no período de transição seco-chuvoso.

As variáveis medidas em campo foram: temperatura da água (°C), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$, corrigida a 25°C), pH, sólidos dissolvidos (mg/L) e oxigênio dissolvido (mg/L e % saturação) com sonda multiparâmetros Hanna HI 98196 no período de Transição seco-chuvoso e YSI Professional Plus (Pro Plus) nos dois seguintes.

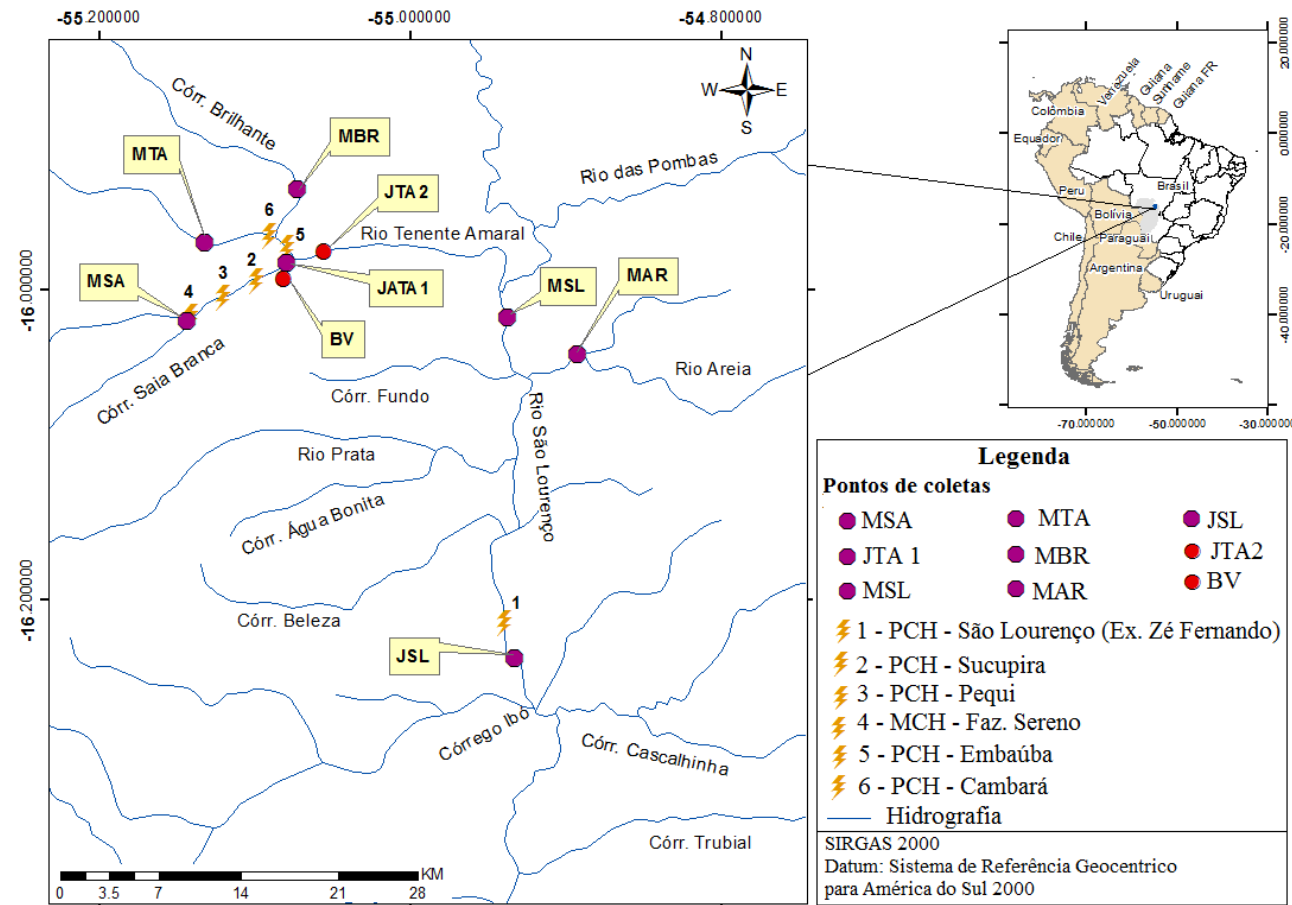


Figura 5. Hidrografia, localização dos pontos de coleta e hidrelétricas da área de estudo na bacia do Alto São Lourenço. Círculos cor de rosa, representam os pontos de coleta de água e medição de vazão. Círculos vermelhos, utilizados somente para ajustar os dados de vazão líquida.

As análises laboratoriais, assim como as coletas, foram realizadas seguindo as normas da APHA (*Standard Methods*, 22^a ed., 2012), CETESB (2011) e ABNT (1992), conforme a Tabela 5.

Tabela 5 Síntese dos métodos de coleta e análise de água.

Parâmetro	L.D.	Armazenamento da amostra-coleta	Preservação da amostra	Método analítico
Cor verdadeira	2,0	Frasco de polietileno	Refrigeração	SMWW 2120 C - D
Turbidez	0,01			SMWW 2130 B
Sólidos suspensos	1,0			SMWW 2540 D
Ferro total e dissolvido*	0,01			SMWW 3500- Fe B
Nitrato (NO_3^- -N)	0,01			ABNT – NBR 12620
Demanda Química de Oxigênio - DQO	1,0	Frasco de vidro âmbar	Ácido sulfúrico	SMWW 5220 D
Nitrogênio Kjeldahl total e dissolvido*	0,01			ABNT – NBR 13796
Nitrogênio amoniacal (NH_4 -N)	0,01			SMWW 4500 NH_3F , adaptado
Fósforo total e dissolvido (PO_4^{3-} -P)*	0,01			SMWW 4500P - E
Carbono orgânico dissolvido	1,0	Frasco de vidro âmbar	Ácido fosfórico	SMWW 5310 C

* Análises realizadas somente nas amostras dos períodos chuvoso e seco. L.D.: Limite de detecção do método.

3.3 QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO ALTO SÃO LOURENÇO

A caracterização da quanti e qualitativa da água da Bacia do Alto São Lourenço foi realizada utilizando os dados dos pontos de coleta a montante das hidrelétricas, dos corpos d'água Brilhante (BR), Saia Branca (SB), Tenente Amaral Montante (TAM), Areia (AR), Prata (PR) e São Lourenço Montante (SLM).

Os resultados obtidos foram comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 em seu artigo 15, para corpos d'água Classe 2.

Os resultados do rio São Lourenço foram comparados com os disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso entre

2010 e 2011 no rio São Lourenço, a 32.12Km de distância a jusante do ponto da PCH São Lourenço.

3.4 PCHs

O presente estudo avaliou a qualidade da água dos pontos de montante e jusante de quatro PCHs de Média Queda na sub-bacia do rio Tenente Amaral, sendo duas em sequência no rio Saia Branca (PCHs Pequi e Sucupira), além de uma MCH (Fazenda Sereno), e mais duas PCHs também em sequência no rio Tenente Amaral (PCHs Cambará e Embaúba), as quais serão abordadas como Complexo Tenente Amaral (CTA), e a PCH São Lourenço, de Baixa Queda.

3.5 HIDROSEDIMENTOLOGIA

As medições de vazão líquida foram realizadas nas mesmas seções de coleta de água, com duas medições nos períodos de Transição Seco-Chuvoso e Chuvoso e uma no período Seco. Nestas seções foram instaladas réguas limnimétricas para acompanhamento do nível da água em todos os dias em que as coletas de água foram realizadas. A vazão líquida foi determinada pelo método da meia-seção, descrito em Carvalho (1976), onde a vazão total é dada pelo somatório dos produtos da velocidade para cada vertical pela área de influência de cada uma. A partir desses dados foi construída a curva chave para cada seção, visando estimar a dinâmica hidrológica nos intervalos avaliados e sua relação com a qualidade da água.

A análise granulométrica do sedimento foi realizada conforme a NBR 7181 (ABNT, 1982).

O Tempo de Retenção Hidráulico (TR) dos reservatórios para os dias das coletas foi calculado conforme a fórmula a seguir: $TR = V_t / Q * 86400$, sendo TR= tempo de residência em dias; V_t = volume total do reservatório, em m^3 ; Q= descarga final diária média, em $m^3.s^{-1}$.

O tempo de concentração (t_c) de cada bacia estudada foi retirado dos respectivos relatórios ambientais, conceituado como o tempo de percurso da água precipitada desde o ponto cinematicamente mais afastado da bacia hidrográfica até a secção de referência.

A quantificação do acúmulo superficial de sedimentos nas áreas de transição rio-reservatório das PCHs Pequi e São Lourenço, antes e após a construção das usinas, foi calculada através de imagens disponibilizadas pelo Google Earth Pro, versão 7.1.5.1557. As imagens utilizadas são descritas na Tabela 6.

Tabela 6 Data das imagens do Google Earth Pro, utilizadas para quantificação das áreas de depósito dos sedimentos a montante das PCHs Pequi e São Lourenço.

Rio	Usina	Operação	Data das imagens	
			Pré barramento	Pós barramento
Saia Branca	PCH Pequi	05/12/2008	27/05/2005	06/09/2010
Areia			17/05/2006	06/09/2010
Prata			17/05/2006	06/09/2010 e 03/03/2013
Beleza			17/05/2006	03/03/2013 e 29/01/2014
São Lourenço	PCH São Lourenço	28/04/2009	17/05/2006	06/09/2010 e 29/01/2014

FONTE: Medidas feitas a partir das imagens do Google Earth Pro, versão 7.1.5.1557.

3.6 OUTRAS MÉTRICAS

Os dados de temperatura do ar foram obtidos pela estação climatológica da cidade de Rondonópolis/MT (OMM:83410), disponíveis na página oficial do INMET (www.inmet.gov.br), e os de precipitação nos pluviômetros instalados nas PCHs Pequi, Sucupira e Cambará para gestão interna.

Alguns dados sobre vazão e as especificações das obras foram obtidos nos Relatórios de Estudos Ambientais e Diagnósticos Ambientais disponibilizados pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA).

Os mapas foram construídos utilizando o programa ArcGis 10.2.1 com base de dados disponibilizados em sites de acesso público como da WWF (base de dados 2015), para vegetação e usos do solo, e MMA para hidrologia, geologia e pedologia (base de dados 2007).

3.7 TRATAMENTO DOS DADOS

A descrição e a análise estatística dos dados foram feitas no *software* R versão 3.2.1 (R Development Core Team, 2015) com a adoção de métodos não-paramétricos, devido a violações dos pressupostos de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) e homocedasticidade (Levene). Neste contexto, a mediana foi adotada como medida de tendência central, acompanhada do intervalo inter-quartil nas análises quanti-qualitativas das variáveis em estudo.

As análises gráficas foram feitas a partir de *boxplot*. Os resultados inferiores ao limite de detecção do método foram trabalhados adotando o próprio limite nas análises gráficas e estatísticas.

O Teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para verificar possíveis diferenças significativas, considerando $\alpha \leq 0.05$. O teste foi aplicado: i) para cada variável em relação aos diferentes períodos de coleta (Transição, Chuvoso e Seco), para avaliação de diferenças sazonais; ii) para cada variável e local de coleta (BR, SB, TA, AR, PR, SL), independente do período, para avaliar diferenças espaciais e iii) para cada variável nos diferentes períodos, para avaliar diferenças espaço-temporais.

Análise de Agrupamento ou *Cluster Analysis* foi utilizada para agrupar os rios avaliados quanto às suas semelhanças hidroquímicas através da homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre os mesmos (REGAZZI, 2000). A padronização foi necessária devido a existência de unidades de medida diferentes, assegurando assim que as variáveis contribuam de forma igualitária. A medida de dissimilaridade utilizada foi a Distância Euclidiana pelo método hierárquico divisivo e o algoritmo de agrupamento foi o método “Ligação Média” ou “UPGMA – Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Averages”.

A validação dos agrupamentos foi feita utilizando o Coeficiente de Correlação Cofenética (ccc), proposto por Sokal & Rohlf (1962), o qual descreve que quanto maior o ccc ou mais próximo a um, melhor é o ajuste entre a matriz de similaridade original e a gerada pelo método adotado, e que coeficientes inferiores a 0,7 indicam a inadequação do método de agrupamento (ROHLF, 1970). Utilizou-se também o método *ad hoc*, uma vez que os resultados do ccc foram muito semelhantes.

No caso de vários tributários contribuintes na mesma PCH, como é o caso das PCHs do Complexo Tenente Amaral e do São Lourenço, a concentração média ponderada pela vazão para cada variável foi adotada para obtenção de um valor representando a mistura dos tributários a montante das PCHs, o qual foi comparado com o valor obtido a jusante, conforme a equação descrita abaixo:

$$x = (v1 * (q1/100)) + (v2 * (q2/100)) + (vn * (qn/100))$$

Sendo, x= média ponderada da variável de interesse; v= a variável no ponto de interesse; q=vazão no ponto de interesse.

A comparação foi feita pelo teste pareado de Friedman, teste não-paramétrico, que analisa a variância de dois fatores por postos e testa a hipótese nula de que as k amostras tenham sido extraídas da mesma população ou de populações com a mesma mediana. A combinação pode ser obtida estudando o mesmo grupo (rio), sob condições diferentes (montante e jusante dos barramentos hidrelétricos) (SIEGEL, 2006), com a finalidade de eliminar fontes externas de variação, de modo que os elementos relacionados sejam semelhantes em relação a diversas características, e que as diferenças observadas na variável de interesse sejam devido exclusivamente a diferenças nos tratamentos aplicados e não a fatores externos.

O teste de Kruskal-Wallis de comparações múltiplas também foi utilizado nas análises espaciais e temporais (precipitação, vazão e temperatura do ar), a fim de verificar se k amostras independentes provêm de populações diferentes, testando a mesma hipótese descrita para teste de Friedman. Em ambos os casos foram consideradas diferenças significativas as que apresentaram nível de significância inferiores a $\alpha \leq 0,05$, para cada variável em relação aos diferentes períodos de coleta (Transição, Chuvoso e Seco) entre montante e jusante.

A comparação de custo-benefício entre os diferentes arranjos de PCHs da Bacia do Alto São Lourenço foi feita com base na relação entre uma determinada característica e a capacidade instalada em MW, baseado no estudo de Kibler & Tullos (2013). Todas as PCHs de Média Queda com canal de desvio (PCHs Pequi, Sucupira, Cambará, Embaúba, Rio Tenente Amaral e Sete Quedas Altas) em operação na bacia tiveram suas características agrupadas e esse conjunto foi identificado como Complexo Alto São Lourenço (CASL). Os resultados obtidos a partir desse conjunto foram comparados aos da PCH São Lourenço, de Baixa Queda e reservatório típico, única deste arranjo instalada na bacia.

As características das PCHs previstas para instalação na bacia também foram adicionadas ao estudo comparativo e agrupadas segundo o arranjo do Complexo Alto São Lourenço e PCHs São Lourenço. No entanto, a disponibilidade de informações padronizadas foi um obstáculo e não foi possível fazer as comparações para todas as métricas feitas para as PCHs em operação.

A seleção das métricas foi feita com base na disponibilidade de informações existentes nas Fichas Técnicas de cada empreendimento e Relatórios Ambientais e Diagnósticos de viabilidade cedidos pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso (SEMA). As características disponíveis e passíveis de comparação foram: área de drenagem (km^2), área de inundação (km^2), e volume (hm^3), comprimento (m), tempo de formação (dia) e tempo de residência do reservatório (dia), além do comprimento do sistema de adução (m), trecho de vazão reduzida - TVR (m), capacidade instalada de geração de energia elétrica (MW) e volumes de terra movimentada (m^3) e de concreto utilizado (m^3).

Ressalta-se que as métricas volume de terra e concreto estão subestimadas para o Complexo do Alto São Lourenço devido à indisponibilidade de dados para a PCH Rio Tenente Amaral, que iniciou sua operação em 1975.

A quantificação da proporção do trecho de rio alterado ou desviado pelas PCHs foi feita através das métricas *sistema de adução* e *trecho de vazão reduzida*, sendo que o reservatório foi somado ao Sistema de adução, tanto no cenário atual quanto no futuro.

4.0 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO QUANTI E QUALITATIVA DA ÁGUA DA BACIA DO ALTO SÃO LOURENÇO

4.1.1 Vazão e Qualidade da Água

Os resultados de vazão líquida (Tabela 7) indicaram as contribuições médias dos rios Saia Branca (9,1 m³/s), Brilhante (2,3 m³/s), Tenente Amaral (4,9 m³/s), Prata (11,4 m³/s) e Areia (8,8 m³/s) em relação ao canal principal, o rio São Lourenço (96,9 m³/s).

Tabela 7 Vazão média (m³/s) dos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL) na bacia do Alto São Lourenço, entre 2014 e 2015.

	SB	BR	TA	PR	AR	SL
Transição	7,8	2,5	3,7	NA	2,9	56,1
Chuva	12,0	3,0	7,8	17,2	20,0	182,3
Seca	7,5	1,5	3,3	5,5	3,5	52,2
Média	9,1	2,3	4,9	11,4	8,8	96,9

NA – Não mensurado

A vazão dos rios avaliados diferiu significativamente entre os períodos Seco e Chuvoso ($p < 0,05$) com aumentos percentuais no período Chuvoso superiores a 60%, na seguinte hierarquia AR (471%) > SL (249%) > PR (212%) > TA (136%) > BR (100%) > SB (60%). Os períodos de Transição e Seco foram semelhantes ($p > 0,05$) entre si apresentando as menores vazões (Figura 6).

O expressivo incremento da vazão do rio Areia (471%) em relação aos outros rios, além das precipitações, também reflete a formação pedológica, o impacto do assoreamento, que reduz a profundidade da calha do rio, ampliando sua área de alagamento, e o desmatamento que substituí a vegetação nativa por agricultura e

potencializam o escoamento superficial, aumentando a vazão durante os eventos de chuva intensa.

O rio Brilhante e o São Lourenço diferiram entre si, considerando as proporções entre suas vazões de menor tributário (2,3 m³/s) e rio principal (96,9 m³/s). Todos os outros foram semelhantes em relação as vazões, exceto o TA (4,9 m³/s) e o SB (9,1 m³/s).

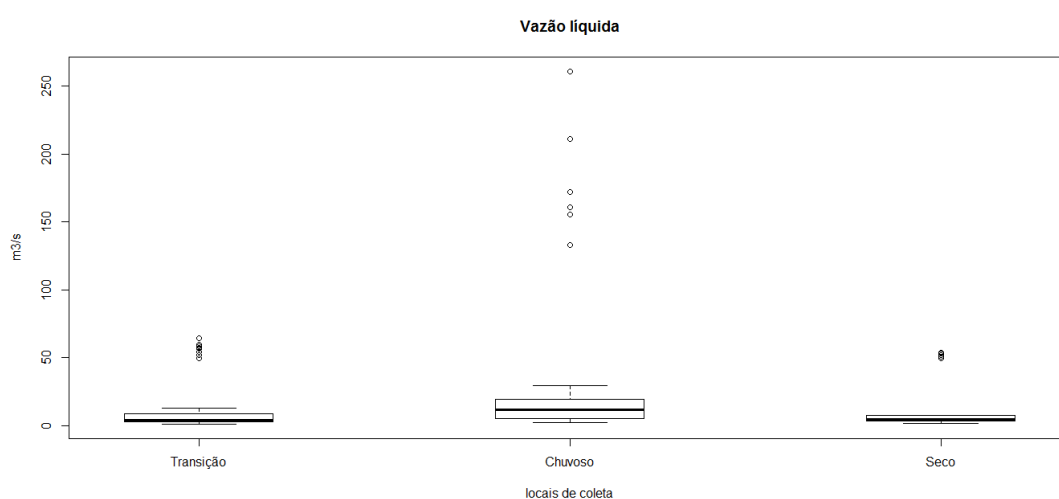


Figura 6 Variação da vazão líquida na bacia do Alto São Lourenço nos períodos de Transição, Chuvoso e Seco, entre 2014 e 2015.

No período de Transição ocorreram chuvas esparsas, com um total acumulado para o intervalo de estudo de 33,2 mm, e as maiores temperaturas do ar, mediana de 28,4°C. No período Chuvoso as precipitações foram mais contínuas e intensas, com um total acumulado de 179,7 mm no intervalo, a temperatura mediana foi de 25,4°C. No período Seco não ocorreram precipitações e a temperatura do ar foi mais amena em relação aos outros períodos (24,5°C; Figura 7). Todos os períodos diferiram significativamente entre si ($p \leq 0,05$).

As variáveis temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, nitrato, ferro total e dissolvido, fósforo total e dissolvido, DQO, condutividade elétrica, sólidos

suspensos, cor verdadeira e turbidez apresentaram diferenças significativas entre os períodos Chuvoso e Seco ($p \leq 0,05$).

As exceções ocorreram para sólidos dissolvidos, que não apresentaram diferença entre todos os períodos avaliados e nitrogênio Kjeldahl total dissolvido, com resultados semelhantes entre os períodos Chuvoso e Seco.

No período de Transição Seco-Chuvoso as características da água se assemelharam ao Seco para as variáveis pH, sólidos suspensos, turbidez, cor verdadeira, nitrato, nitrogênio Kjeldahl total, ferro total e fósforo total. E ao Chuvoso para as variáveis oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, DQO e nitrogênio amoniacal.

A temperatura da água, nitrato e fósforo total diferiram entre todos os períodos avaliados.

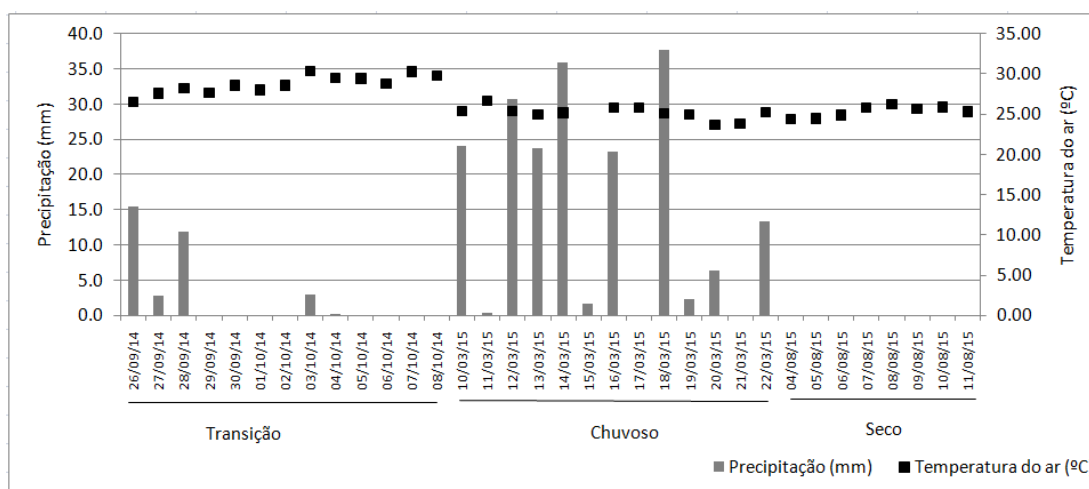


Figura 7. Variação espaço-temporal da precipitação e temperatura média do ar na bacia do Alto São Lourenço nos períodos de Transição, Chuvoso e Seco, entre 2014 e 2015.

Os resultados das análises físicas e químicas indicaram diferenças hidroquímicas significativas e um gradiente crescente de concentrações, exceto oxigênio dissolvido, dos tributários em relação ao rio principal, o São Lourenço.

Dentre os tributários, o Areia (8,8 m³/s) foi o único que se assemelhou ao São Lourenço (96,9 m³/s) e diferiu dos outros de porte equivalente e menores, como Saia Branca (9,1m³/s), Brilhante (2,3 m³/s), Prata (11,4 m³/s) e Tenente Amaral (4,9 m³/s).

Os rios Areia (AR) e São Lourenço (SL) apresentaram as variáveis temperatura da água, pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, turbidez, fósforo total, ferro total e ferro total dissolvido mais elevadas e diferentes estatisticamente dos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA) e Prata (PR). As exceções foram os rios Prata, para sólidos suspensos e fósforo total, e Brilhante, em relação ao oxigênio dissolvido, quando comparados ao Areia. No rio São Lourenço, as exceções foram para o Saia Branca, para turbidez, e Tenente Amaral, para ferro total. O SL não diferiu significativamente dos demais rios em relação ao fósforo total.

O oxigênio dissolvido diferiu entre o Areia e os rios SB e TA, com menor concentração no Areia. O rio Prata apresentou as maiores concentrações de oxigênio, diferindo significativamente em relação AR, BR, SB e SL. A cor verdadeira do Areia e São Lourenço diferiram apenas em relação ao BR e TA, significativamente.

O rio Tenente Amaral diferiu do SB, BR e PR somente em relação a condutividade elétrica e aos sólidos dissolvidos.

As variáveis DQO, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio Kjeldahl total e dissolvido e fósforo dissolvido não apresentaram diferenças espaciais significativas.

A temperatura da água nos rios avaliados oscilou entre 20,5°C (BR; PR) e 33,7°C (AR), com maiores valores no período de Transição decrescendo em relação ao Chuvoso e Seco (Figura 8), assim como a temperatura do ar (Figura 7), com a qual foi obtida uma correlação positiva moderada ($r=0,58$; $p=7,47e-15$). As temperaturas mais elevadas foram registradas nos rios AR e SL, os quais diferiram significativamente dos rios BR, SB e TA nos períodos de Transição e Chuvoso, exceto BR em relação ao Areia na Transição. No período Seco o Areia diferiu do BR, PR e SB, enquanto o SL diferiu somente em relação ao BR.

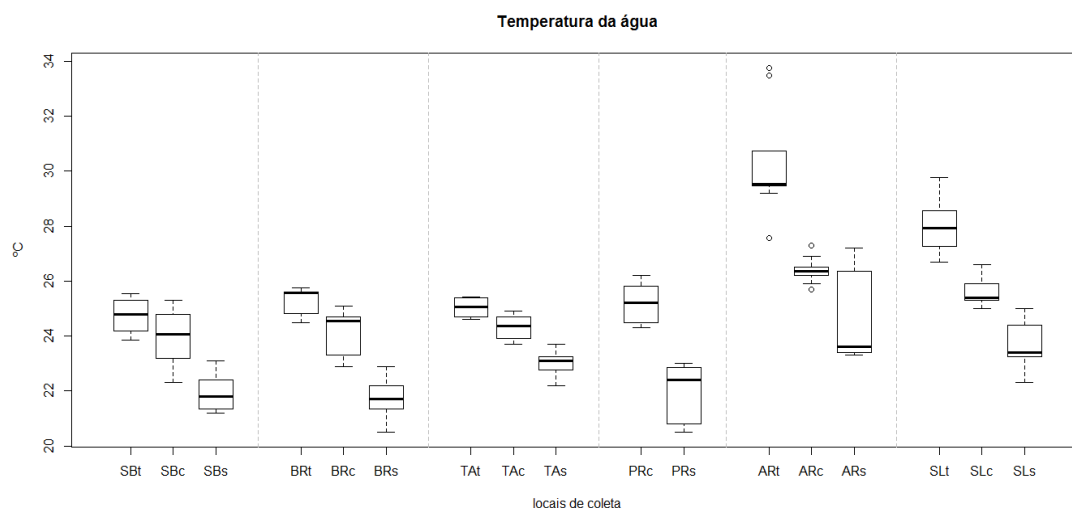


Figura 8. Variação espaço-temporal da temperatura da água na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.º Outlier.

As concentrações de oxigênio dissolvido oscilaram entre 6,15 mg/L (SL) e 9,23 mg/L (PR), com maiores valores no período Seco (Figura 9), quando também foram registradas as menores temperaturas da água. O oxigênio dissolvido esteve correlacionado negativa e moderadamente com a temperatura da água ($r=-0,67$; $p=3,23e-14$) e precipitação ($r=-0,45$; $p=3,34e-09$).

No período de Transição o AR, com menor concentração de oxigênio, diferiu do TA e SL (Figura 9). No Chuvoso o AR e o SL, também menos oxigenados diferiram do PR e TA, e no Seco a diferença significativa ocorreu entre o AR e o PR (Figura 9). Os demais cursos d'água não apresentaram diferenças significativas em relação ao oxigênio dissolvido.

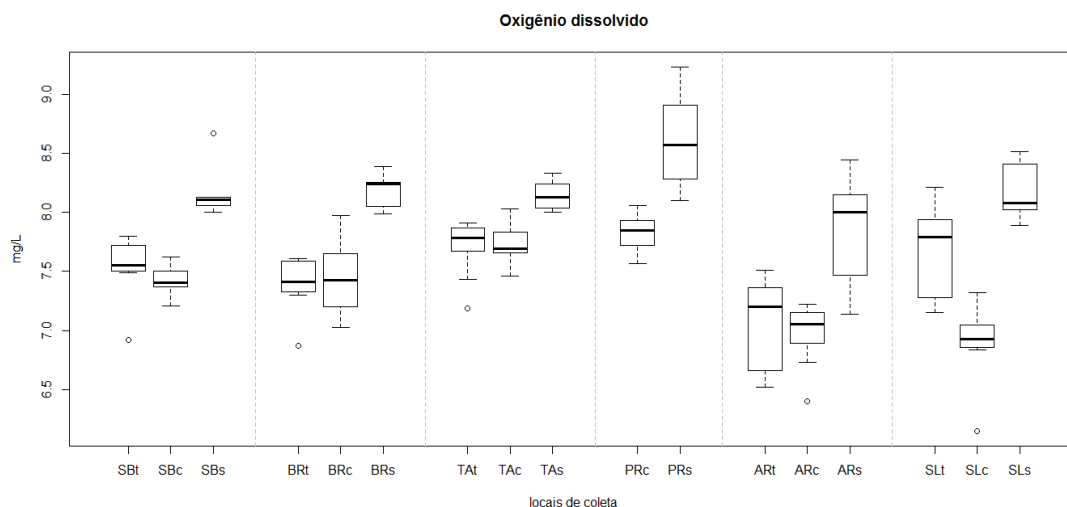


Figura 9. Variação espaço-temporal do oxigênio dissolvido na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. ° Outlier.

Os rios avaliados apresentaram características ácidas a circunueutras, com pH oscilando entre 3,66 (SB) a 7,03 (SL) e maiores resultados no AR e SL. Resultados mais próximos a neutralidade foram registrados nos períodos Chuvoso e Seco (Figura 10).

Os rios Areia (AR) e São Lourenço (SL) apresentaram os maiores resultados de pH no período de Transição em relação ao BR e SB, o mesmo foi encontrado no período Chuvoso, com adição do PR ao grupo do BR e SB. No Seco os rios AR e SL continuaram diferindo do PR e SB, o BR diferiu somente do SL e o TA do PR.

Em todos os rios o pH foi menor no período de Transição e Seco e maior no Chuvoso, com correlação positiva moderada com a vazão ($r=0,45$; $p=6,89e-09$).

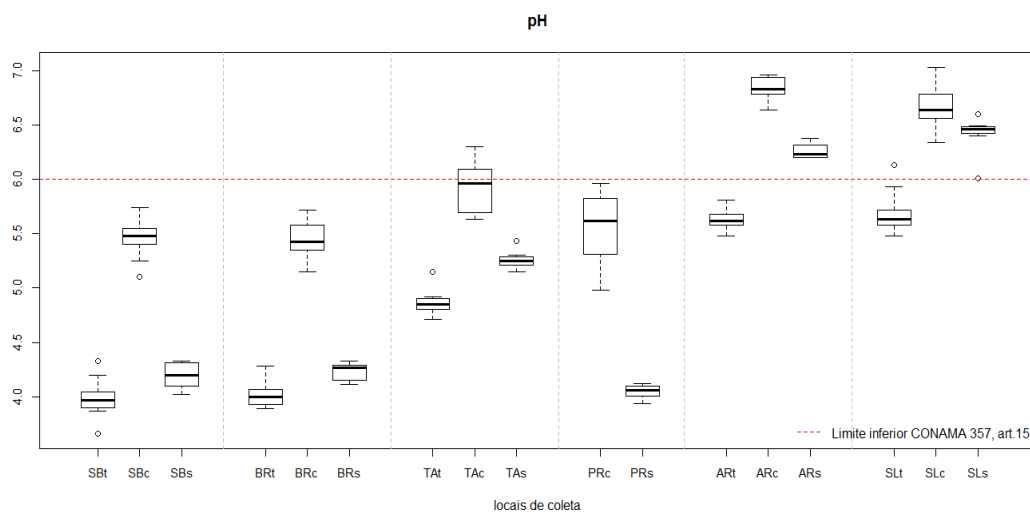


Figura 10. Variação espaço-temporal do pH na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. A linha tracejada na horizontal é o referencial da Resolução CONAMA 357/05, Art. 15.

A condutividade elétrica oscilou entre 1,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PR) e 45,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (AR) e assim como para o pH, o AR e SL diferiam significativamente da maioria dos rios avaliados (Figura 11). No período de Transição o AR e SL diferiram do BR e SB, o AR também diferiu do TA. No Chuvoso, o rio Prata foi somado ao BR e SB, todos diferindo-se do AR e SL. No período Seco, as mesmas diferenças foram observadas em relação ao AR, o PR diferiu do SL e TA.

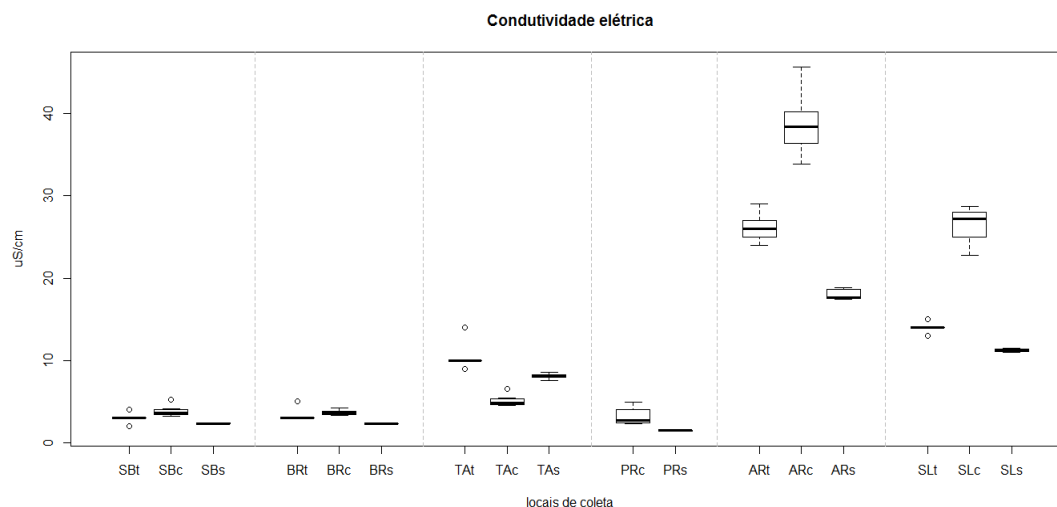


Figura 11. Variação espaço-temporal da condutividade elétrica na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

A concentração de sólidos dissolvidos oscilou entre 1mg/L (SB) e 29,25 mg/L (AR), o AR e SL foram os mais concentrados em partículas e colóides quando comparados aos demais rios (Figura 12). No período Chuvoso foram mensuradas as maiores concentrações, exceto no TA, assim como ocorreu com a condutividade elétrica.

Em todos os períodos o AR diferiu do BR e SB, mas também diferiu do TA no período de Transição e do PR nos períodos Chuvoso e Seco. O SL diferiu do BR e SB os períodos de Transição e Chuvoso, e também do PR no período Chuvoso. No período Seco, as diferenças encontradas foram entre o SL e os rios PR e SB. O TA diferiu do AR e SB no período de Transição e do PR no Chuvoso.

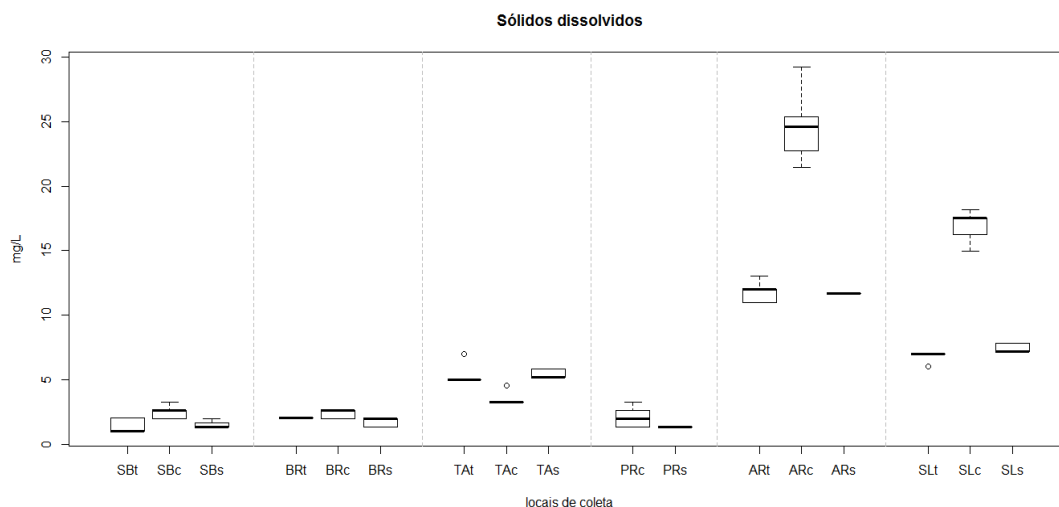


Figura 12. Variação espaço-temporal de sólidos dissolvidos na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

Os resultados de cor verdadeira estiveram entre 2 uH (SB, BR, TA, PR, AR e SL) e 321 uH (AR), com maiores valores no período Chuvoso (Figura 13) e nos rios AR e SL. Não foi registrada diferença significativa entre os locais de coleta no período de Transição. No Chuvoso as diferenças ocorreram entre o AR e SL, com água mais concentradas em substâncias que conferem coloração a água, e BR, SB e TA, além do PR em relação ao SL. No período Seco o AR diferiu do BR, PR e SB e o SL do PR e SB. Foi registrada correlação positiva moderada com a vazão ($r=0,44$; $p=1,53e-08$), com sólidos dissolvidos ($r=0,47$; $p=1,43e-09$) e ferro dissolvido ($r=0,70$; $p=2,2e-16$).

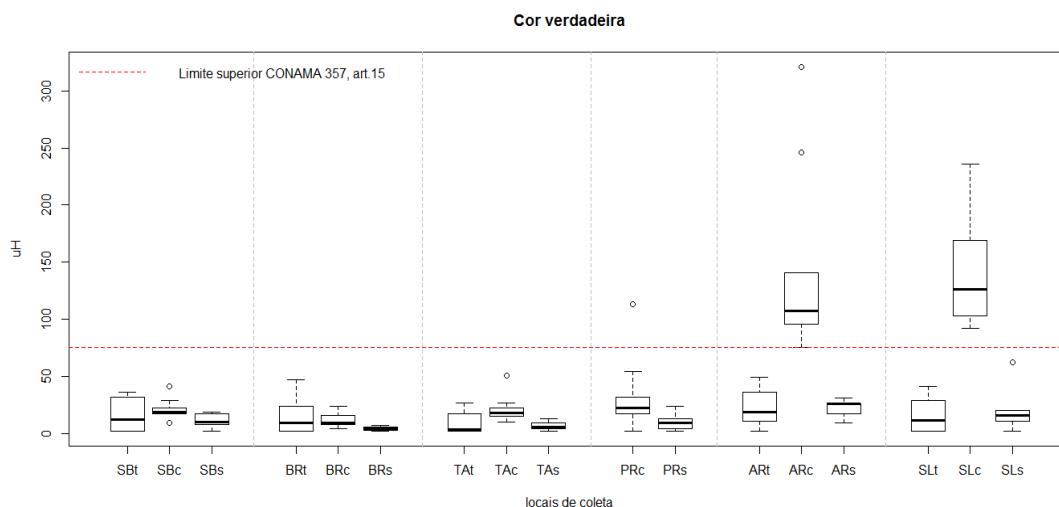


Figura 13. Variação espaço-temporal da cor verdadeira na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

Os sólidos suspensos oscilaram entre < 1 mg/L (SB, BR, TA, AR, SL) e 1.394 mg/L (SL) e foram mais expressivos no período Chuvoso, em todos os rios avaliados (Figura 14). No período de Transição a diferença significativa ocorreu entre o AR e o TA. No Chuvoso o AR e o SL diferiram de todos os outros rios, e no Seco foram encontradas diferenças somente entre o PR e o SL. Os sólidos suspensos apresentaram correlação positiva moderada com a vazão ($r=0,41$; $p=1,68e-07$), precipitação ($r=0,41$; $p=2,005e-07$), fósforo total ($r=0,54$; $p=5,72e-13$), ferro total ($r=0,67$; $p=2,2e-16$) e turbidez ($r=0,58$; $p=2,47e-15$).

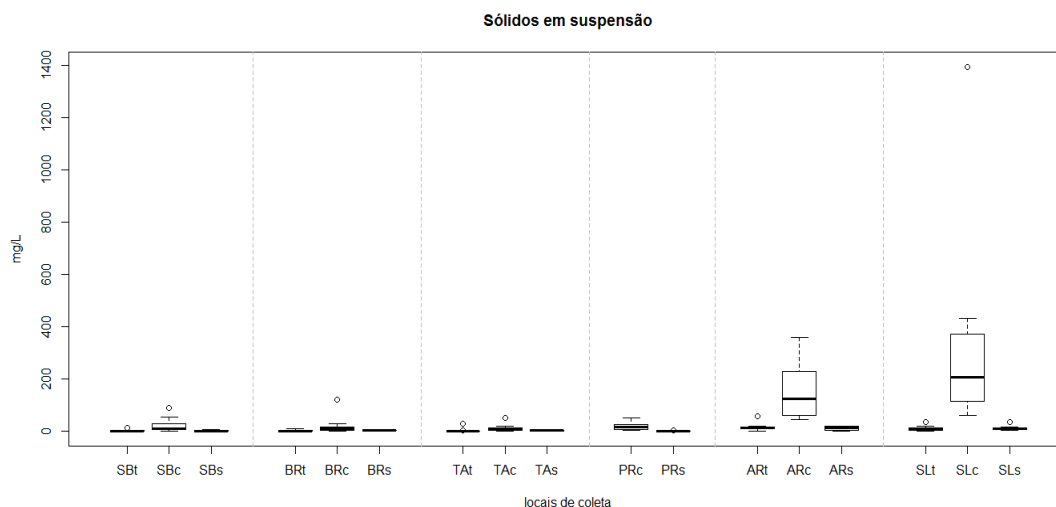


Figura 14. Variação espaço-temporal de sólidos em suspensão na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

A turbidez da água dos rios avaliados esteve entre 0,51 mg/L (BR) e 306 mg/L (SL), com maiores concentrações no período Chuvoso em todos os rios, mas principalmente nos rios AR e SL (Figura 15). No período de Transição, o AR e o SL diferiram do BR e TA. No Chuvoso não houve diferença significativa espacial, e no Seco o AR e o SL diferiram do BR e PR, o AR diferiu também do TA.

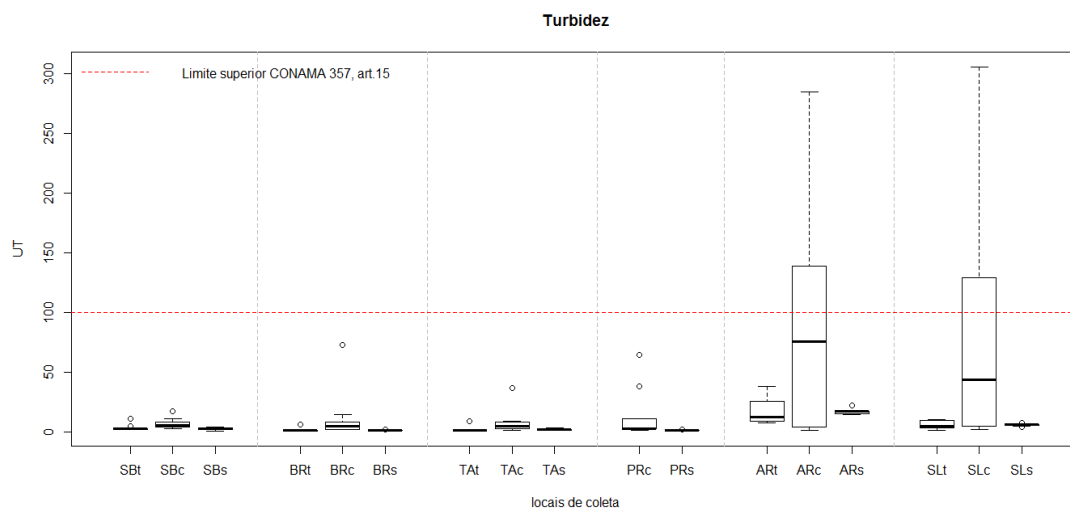


Figura 15. Variação espaço-temporal de turbidez na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. A linha tracejada na horizontal é o referencial da Resolução CONAMA 357/05, Art. 15.

A DQO oscilou entre < 1 mg/L (todos os rios) e 39 mg/L (BR), com maiores concentrações nos períodos de Transição e Chuvoso (Figura 16). Não foi evidenciada diferença espacial entre os períodos. A DQO apresentou correlação positiva moderada com ferro total ($r= 0,41$; $p= 1,63e - 07$) e dissolvido ($r=0,53$; $p= 9,51e-15$).

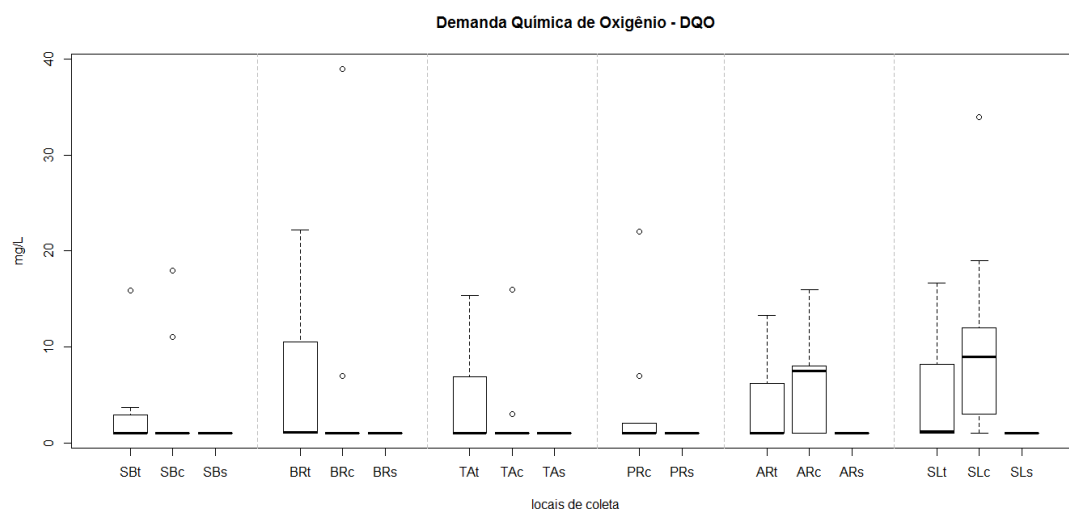


Figura 16. Variação espaço-temporal da DQO na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

As concentrações de Carbono orgânico dissolvido (COD) oscilaram entre 0,83 mg/L (PR) e 10,84 mg/L (AR), com maiores concentrações nos períodos de Transição e Seco (Figura 17) e sem diferenças espaciais, independente do período.

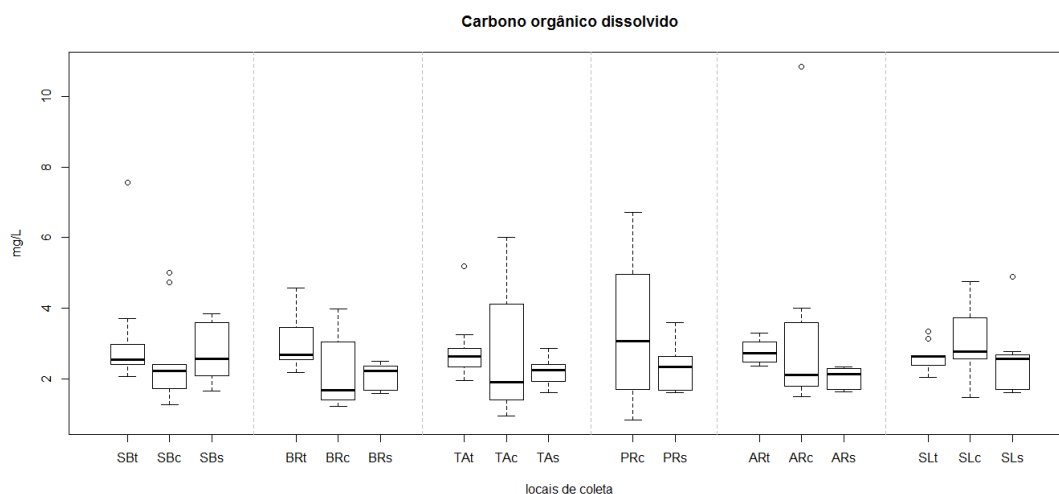


Figura 17. Variação espaço-temporal do carbono orgânico dissolvido na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

O nitrogênio Kjeldahl total, que faz inferência sobre o nitrogênio orgânico mais a amônia, oscilou entre menor que 0,01 mg/L, em todos os rios, e 1,94 mg/L no SL (Figura 18). A única diferença significativa foi registrada entre o SL e o PR no período Chuvoso ($p=0,043$).

As concentrações de nitrogênio Kjeldahl dissolvido, oscilaram entre $< 0,01$ mg/L, em todos os rios, e 0,67 mg/L no AR (Figura 19). As diferenças significativas foram encontradas entre o AR e o BR e SB no período Seco.

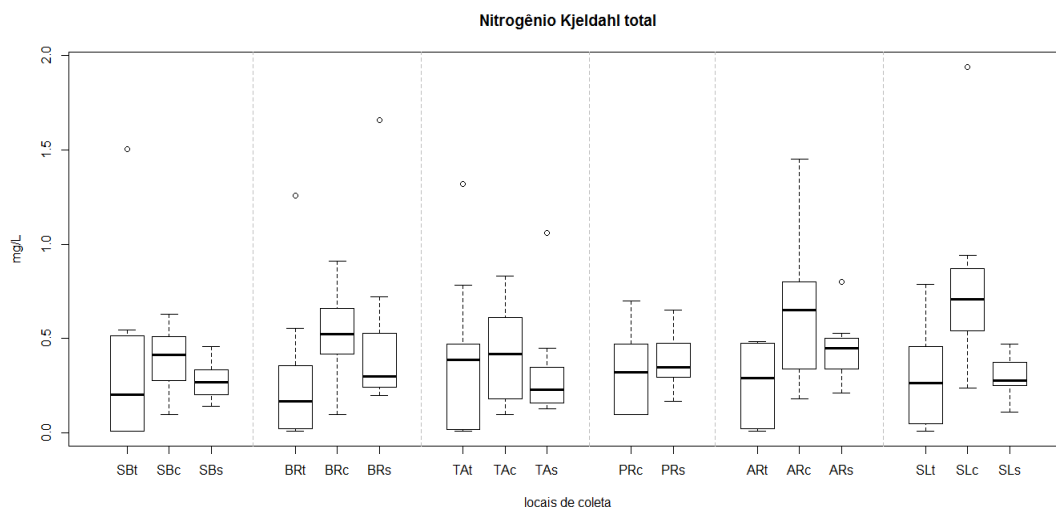


Figura 18. Variação espaço-temporal do nitrogênio Kjeldahl total na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

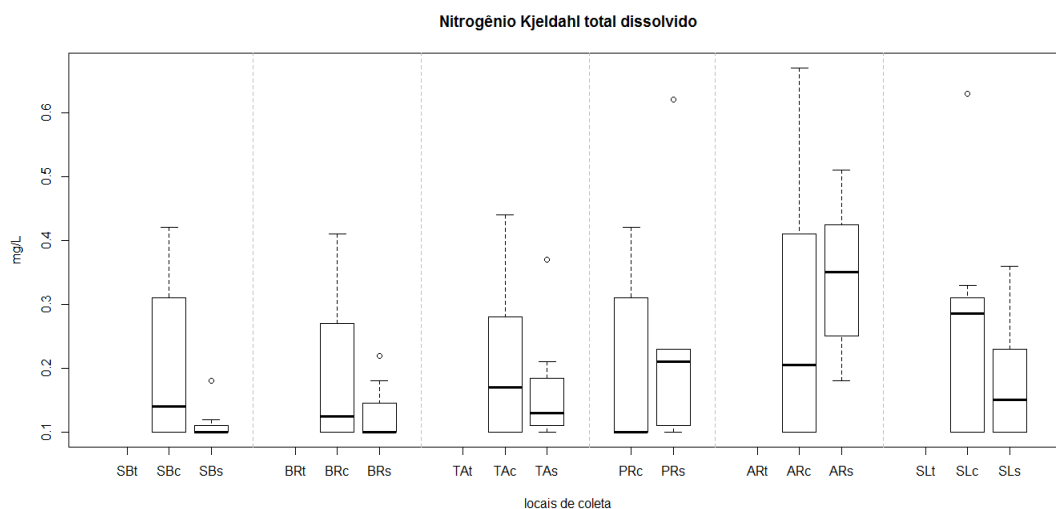


Figura 19. Variação espaço-temporal do nitrogênio Kjeldahl dissolvido na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

As concentrações de nitrogênio amoniacal oscilaram entre 0,001 mg/L (BR, PR e TA) e 0,709 mg/L (TA) (Figura 20). As maiores concentrações foram registradas no período Seco, com correlação negativa moderada com a precipitação

($r=-0,45$; $p=4,59e-09$). Não foram detectadas diferenças espaciais dentro dos períodos avaliados.

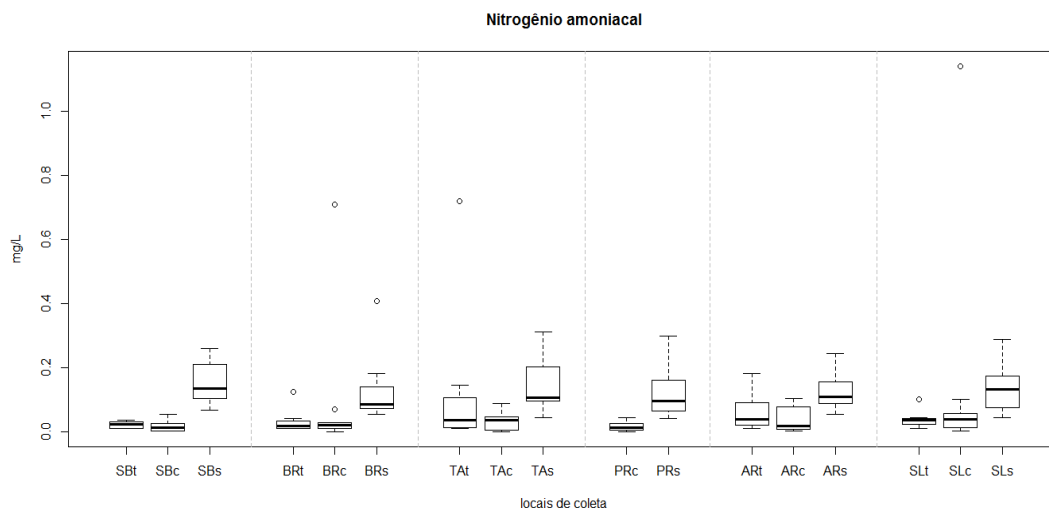


Figura 20. Variação espaço-temporal do nitrogênio amoniacal na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

Os resultados de nitrato oscilaram entre 0,01 e 0,63 mg/L, ambos no SL, com um registro de 1,13 mg/L (AR), com diferença registrada apenas entre o BR e o TA no período Seco (Figura 21). No período de Chuvoso, as concentrações no nitrato foram maiores que as mensuradas nos outros dois períodos e com correlação positiva moderada com a precipitação ($r=0,42$; $p=1,11e-07$).

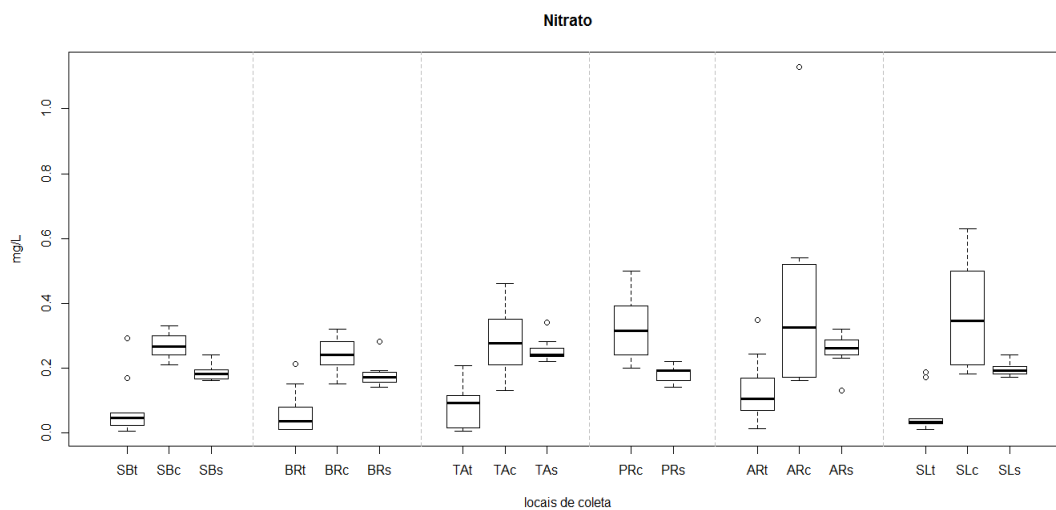


Figura 21. Variação espaço-temporal do nitrato na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

O fósforo total oscilou entre $< 0,01$ mg/L (em todos os rios) e 2,983 mg/L (BR), com maiores concentrações no período Chuvoso e menores no Seco (Figura 22). Entre os períodos, foram encontradas diferenças significativas somente no Chuvoso entre o AR e o SB e entre o SL e os rios BR, SB, TA e PR.

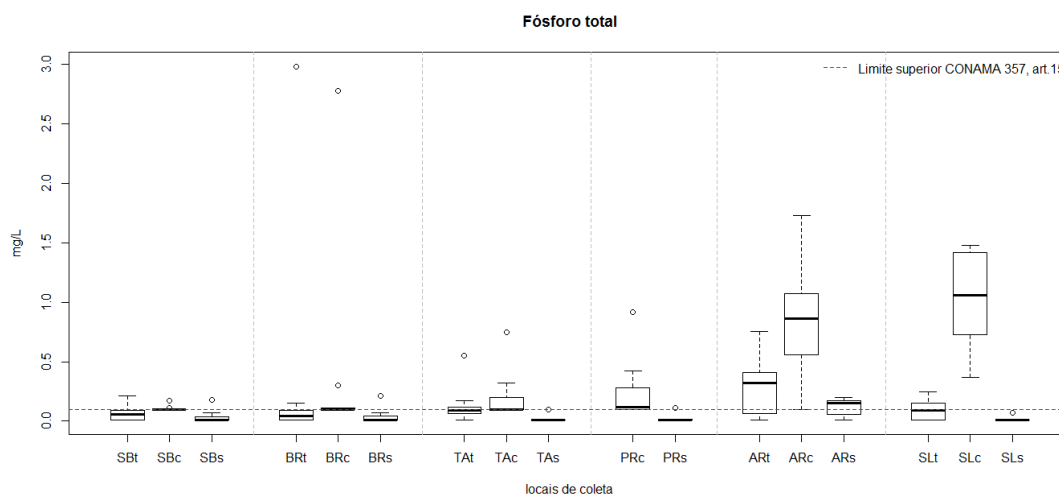


Figura 22. Variação espaço-temporal do fósforo total na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. A linha tracejada na horizontal é o referencial da Resolução CONAMA 357/05, Art. 15.

Os resultados também indicaram baixas concentrações da forma biodisponível do fósforo, que oscilou entre $< 0,01$ mg/L (em todos os rios) e 1,53 mg/L (AR), com alguns picos no período Chuvoso (Figura 23). As concentrações de fósforo total dissolvido diferiram entre os rios AR e SL e os rios SB, BR, PR, o SL também diferiu do TA no período Chuvoso. No período Seco não foi evidenciada diferença espacial entre os períodos. Foi observado correlação positiva moderada do fósforo total dissolvido com a vazão ($r=0,47$; $p=1,41e-06$) e positiva forte com a precipitação ($r=0,72$; $p=2,2e-16$).

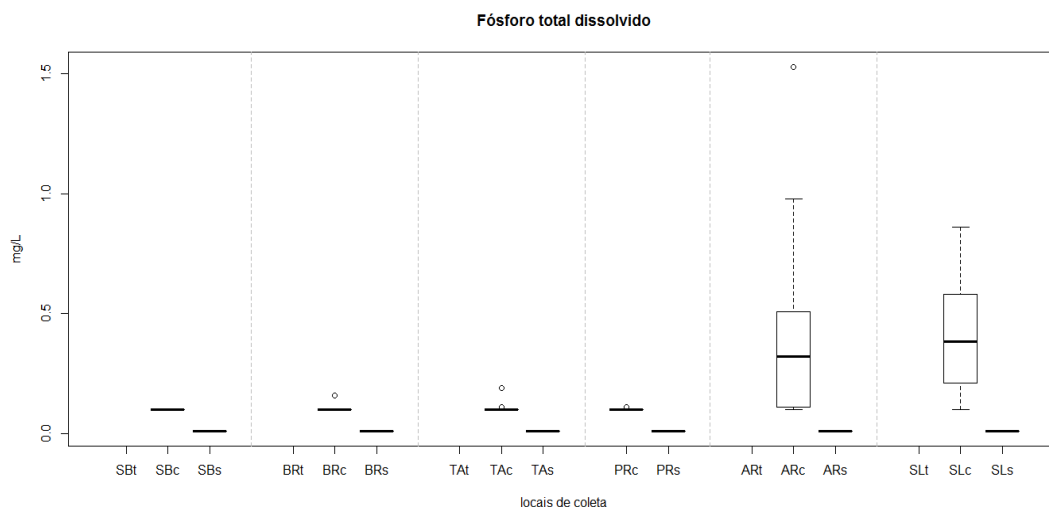


Figura 23. Variação espaço-temporal do fósforo total dissolvido na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

As concentrações de ferro total oscilaram entre $< 0,01\text{mg/L}$ (SB) e $9,05\text{ mg/L}$ (AR), com maiores valores no período Chuvoso (Figura 24). No período de Transição o AR diferiu do BR e TA. No Chuvoso o AR e o SL diferiram do BR, PR e TA, o SL também diferiu do SB neste período. No período Seco o AR diferiu do BR, PR e TA e o SL do PR. O ferro total apresentou correlação positiva moderada com a precipitação ($r= 0,42$; $p=4,47\text{e-}08$).

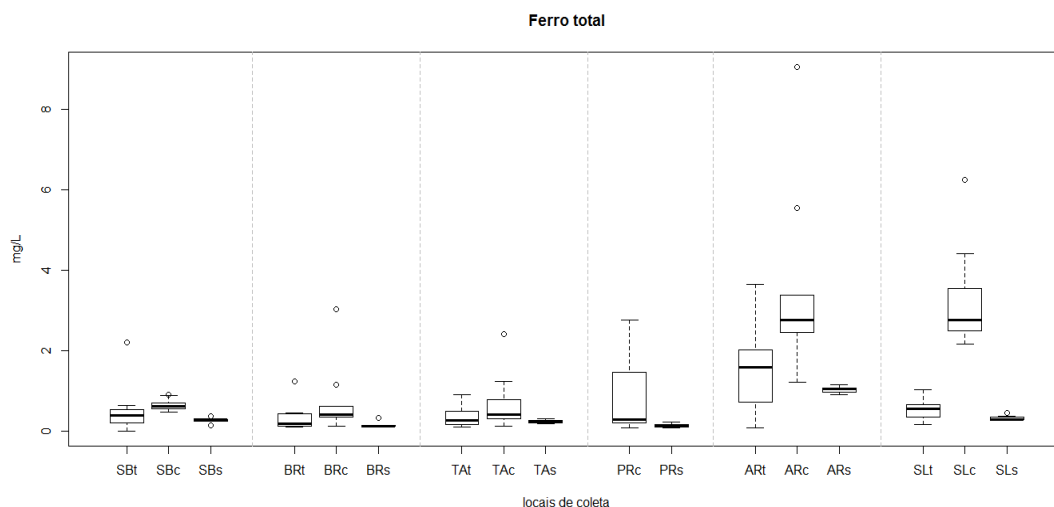


Figura 24. Variação espaço-temporal do ferro total na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015.

Os teores de ferro dissolvido oscilaram entre < 0.01 mg/L (BR, PR, SB, TA) e 2,13 mg/L (AR; Figura 25), com maior concentração no período Chuvoso. Neste mesmo período o AR diferiu do SB, BR, PR e TA e o SL do BR. No período Seco o AR diferiu significativamente do BR, PR e SB e o SL do BR e PR. O ferro total dissolvido apresentou correlação positiva moderada com a vazão ($r=0,55$; $p=1,41e-09$).

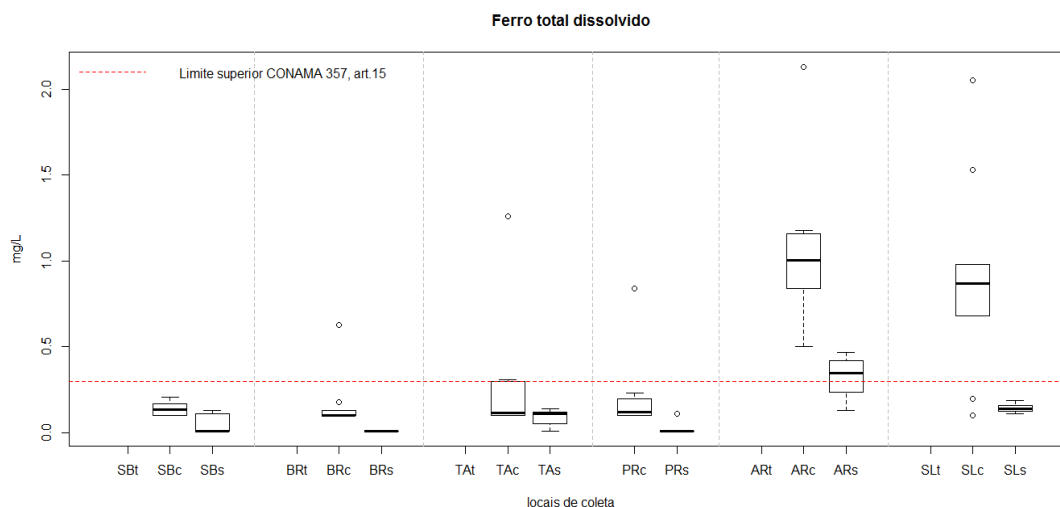


Figura 25. Variação espaço-temporal do ferro dissolvido na bacia do Alto São Lourenço nos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. A linha tracejada na horizontal é o referencial da Resolução CONAMA 357/05, Art. 15.

Na Figura 26 é possível observar a formação do grupo composto pelos rios Areia e São Lourenço no período Chuvoso, onde foram registrados os maiores valores para temperatura da água, pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, cor verdadeira, ferro total e dissolvido, fósforo total e dissolvido e sólidos em suspensão, além de menores concentrações de oxigênio dissolvido.

O outro grupo foi formado por todos os outros rios avaliados, incluindo o Areia e o São Lourenço nos períodos de Transição e Seco.

Dentro desse segundo grupo é possível observar a formação de cinco subgrupos: o primeiro foi formado pelos rios SB, BR, PR e TA no período Chuvoso; o segundo pelos mesmos rios mais o SL no período Seco; o terceiro com os mesmos rios do primeiro grupo (SB, BR, TA e SL) no período de Transição, o quarto e o quinto grupo foram formados pelo rio Areia na Seca e na Transição.

Os agrupamentos indicaram o efeito da precipitação, vazão e temperatura do ar na formação dos grupos, pois agrupou os períodos de Transição, Chuvoso e Seco com todos os tributários, exceto o AR. Observou-se ainda semelhança dos rios TA e SL nos períodos de Transição e Seco.

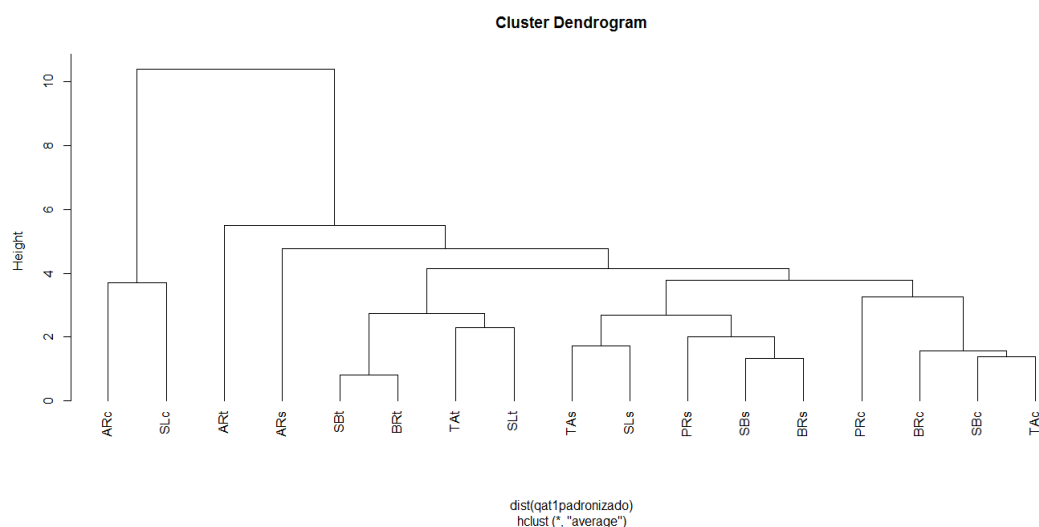


Figura 26. Dendrograma com as características hidroquímicas dos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Prata (PR), Areia (AR) e São Lourenço (SL), nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015, na bacia do Alto São Lourenço.

A água dos rios avaliados apresentou maior concentração de íons, nutrientes e partículas no período Chuvoso. A temperatura da água, esteve relacionada a do ar, com valores mais elevados no período de Transição e menores do Seco, e o oxigênio dissolvido apresentou os maiores valores no período Seco.

4.1.2 Comparação ao CONAMA 357/05, Art. 15.

Os resultados quando comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 em seu artigo 15, o qual classifica os cursos d'água doce para usos múltiplos como: i) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, ii) proteção das comunidades aquáticas, iii) recreação de contato primário, iv) irrigação de hortaliças e outros com os quais o público possa vir a ter contato direto, e v) aquicultura e atividade de pesca, indicaram desvio dos referenciais principalmente no período Chuvoso, devido a má conservação da bacia de drenagem e aporte de partículas inorgânicas provenientes dos solos e erosões, e de características naturais como a acidez.

Os rios desse estudo, assim como todos os outros do Estado de Mato Grosso são classificados como pertencente a classe 2, considerando que não há enquadramento oficial, conforme prevê o Artigo 41 da Resolução 357/05. Salvo algumas exceções que apresentam enquadramentos provisórios, mas que não pertencem a área de estudo.

Seguem abaixo as variáveis que desviaram dos padrões estabelecidos para pH (6-9), cor verdadeira (≤ 75 uH), turbidez (≤ 100 UT), ferro dissolvido (0.3 mg/L) e fósforo total (≤ 0.1 mg/L), segundo a Resolução CONAMA 357/05, Artigo 15 (Figuras 10, 13, 15, 22 e 25).

Rio Saia Branca (SB) e Brilhante (BR): pH, em todos os períodos avaliados, e fósforo total, alguns resultados pontuais em todos os períodos.

Rio Brilhante (BR): pH, em todos os períodos avaliados; fósforo total, alguns resultados pontuais em todos os períodos; e ferro dissolvido, resultados pontuais no período Chuvoso.

Rio Tenente Amaral (TA): pH, em todos os períodos avaliados; fósforo total, alguns resultados pontuais nos períodos de Transição e Chuvoso; e ferro dissolvido, alguns resultados pontuais no período Chuvoso.

Rio Prata (PR): pH, nos dois períodos avaliados; cor verdadeira e ferro dissolvido, amostra pontual no Chuvoso; e fósforo total, na maioria das amostragens do Chuvoso e pontual do Seco.

Rio Areia (AR): pH, no período de Transição; cor verdadeira, no Chuvoso; turbidez, em grande parte das amostras do Chuvoso; ferro dissolvido, no Chuvoso e em algumas amostras do Seco; e Fósforo total, em todos os períodos. O registro de fósforo total em concentrações superiores a 0,1 mg/L em todos os períodos é um indicador do aporte contínuo de compostos fosforados, oriundos da área urbana e atividades agrícolas, de pecuária e piscicultura a montante.

São Lourenço (SL): pH, no período de Transição; cor verdadeira e ferro dissolvido, no Chuvoso; turbidez, em várias amostras do Chuvoso; e fósforo total, na Chuva e Transição.

As variáveis oxigênio dissolvido (≥ 5.0 mg/L), sólidos dissolvidos (≤ 500 mg/L), nitrogênio amoniacal (≤ 3.7 mg/L) e nitrato (≤ 10.0 mg/L) atenderam aos referencias estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, Art. 15 em todos dos rios avaliados.

4.2 PCHs

4.2.1 – Qualidade da Água dos Rios

Algumas das variáveis analisadas indicaram alterações significativas na qualidade da água quando comparadas a montante e a jusante dos reservatórios do Complexo Tenente Amaral, como o aumento do pH, independente do período (Transição $p=0,0110$; Chuvoso $p=0,0140$; Seco $p=0,0081$; Figura 27; Tabela 8), da condutividade elétrica ($p=0,0140$) e sólidos dissolvidos ($p=0,0140$) no período Chuvoso (Figura 27); e do oxigênio dissolvido ($p<0,0001$) no período de Transição (Figura 28). A cor verdadeira ($p=0,0140$; Figura 28) apresentou redução no período Seco.

A jusante da PCH São Lourenço o teste de Friedman indicou reduções de ferro total ($p=0,0015$), pH ($p=0,011$), DQO ($p=0,014$), turbidez ($p=0,011$) e oxigênio dissolvido ($p=0,011$), e aumento de sólidos suspensos ($p=0,0015$) no período de Transição (Figuras 35, 27, 31, 30 e 29). No período Chuvoso as reduções foram encontradas para ferro total ($p=0.045$), pH ($p=0.045$), sólidos dissolvidos ($p=0.045$) e condutividade elétrica ($p=0.045$), ao contrário da temperatura da água que se elevou a jusante neste período ($p=0.045$). No período Seco foi verificada redução para o ferro total ($p=0.0081$), turbidez ($p=0.0081$), pH ($p=$) e oxigênio dissolvido ($p=0.0081$) e aumento da condutividade elétrica ($p=0.0081$; Tabela 9).

As demais variáveis mensuradas tanto no Complexo Tenente Amaral quanto na PCH São Lourenço, não apresentaram diferenças significativas detectáveis no gradiente montante e jusante (Tabelas 8 e 9; Figuras 27 a 35).

Tabela 8 Mediana e nível de significância das variáveis mensuradas a montante e a jusante do Complexo de PCHs do rio Tenente Amaral (CTA) no gradiente espacial (Geral) e temporal (períodos de Transição, Chuvoso e Seco) entre 2014 e 2015. Comparando montante e jusante em cada período, o símbolo * foi adotado para identificação do nível de significância obtido pelo teste de Friedman de 5% e ** para nível de significância de 1%. O tempo de residência da água nos reservatórios em cada período também foi apresentado.

Período avaliado	Geral		Transição		Chuvoso		Seco	
Variáveis	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante
pH	4,41**	4,71	4,21*	4,37	5,63*	6,26	4,48**	4,71
Temperatura da água (°C)	23,79	24,30	24,74	24,36	24,29	24,45	21,91	22,70
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,58**	7,95	7,54**	7,94	7,50	7,62	8,09	8,31
Condutividade elétrica (µS/cm)	4,20	5,0	5,10	5,0	3,97*	9,05	4,04	3,90
Cor verdadeira (uH)	12,3*	10,0	8,85	12,5	18,35	19,5	8,2*	5,0
Sólidos dissolvidos (mg/L)	2,47	3,0	2,4	2,5	2,66*	5,85	2,53	2,6
Sólidos em suspensão (mg/L)	2,26	1,33	1,0	1,0	13,8	9,4	2,4	1,3
Turbidez (uT)	2,42	1,73	1,80	1,59	6,86	5,89	2,42	1,72
DQO (mg/L)	1,0	1,0	1,0	1,75	1,0	1,0	1,0	1,0
COD (mg/L)	2,39	2,30	2,70	2,53	2,02	2,16	2,40	2,13
NKT total (mg/L)	0,32	0,36	0,37	0,24	0,49	0,45	0,26	0,33
NKT total dissolvido (mg/L)	0,1	0,1	NA	NA	0,17	0,18	0,13	0,10
Nitrogênio amoniacal (NH ₄ -N)	0,04	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,17	0,09
Nitrato (NO ₃ ⁻ -N)	0,19	0,20	0,06	0,01	0,27	0,31	0,19	0,21
Fósforo total (PO ₄ ³⁻ -P)	0,07	0,10	0,07	0,13	0,11	0,10	0,01	0,01
Fósforo total dissolvido (PO ₄ ³⁻ -P)	0,01	0,01	NA	NA	0,1	0,1	0,01	0,01
Ferro total (mg/L)	0,31	0,26	0,31	0,26	0,50	0,48	0,26	0,21
Ferro total dissolvido (mg/L)	0,01	0,01	NA	NA	0,12	0,10	0,10	0,05
Tempo de residência (dia)	1,3		1,0		1,0		1,9	

NA – Não mensurado.

Tabela 9 Mediana e nível de significância das variáveis mensuradas a montante e a jusante da PCH São Lourenço no gradiente espacial (Geral) e temporal (períodos de Transição, Chuvoso e Seco) entre 2014 e 2015. Comparando a montante e a jusante em cada período, o símbolo * foi adotado para identificação do nível de significância obtido pelo teste de Friedman de 5% e ** para nível de significância de 1%. O tempo de residência da água no reservatório em cada período também foi apresentado.

Período avaliado	Geral		Transição		Chuvoso		Seco	
Variáveis	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Jusante	Montante
pH	6,11**	5,64	5,62*	5,10	6,67*	6,49	6,23*	5,83
Temperatura da água (°C)	26,4	27,4	27,96	27,79	25,82*	27,10	23,16	24,40
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,86**	6,78	7,75*	5,95	7,0	7,04	8,12**	7,01
Condutividade elétrica (µS/cm)	14,33	14,0	14,62	14,0	27,21*	25,30	10,71**	11,30
Cor verdadeira (uH)	19,04	16,0	11,70	14,0	101,61	162,5	15,97	13,0
Sólidos dissolvidos (mg/L)	7,20	7,15	7,12	7,0	17,34*	15,60	6,89	7,15
Sólidos em suspensão (mg/L)	12,2**	2,7	1,0**	10,1	142,9	74,4	8	4
Turbidez (uT)	6,15**	2,83	5,13*	1,96	50,11	98,06	6,03**	2,97
DQO (mg/L)	1,0	1,0	1,19*	1,0	7,92	5,0	1,0	1,0
COD (mg/L)	2,53	2,61	2,42	2,63	2,83	2,64	1,72	1,73
NKT total (mg/L)	0,36	0,38	0,27	0,14	0,70	0,66	0,33	0,38
NKT total dissolvido (mg/L)	0,21	0,22	NA	NA	0,29	0,32	0,17	0,18
Nitrogênio amoniacal (NH ₄ -N)	0,06	0,04	0,04	0,03	0,09	0,05	0,12	0,10
Nitrato (NO ₃ ⁻ -N)	0,18	0,17	0,03	0,02	0,31	0,33	0,19	0,18
Fósforo total (mg/L)	0,08	0,07	0,11	0,08	0,85	0,50	0,02	0,01
Fósforo total dissolvido (mg/L)	0,01	0,01	NA	NA	0,01	0,01	0,63	0,43
Ferro total (mg/L)	0,54**	0,24	0,58**	0,19	3,15*	2,62	0,32**	0,24
Ferro total dissolvido (mg/L)	0,15	0,16	NA	NA	0,76	0,98	0,14	0,12
Tempo de residência (dia)	11,1		11,2		4,2		18	

NA – Não mensurado.

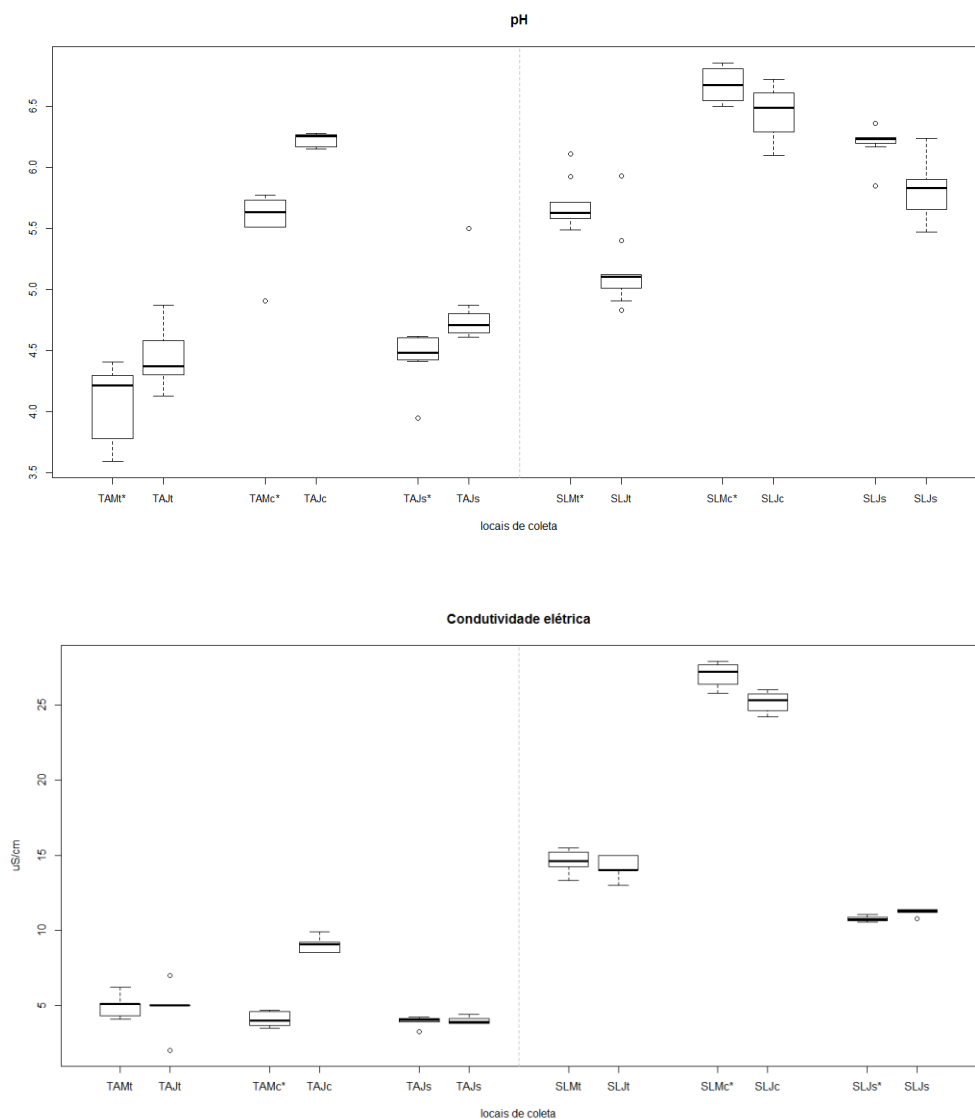


Figura 27. Variação espaço-temporal do pH e condutividade elétrica a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$.

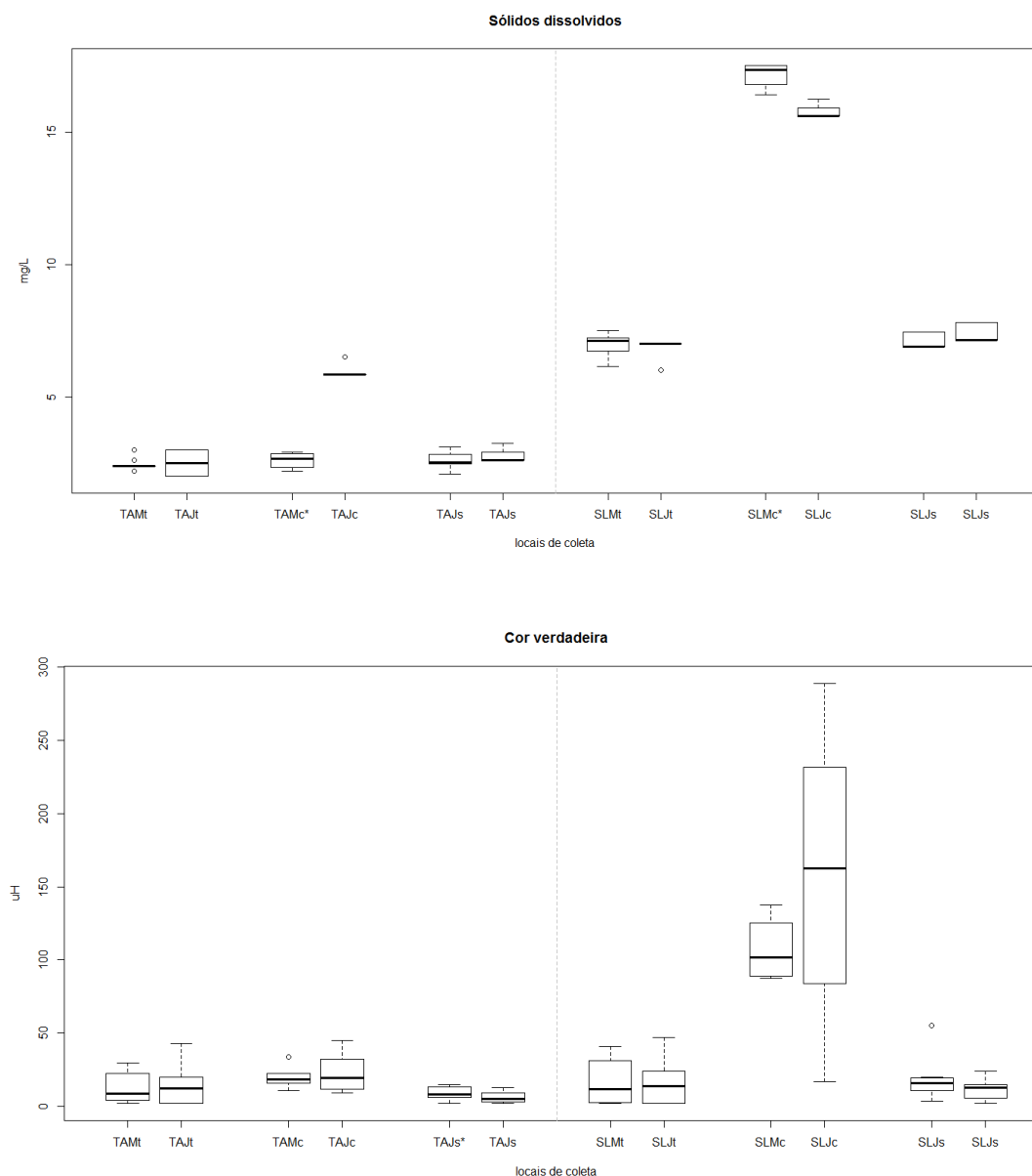


Figura 28. Variação espaço-temporal dos sólidos dissolvidos e cor verdadeira a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$.

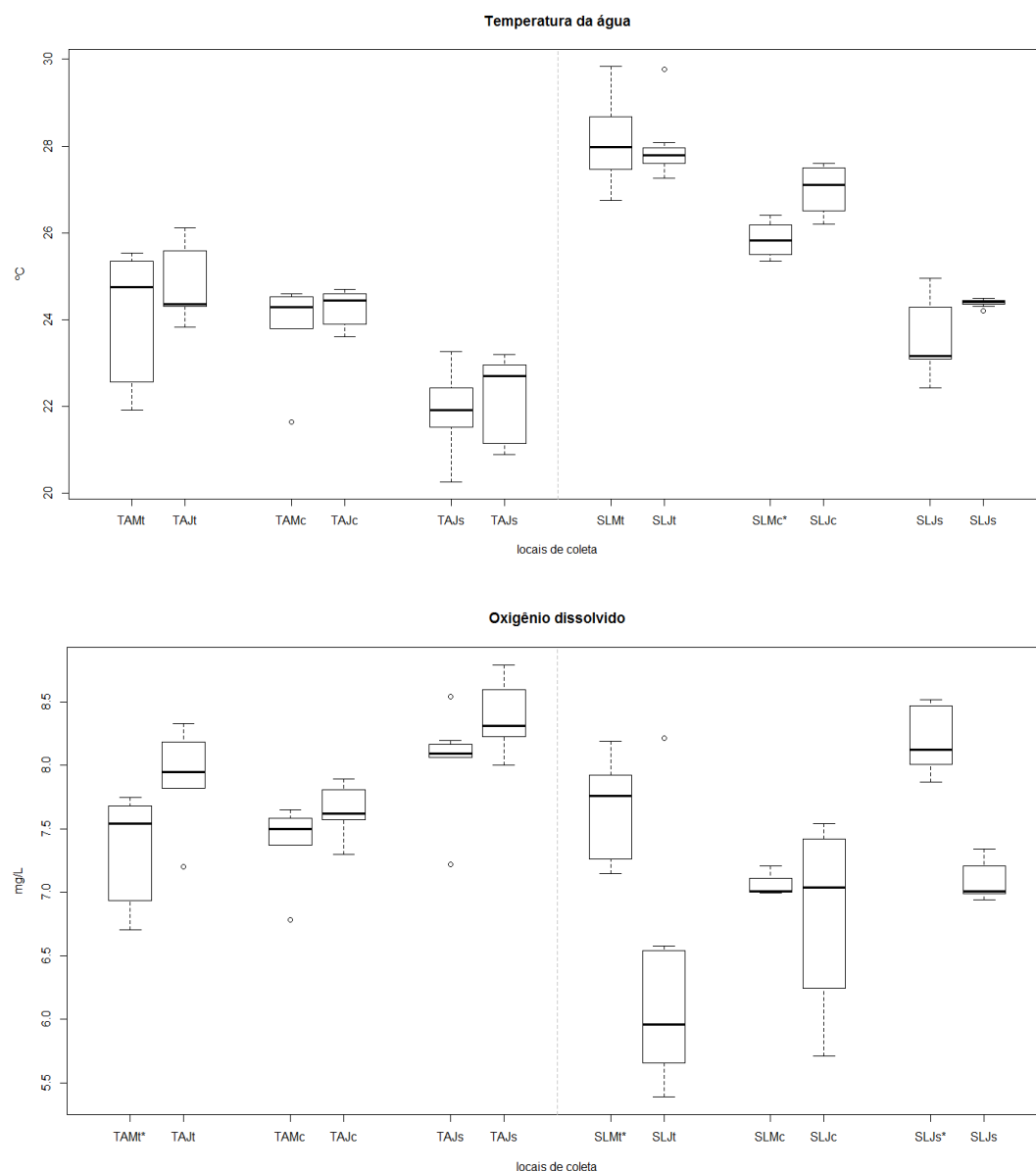


Figura 29. Variação espaço-temporal da temperatura da água e oxigênio dissolvido a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$.

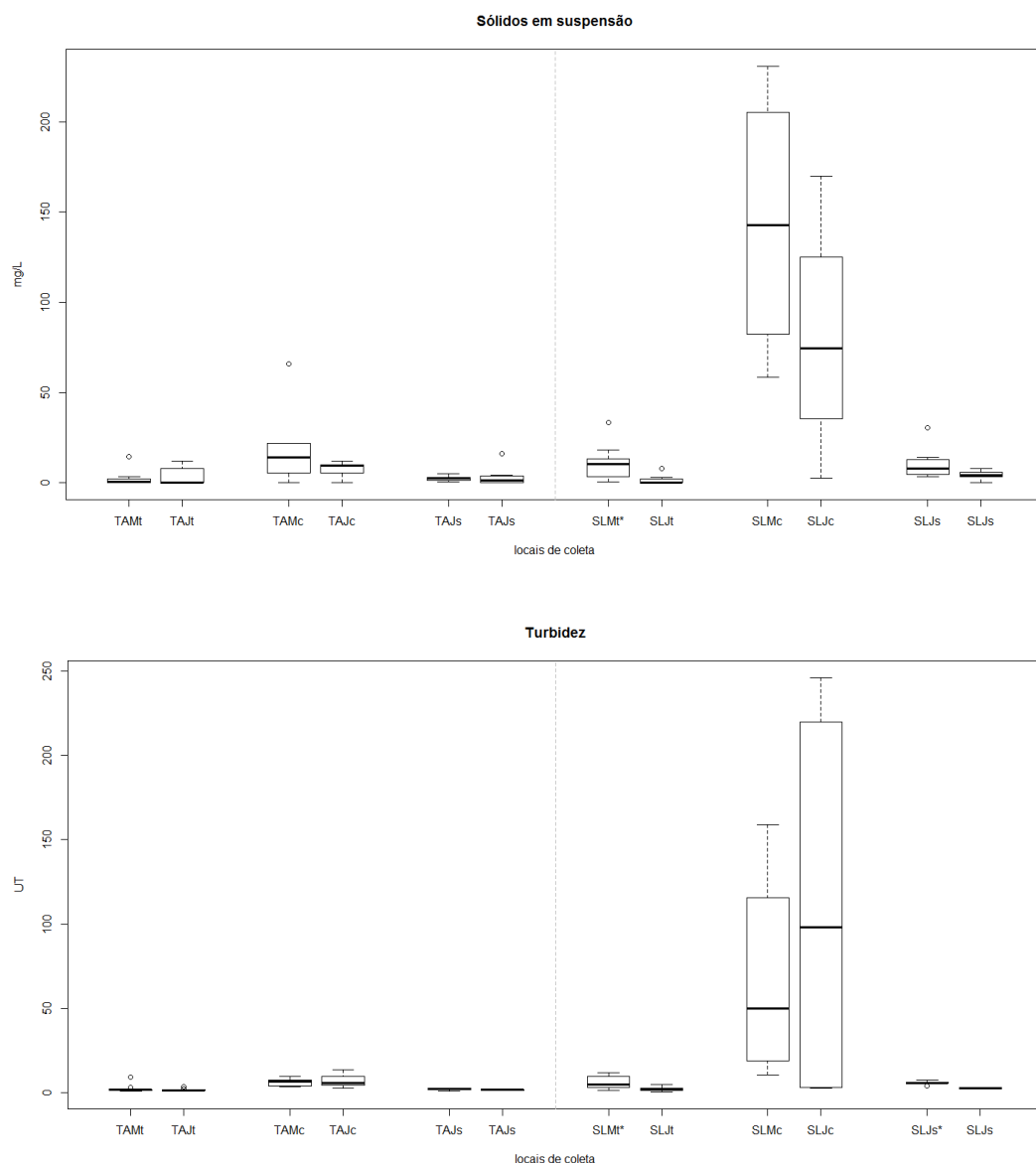


Figura 30. Variação espaço-temporal de sólidos em suspensão e turbidez a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$.

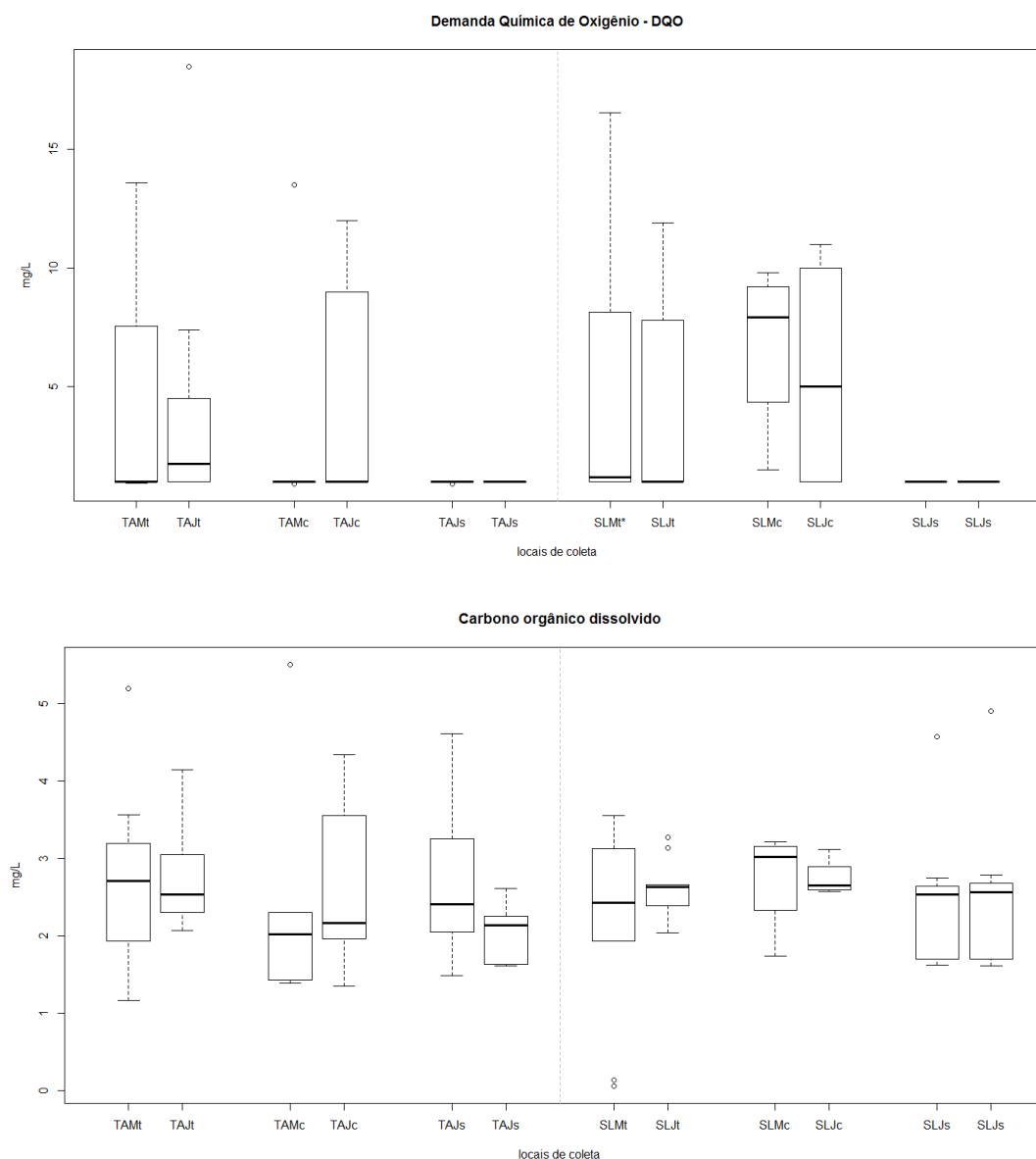


Figura 31. Variação espaço-temporal da DQO e Carbono orgânico dissolvido a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$.

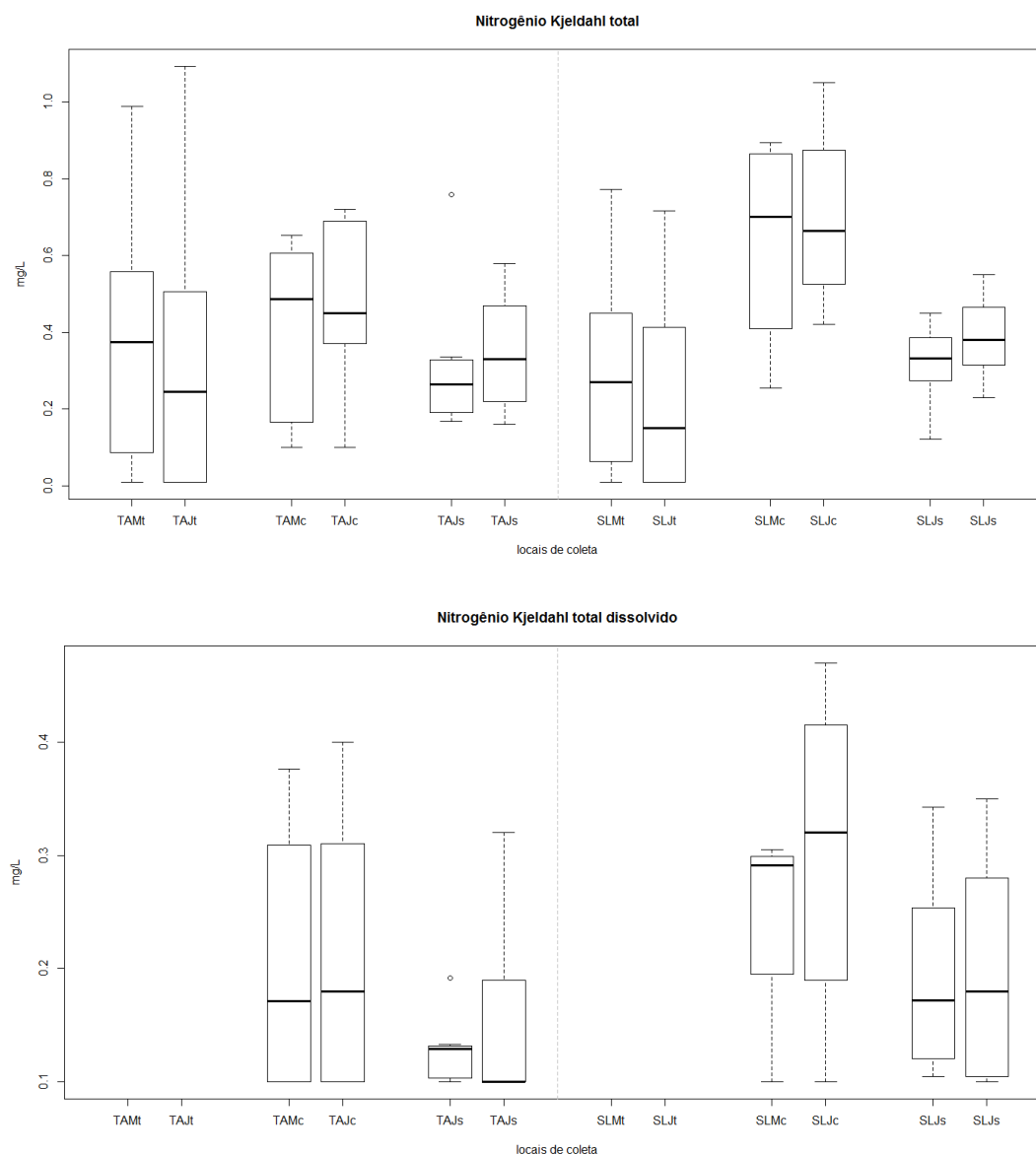


Figura 32. Variação espaço-temporal do nitrogênio Kjeldahl total e dissolvido a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$.

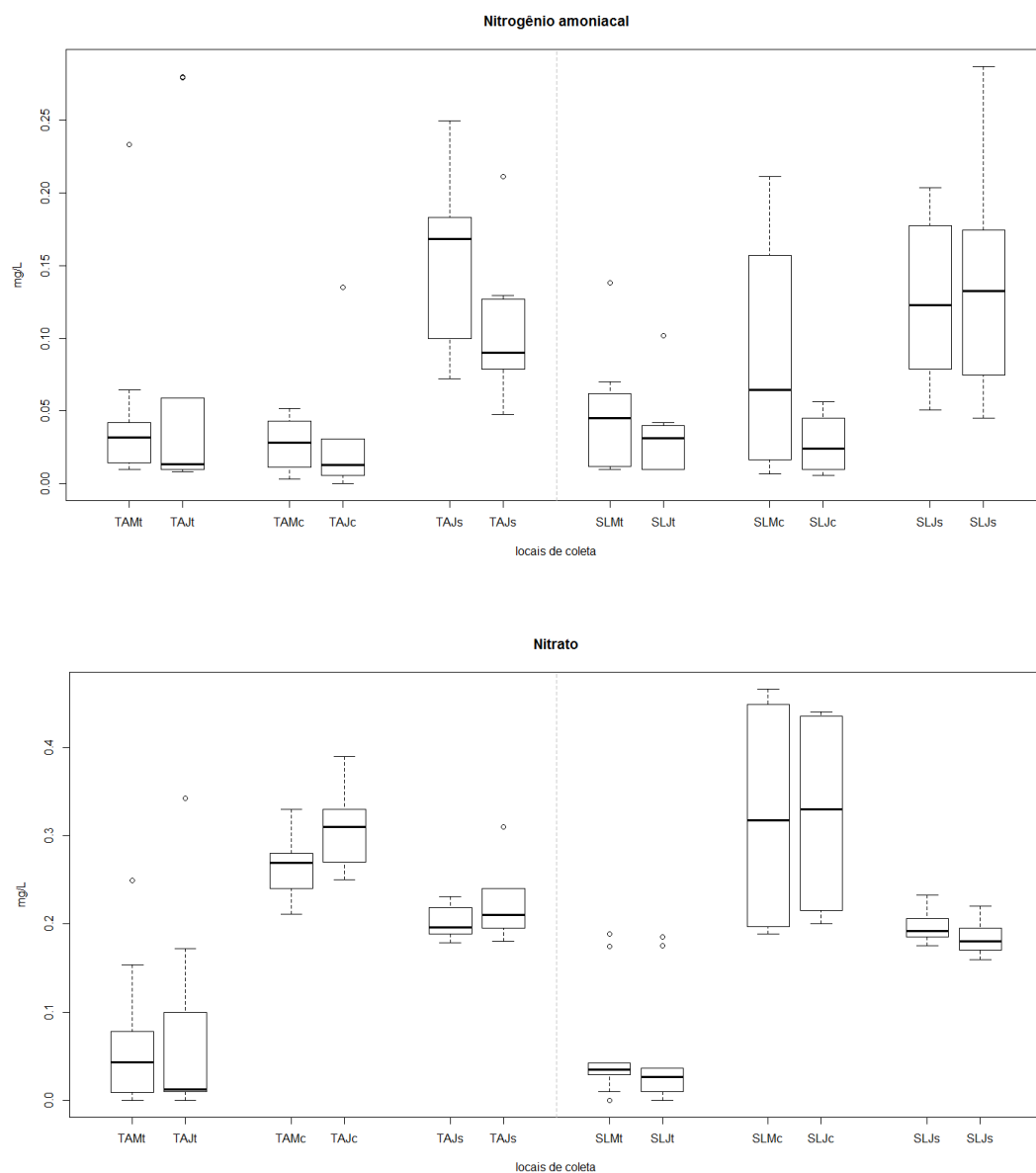


Figura 33. Variação espaço-temporal de nitrogênio amoniacal e nitrato a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$.

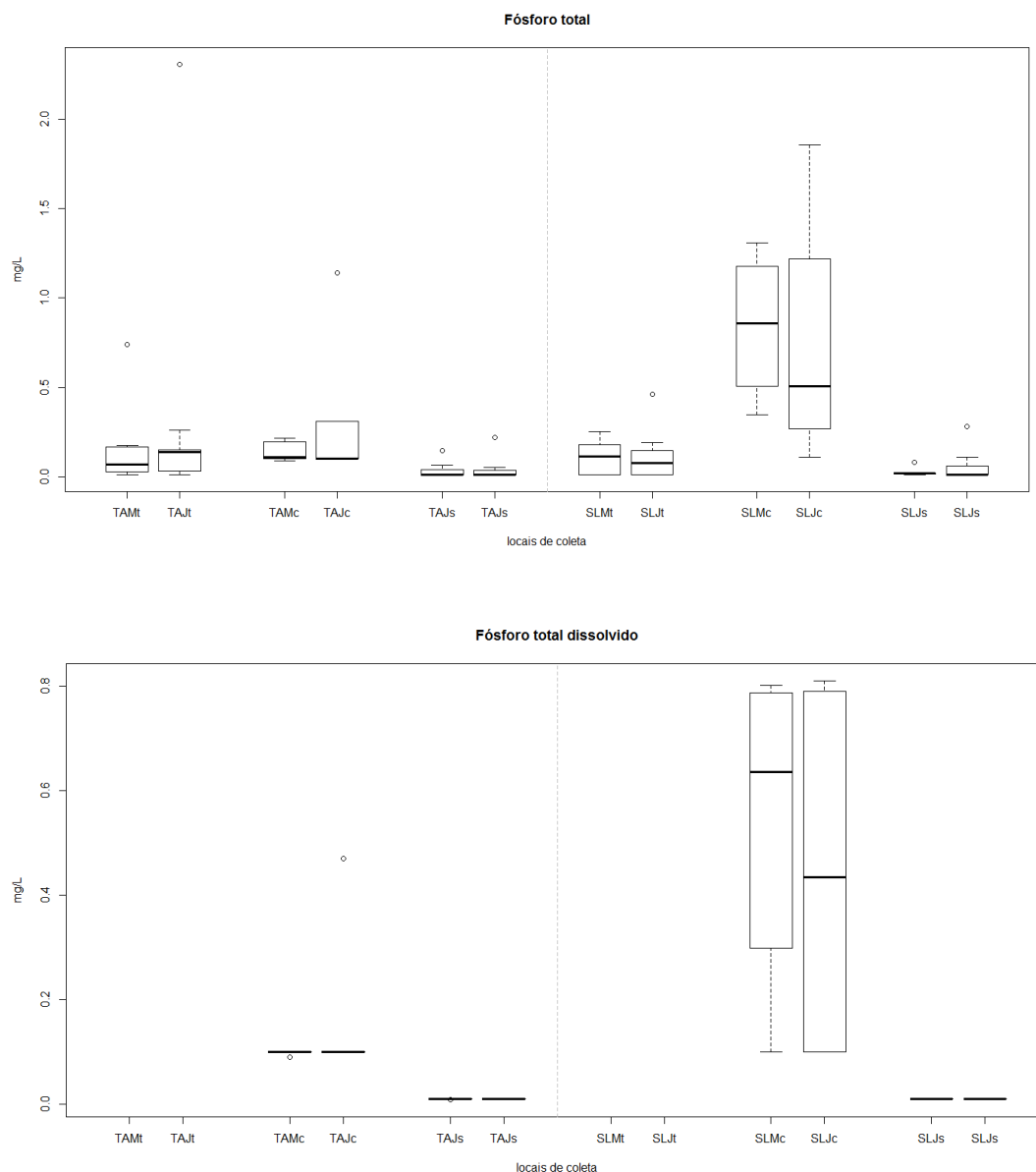


Figura 34. Variação espaço-temporal de nitrogênio amoniacal, nitrato e fósforo total a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$.

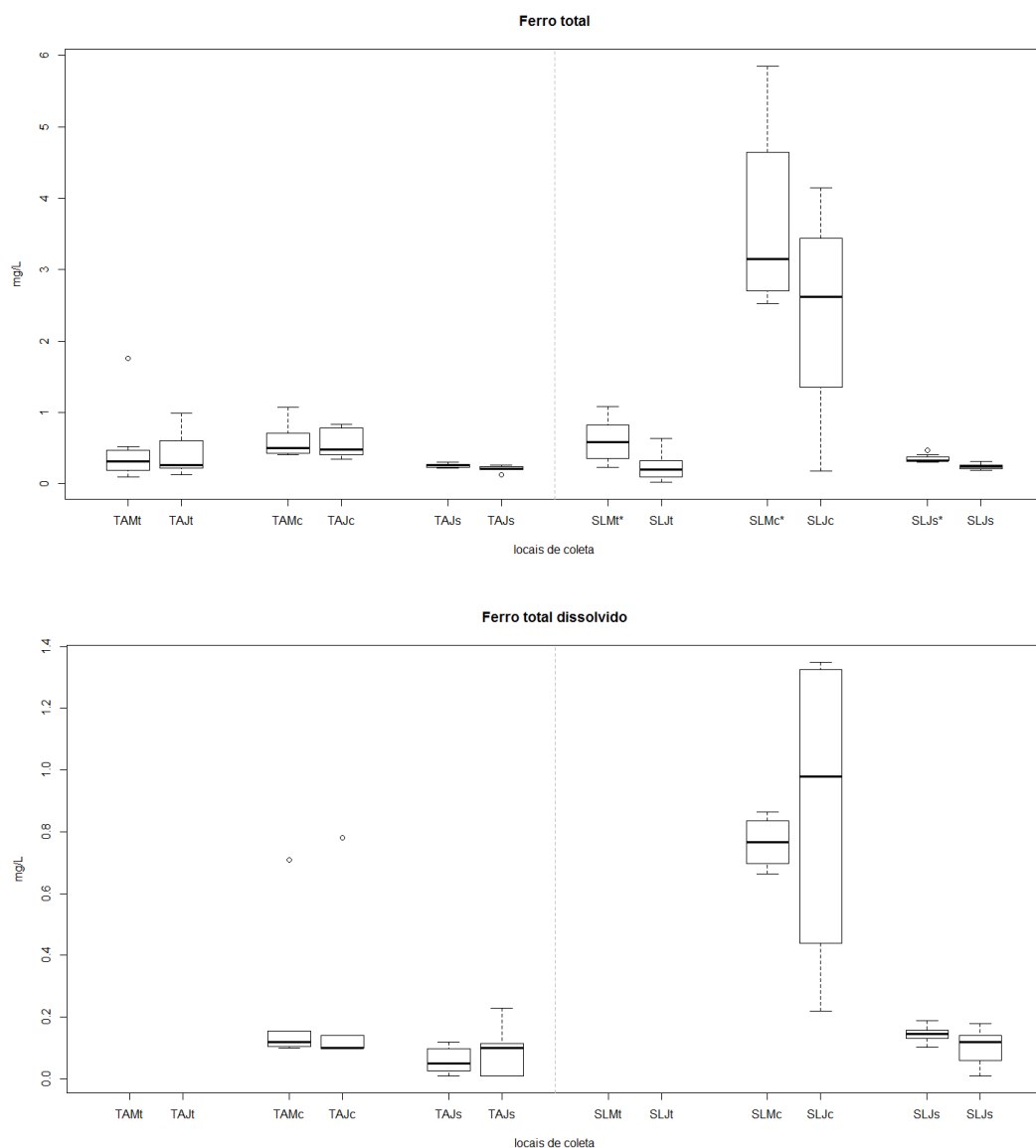


Figura 35. Variação espaço-temporal do ferro total e ferro dissolvido a montante (TAM e SLM) e a jusante (TAJ e SLJ) do Complexo Tenente Amaral e da PCH São Lourenço na bacia do Alto São Lourenço, nos períodos de Transição (t), Chuvoso (c) e Seco (s), entre 2014 e 2015. * Significância da diferença entre a montante e a jusante indicada pelo teste de Friedman, considerando $\alpha = 0.05$.

Os resultados obtidos neste estudo também foram comparados aos disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso, referente ao monitoramento realizado entre 2010 e 2011 no rio São Lourenço, a 32.12 km de distância a jusante do SL. Foram observadas concentrações semelhantes

para oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, DQO, nitrato e temperatura da água, maior disponibilidade de nitrogênio amoniacal, sólidos suspensos, fósforo, turbidez e cor verdadeira, e menores valores de pH (Tabela 10).

Tabela 10 Qualidade da água do rio São Lourenço, comparativo entre os resultados obtidos neste estudo e o monitoramento realizado pela SEMA (2014).

Variável	Unidade	SL	2010-2011*
pH	-	5.48 – 7.03	6.64 – 7.21
Oxigênio dissolvido	mg/L	6.15 – 8.51	6.11 – 8.04
Condutividade elétrica	µS/cm	11 – 28.7	17 – 32
DQO	mg/L	< 1 – 34	< 20 a 30
Temperatura da água	°C	22.3 – 29.8	24.8 – 29.9
Nitrato NO ₃ ⁻	mg/L N	< 0.01 – 0.63	< 0.02 – 0.72
Nitrogênio amoniacal	mg/L N	0.01 – 1.21	< 0.02
Sólidos suspensos	mg/L	< 5 – 1394	10 – 56
Turbidez	uT	1.24 – 306	12 - 236
Fósforo total	mg/L P	0.01 – 1.48	0.02 – 0.17
Cor verdadeira	uH	2 - 236	18 – 53

FONTE: *SEMA, 2014.

4.4.2 Métricas de quantificação de custo-benefício da PCHs

Os resultados da comparação entre as métricas obtidas nas PCHs de Média Queda (CASL – PCHs Pequi, Sucupira, Cambará, Embaúba, Tenente Amaral e Sete Quedas Altas) e a PCH de Baixa Queda (PCH São Lourenço) em operação na bacia do Alto São Lourenço indicaram que as primeiras apresentaram nove métricas positivas em relação a segunda (Tabelas 2 e 11).

O CASL com canal de desvio apresentou melhor relação custo-benefício em relação a PCH São Lourenço, considerando que a geração do mesmo MW altera uma menor área de drenagem, com reservatórios de menor volume, comprimento e área de inundação, além de apresentarem menores tempo de formação, tempo de residência e altura da barragem. Esse arranjo também implicou em menor movimentação de terra e utilização de concreto. Todas essas métricas estiveram diretamente relacionadas a Queda do projeto da CASL, a qual foi em média mais que o dobro da Queda da PCH São Lourenço.

O CASL apresentou também apresentou maior capacidade instalada de geração de energia elétrica, mas a geração de energia firme, ou seja, máxima produção contínua de energia que pode ser obtida, foi cerca de 17% menor do que a fornecida pela PCH São Lourenço.

Por outro lado, as alterações referentes ao Sistema de adução e Trecho de vazão reduzida estiveram presentes somente das PCHs da CASL, uma vez que são características inerentes a esse tipo de arranjo.

Tabela 11 Razão entre as principais características das PCHs e a capacidade de geração de energia (MW) das PCHs em operação na bacia do Alto São Lourenço/MT.

Métrica	Unidade	Complexo Alto São Lourenço	PCH São Lourenço	CASL/PCH SL %
Capacidade instalada	MW	38.9	29.1	-
Área de drenagem	km ² /KW	27.9	198.5	14.1
Área inundada	km ² /KW	0.01	0.4	2.9
Volume do reservatório	hm ³ /MW	0.2	3.5	4.5
Comprimento do reservatório	km/MW	0.1	0.8	13.0
Tempo de formação do reservatório	dia/MW	0.1	0.7	19.8
Tempo de residência do reservatório	dia/MW	0.2	0.3	50.1
Altura da barragem	m/MW	0.1	1.0	13.5
Queda nominal	m/MW	1.6	0.7	223.9
Sistema de adução	km/MW	0.4	0.0	-
Trecho vazão reduzida	km/MW	0.3	0.0	-
Volume de terra	m ³ /MW	15362.0	21622.5	71.0
Volume de concreto	m ³ /MW	2046.2	3384.5	60.5
Energia firme	MW/MW	0.5	0.6	83.4

Considerando a instalação de todas as PCHs previstas para a bacia, o CASL (PCHs em operação mais as PCHs Água Branca, Água Prata, Água Brava, Água Clara, Mangaba, Europa, Buriti, Ibó e Ibó-Guazu) manteve melhor desempenho na relação custo-benefício quando comparada a PCHs São Lourenço, Jaciara e Beleza juntas (Tabela 12), apesar da adição de nove empreendimentos ao CASL. Os resultados indicaram que o CASL fragmentou menos a bacia, com menor área inundada, barragens menores e menor movimentação de terra e utilização de

concreto em relação as do rio São Lourenço. Ressalta-se que as métricas movimentação de terra e utilização de concreto podem estar subestimadas devido a ausência de dados de quatro empreendimentos. As Quedas se mantiveram elevadas, devido às características naturais dessa região de planalto.

Tabela 12 Razão entre as principais características das PCHs e a capacidade de geração de energia (MW) das PCHs em operação e previstas na bacia do Alto São Lourenço/MT (Cenário futuro).

Métrica	Unidade	Complexo Alto São Lourenço	PCHs São Lourenço	CASL/SL
Capacidade instalada	MW	114,64	38,1	300
Área de drenagem	km ² /MW	15,1	151,6	10
Área inundada	km ² /MW	0,04	0,4	9
Altura máxima da barragem	m/MW	0,1	0,6	20
Queda nominal	m/MW	0,6	0,4	157
Sistema de adução	km/MW	0,3	0,0	-
Volume de terra	m ³ /MW	17117,2	18614,6	92
Volume de concreto	m ³ /MW	1457,2	2585,0	56
Energia firme	MW/MW	0,5	0,6	85

A análise dos resultados das métricas Sistema de adução e Trecho de vazão reduzida indicou que o córrego Saia Branca atualmente é o que apresenta maior comprometido de seu canal principal, onde 90% da vazão média é desviada por um trecho equivalente a 21% do canal principal por canais de adução e condutos forçados e que 14% do trecho natural recebe, em grande parte do tempo, o equivalente a 10% da vazão média, ou até menos. As drenagens Tenente Amaral e Ibó apresentaram porcentagens equivalentes para áreas afetadas por Sistemas de adução e reservatório (10,1 e 11,9%) e TVR (4,7 e 5,5%), respectivamente. Esses rios e córregos são drenagens menores com características muito favoráveis para a instalação de PCHs com canal de derivação, devido aos desníveis (Tabela 13).

No rio principal da bacia do Alto São Lourenço 3,9% de seu comprimento total está ocupado pelo reservatório da PCH homônima, uma vez que o arranjo não conta com canal de derivação.

Considerando o prognóstico de que todos os estudos em andamento resultem em novas PCHs, as sub-bacias dos córregos Ibó, Prata e Beleza serão as mais afetadas com ocupação de 15 a 20% do curso dos canais principais por reservatórios e desviados por canais de derivação. As sub-bacias do Tenente Amaral, Saia Branca e São Lourenço apresentaram pequeno incremento, com porcentagens semelhantes às atuais (Tabela 13; Figura 36).

Tabela 13 Percentual do comprimento dos rios da bacia do Alto São Lourenço afetados por canais de derivação e reservatórios e trechos de vazão reduzida por PCHs em operação (atual) e previstas (futuro).

Drenagem	Sistema de adução e reservatório (%)		Trecho de vazão reduzida - TVR (%)
	Atual	Futuro	Atual
Tenente Amaral	10,1	11,6	4,7
Saia Branca	20,6	20,6	13,7
Ibó	11,9	20,1	5,5
São Lourenço	3,9	5,5	-
Prata	-	20,1	-
Beleza	-	15,4	-

FONTE: Relatórios de Estudos Ambientais disponibilizados pela SEMA.

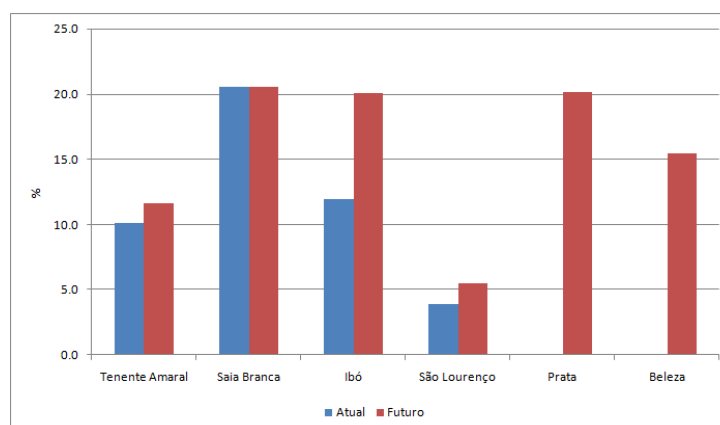


Figura 36. Percentual do comprimento dos rios da bacia do Alto São Lourenço afetados por canais de derivação e reservatórios e trechos de vazão reduzida por PCHs em operação (atual) e previstas (futuro).

4.2.2 SEDIMENTOS

As análises granulométricas realizadas no sedimento do leito dos rios avaliados (Tabela 14) indicaram que a maior parte do sedimento foi composto por areia com granulometria variando entre areia muito grossa a areia fina, com predominância de areia média nos dois meses avaliados.

Tabela 14 Composição granulométrica do sedimento do leito dos rios Saia Branca (SB), Brilhante (BR), Tenente Amaral (TA), Tenente Amaral jusante das PCHs (TAJ), Areia (AR), São Lourenço (SL) e São Lourenço jusante da PCH São Lourenço (SLJ) na bacia do Alto São Lourenço, entre 2014 e 2015. AMG (Areia Muito Grossa), AG (Areia Grossa), AM (Areia Média), AF (Areia Fina), AMF (Areia Muito Fina), Silte.

Mês	Corpos d'água	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte
Outubro/14	TA	0	3	82	15	0	0
	BR	1	21	10	67	1	0
	SB	33	40	22	4	0	1
	TAJ	14	17	48	20	1	0
	SL	63	10	19	8	0	0
	AR	1	20	74	4	0	0
	SLJ	1	6	67	25	0	0
Agosto/15	SB	0	2	59	35	3	0
	TA	0	11	80	9	0	0
	BR	0	0	10	79	10	1
	TAJ	0	1	39	53	6	1
	AR	0	5	94	1	0	0
	SL	0	10	84	5	0	0

Nas observações *in situ* e imagens de satélites (Figuras 37, 38 e 39; Tabela 15) foi possível verificar a acumulação de sedimentos nas áreas de transição rio-reservatório da PCH Pequi, no rio Tenente Amaral, e PCH São Lourenço nos rios Prata, Areia, Beleza e São Lourenço.

Nas imagens obtidas antes da construção das usinas foi possível observar pequenas áreas de deposição de sedimento distribuídas ao longo dos rios e nas

imagens posteriores a construção a evidente acumulação pontual nas áreas de transição rio-reservatório. No rio Saia Branca foi possível estimar o estabelecimento de 1,1 ha de um banco de areia em 21 meses após o barramento (Figura 37). Nas usinas a montante, MCH Sereno, e a jusante, PCH Sucupira, não foi evidenciada a formação de bancos de areia aflorando na superfície da água.

Nas áreas de transição rio-reservatório da PCH São Lourenço também foi possível verificar o aumento dessas áreas de sedimentação na foz dos rios menores como Beleza (0,5 ha), Prata (1,45 ha) e Areia (2,76ha), e no São Lourenço (216,14 ha) em um intervalo aproximado de 4 a 5 anos após a construção da usina (Figuras 37, 38 e 39; Tabela 15).

Nas PCHs do Tenente Amaral a gestão de sedimentos é feita em intervalos regulares através de dragagem no período chuvoso, quando o aporte de sedimentos é maior. O sedimento liberado das PCHs da bacia do Tenente Amaral, quando chegam ao rio principal, encontram o barramento da PCH São Lourenço, colaborando com a formação de uma extensa área de depósito de areia na zona de transição rio-reservatório (Figura 39).

A não padronização temporal das imagens disponibilizadas no Google Earth Pro implica em uma margem de erro nas medições, devido a algumas diferenças entre os meses avaliados, principalmente na sua relação com a ocorrência de chuvas.

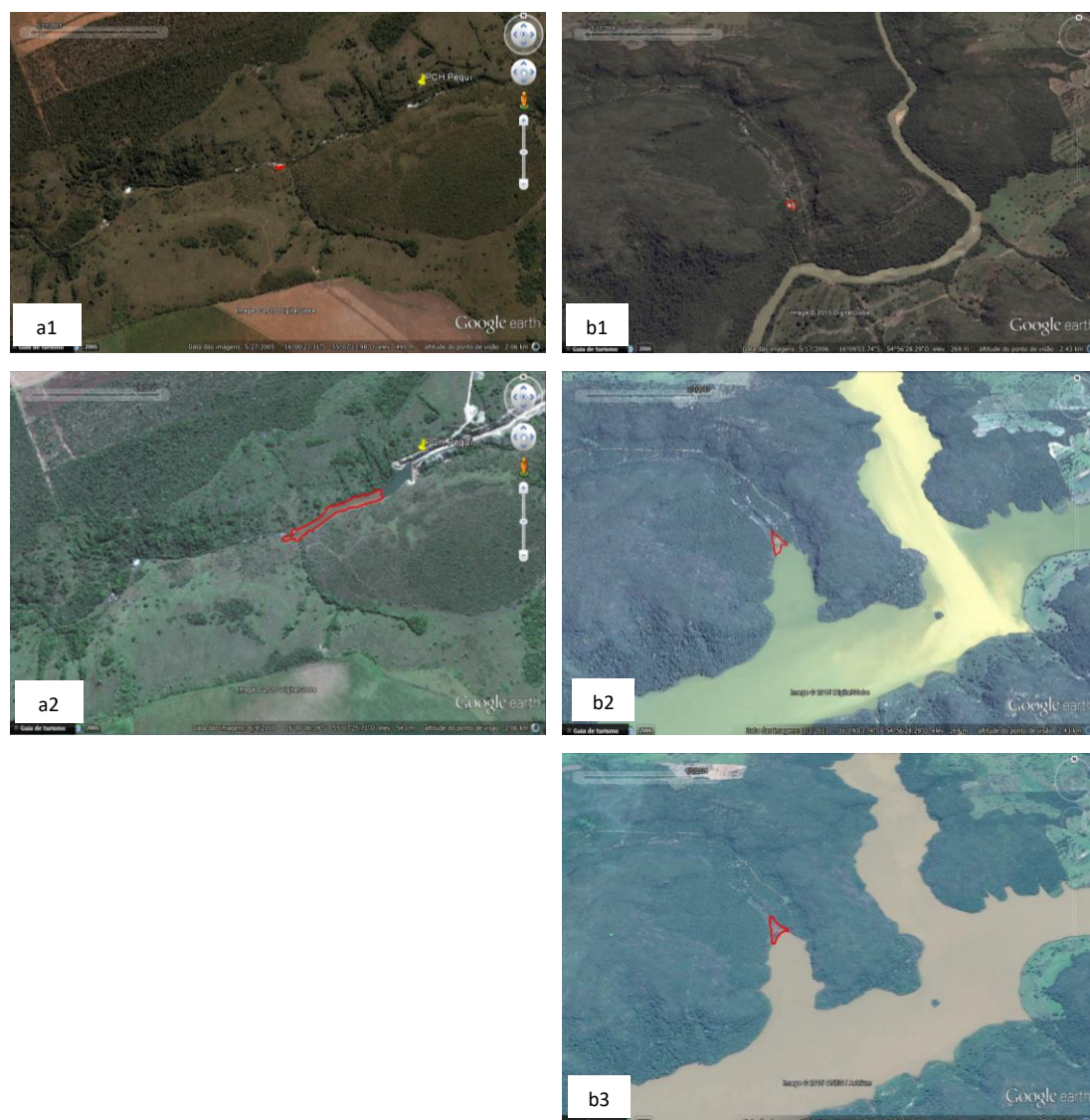


Figura 37. Imagens do Google Earth Pro mostrando as áreas de depósito de sedimentos (em vermelho) nos rios Saia Branca (a) e Beleza (b), antes (a1;b1) e depois (a2;b2;b3) da construção dos reservatórios das PCHs Pequí (a) e São Lourenço (b).

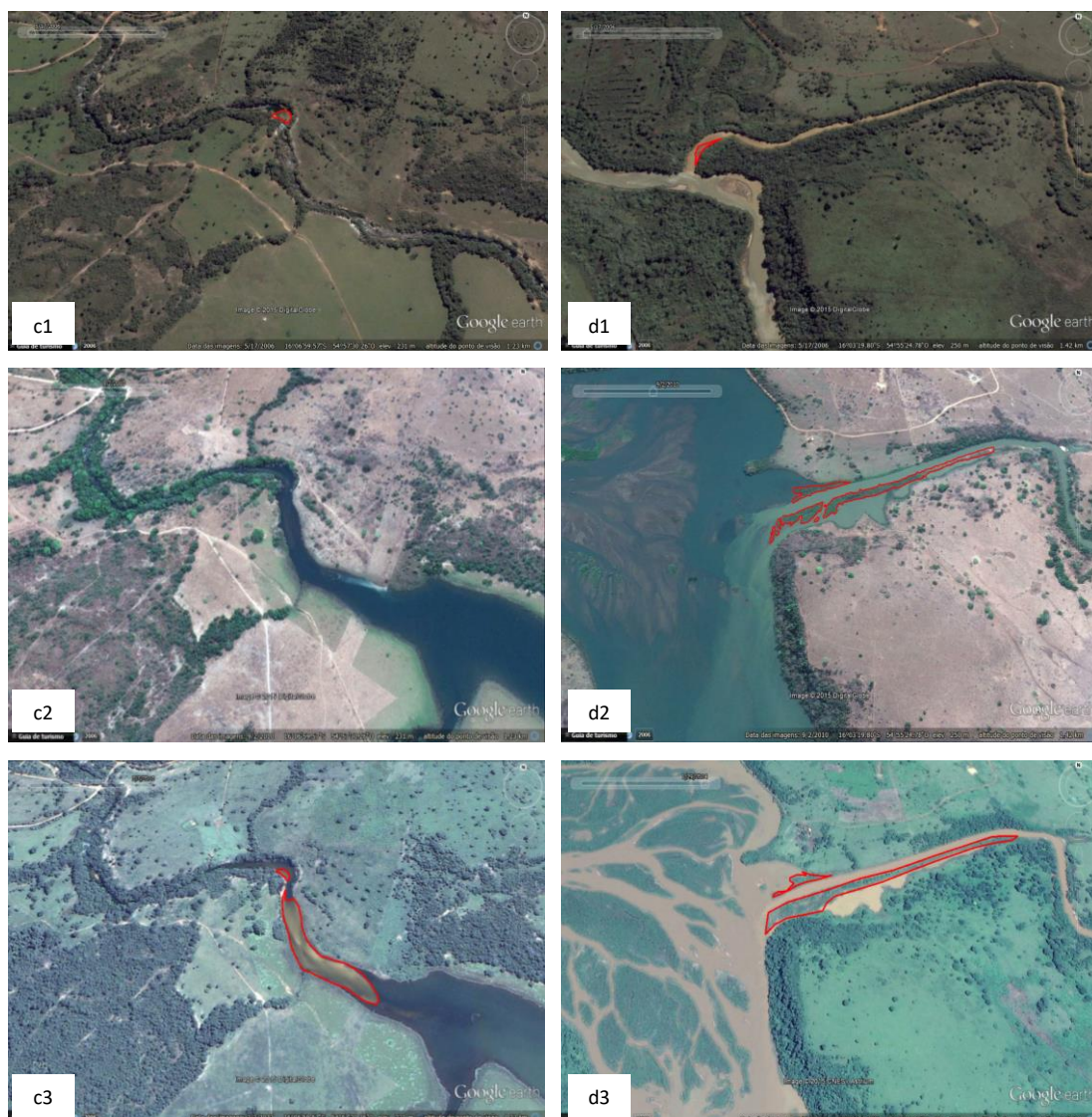


Figura 38. Imagens do Google Earth Pro mostrando as áreas de depósito de sedimentos (em vermelho) nos rios Prata (c) e Areia (d), antes (c1;d1) e depois (c2; c3; d2; d3) da construção do reservatório da PCH São Lourenço.

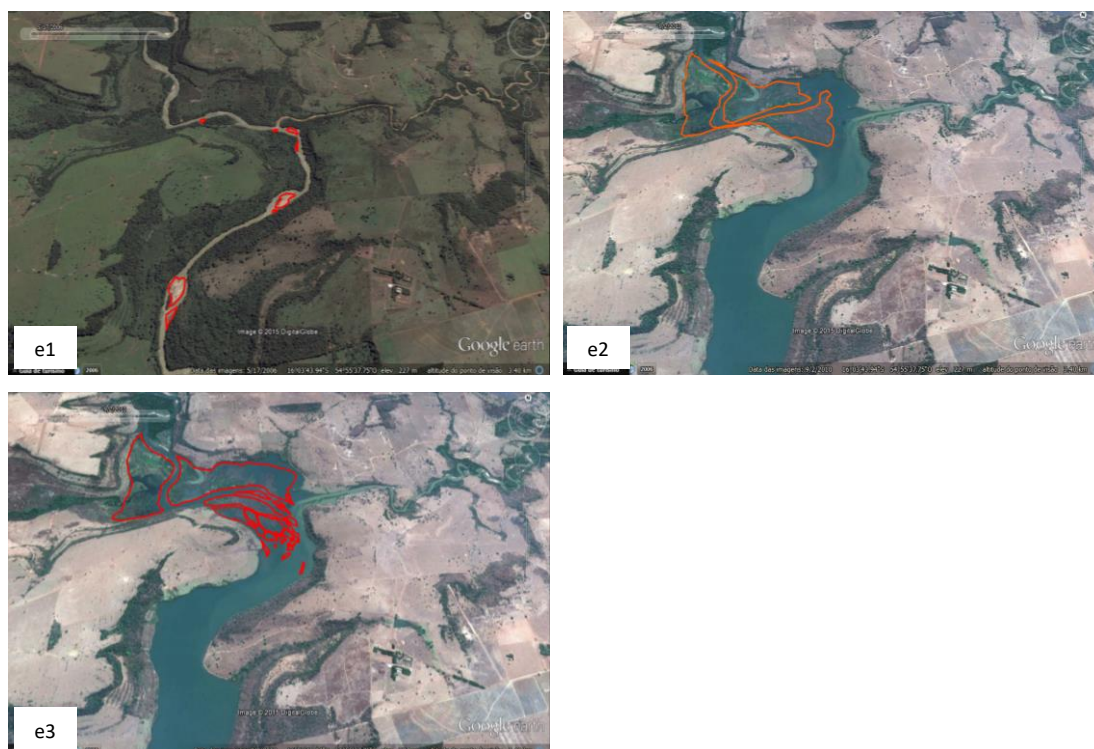


Figura 39. Imagens do Google Earth Pro mostrando as áreas de depósito de sedimentos (em vermelho) no rio São Lourenço antes (e1) e depois (e2; e3) da construção do reservatório da PCH São Lourenço.

Tabela 15 Áreas de depósitos de sedimento a montante das PCHs Pequi e São Lourenço.

		Área com acúmulo de sedimento (ha)				
		Data da imagem				
		Pré barramento		Pós barramento		
		27/05/2005	17/05/2006	06/09/2010	03/03/2013	29/01/2014
Rio	Início da operação da usina					
Saia Branca	PCH Pequi - 05/12/2008	0,02	-	1,12	-	-
Areia	PCH São Lourenço - 28/04/2009	-	0,12	2,06	-	2,88
Prata	PCH São Lourenço - 28/04/2009	-	0,11	0,0	1,56	-
Beleza	PCH São Lourenço - 28/04/2009	-	0,21	-	0,71	0,91
São Lourenço	PCH São Lourenço - 28/04/2009	-	4,47	100,49	-	220,61

FONTE: Medidas feitas a partir das imagens do Google Earth Pro, versão 7.1.5.1557.

5.0 DISCUSSÃO

5.1 QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO ALTO SÃO LOURENÇO

Os rios da bacia do Alto São Lourenço apresentam níveis baixos de solutos e nutrientes e, conseqüentemente, condições oligotróficas para a produção primária aquática. A água apresentou pH ácido a circun neutro, baixa condutividade elétrica, assim como baixas concentrações de compostos nitrogenados e de carbono orgânico, principalmente nos tributários, com exceção do rio Areia. O fósforo total foi o mais expressivo dos nutrientes, principalmente no período Chuvoso, apesar da baixa concentração da forma dissolvida, que tende a ser mais biodisponível e alterar o grau de trofia dos ambientes aquáticos, salvo eventos pontuais no rio São Lourenço no período Chuvoso.

O fator antrópico de maior impacto na qualidade da água desta bacia resultou da interação entre a característica natural do solo, suscetibilidade a erosão e o seu principal uso, agropecuária. Essa combinação implica na alteração da qualidade da água e assoreamento dos cursos d'água, bem evidenciados no período chuvoso, quando o escoamento superficial é potencializado, indicado pela elevação das concentrações de variáveis relacionadas ao carreamento do solo para dentro dos corpos d'água, como sólidos suspensos, turbidez, fósforo total e ferro total (FIGUEIREDO E CRUZ-FANTIN, 2014). A baixa conservação das matas ciliares e as voçorocas, principalmente nas cabeceiras dos rios de pequena ordem (JOSELIR, 2016), também é um fator de extrema relevância para essa condição.

As diferenças nas características químicas e físicas da água encontradas entre o período Chuvoso e Seco para as variáveis pH, condutividade elétrica, nitrato, fósforo total, fósforo total dissolvido, ferro total, ferro total dissolvido, turbidez, sólidos suspensos e cor verdadeira, indicaram o aporte de materiais alóctones para dentro dos corpos d'água, e relação com a sazonalidade, marcada pela ocorrência de chuvas, baixa conservação e elevada erodibilidade da bacia do Alto São Lourenço.

A bacia do São Lourenço foi classificada pela SEMA (2014) como a de maior erodibilidade da BAP, caracterizada por solos frágeis e suscetíveis a erosão, baixa cobertura de mata ciliar e elevada proporção de lavouras. Os processos erosivos também foram registrados por De Jesus (2013) e Wantzen & Mol (2013), assim como a redução da infiltração do solo em áreas agrícolas na sub-bacia do rio Tenente Amaral por Hunke (2015), o que aumenta o escoamento superficial e seus efeitos sobre o deslocamento de terra.

Allan (2004) descreve que córregos em bacias hidrográficas agrícolas geralmente permanecem em boas condições até que a extensão da agricultura ocupe uma área de montante equivalente a 30 a 50%. Essa porcentagem foi ultrapassada para a sub-bacia do Tenente Amaral, pois segundo Klemp (2015) em 2011 cerca de 77.8% do solo da bacia do Tenente Amaral apresentava usos antrópicos, principalmente por culturas de cana-de-açúcar (21.8%), soja (19.5%) e pastagem (19.7%).

O incremento nas concentrações das variáveis alteradas, descritas anteriormente, pode ser atribuído ao escoamento superficial, principalmente de solos fertilizados e com correção de acidez (calagem), considerando a agricultura e a pastagem como as principais atividades da bacia (WWF, 2015).

A prática da calagem consiste na mistura do solo com calcário para reduzir a acidez; fornecer suprimento de cálcio e magnésio para as plantas e estimular o crescimento das raízes; aumentar a disponibilidade de fósforo, uma vez que diminui os sítios de fixação no solo; diminuir a disponibilidade de alumínio e manganês através da formação de hidróxidos, que não são absorvidos; aumentar a mineralização da matéria orgânica; favorecer a fixação biológica de nitrogênio; aumentar a agregação do solo, pois o cálcio é um cátion flocculante e, com isso, diminuir a compactação (EMBRAPA, 2016).

Essa técnica convencional é amplamente utilizada no Estado de Mato Grosso (PERH, 2009), incluindo a sub-bacia do rio Tenente Amaral. Klemp (2015) e Hunke (2015) indicaram uso médio de 0.5 a 3 ton/ha de calcário pelo menos uma vez ao ano nas áreas que cultivam soja, milho e algodão, principalmente entre os meses de

novembro a março (período Chuvoso), nesta bacia. Culturas de ciclos mais longos como cana-de-açúcar e eucalipto também fazem uso da técnica, além das pastagens.

A influência da chuva na qualidade da água da bacia do São Lourenço, também foi registrada por Rezende Filho et al (2013), os quais inferem que os rios dessa bacia no período Seco são alimentados exclusivamente por fluxos de base das formações de arenito, com baixa disponibilidade de cátions e ânions, e durante a estação chuvosa, ocorrem as maiores contribuições do escoamento superficial dos extensos sistemas agrícolas da bacia.

No período de Seca a água dos rios apresentaram as temperaturas mais amenas, assim como a do ar, e as maiores concentrações de oxigênio dissolvido, tendo em vista a relação entre a solubilidade dos gases e a temperatura (Esteves, 2011), assim como a baixa quantidade de matéria orgânica presente na água neste período. A maior oxigenação dos rios da sub-bacia do Tenente Amaral e Prata em relação ao São Lourenço e Areia foi favorecida pela incorporação do oxigênio atmosférico, devido aos inúmeros desníveis naturais existentes.

A acidez e a baixa condutividade elétrica encontradas nos rios da sub-bacia do Tenente Amaral e Prata, independente do período, são compatíveis com rios de pequena ordem que drenam solos ácidos e distróficos característicos do Cerrado, assim como o encontrado por Silva et al. (2010) e Parron et al. (2010).

Os resultados deste estudo também corroboram com Wantzen (2003), que fez estudos na bacia do Tenente Amaral na região do Brilhante entre os anos de 1994 e 1995, onde registrou pH entre 3.3 e 7.2, baixa concentração de íons (condutividade 2.5 e 7.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e nitrato ($< 0.05\text{mg}/\text{L}$), e boa oxigenação (6 – 8 mg/L), além do efeito sazonalidade nas vazões marcadas por oscilações no período Chuvoso e estabilidade no Seco.

O pH mais circuneutro registrado no São Lourenço, em relação ao outros rios avaliados, provavelmente tem relação com a heterogeneidade geológica, pedológica e de usos do solo nas áreas de drenagens dos afluentes formadores do São Lourenço. Esses resultados corroboram com Rezende Filho et al. (2013) em relação ao pH (6.97 – 7.02) e condutividade elétrica (18.17 e 38 $\mu\text{S}/\text{cm}$), apesar do presente estudo ter

registrado valores mais ácidos (5.49 – 7.03), provavelmente devido ao ponto de coleta deste estudo estar mais próximo as cabeceiras da bacia. Os resultados encontrados no rio Areia também corroboram com os encontrados pelos autores.

O rio Areia vem de um histórico de degradação desde a década de 30 devido a atividade de extração de diamante (SVISERO, 1995), seguida da agropecuária e urbanização. Esse rio atualmente ainda possui as cabeceiras degradadas pelo garimpo e está sujeito ao aporte de efluentes urbanos e agrícolas (PAULA et al., 2013). Essas atividades, o tipo de solo (Podzólico/Argissolo) e a degradação da mata ciliar implicaram em sérios problemas de erosão e assoreamento, os quais uniformizaram a calha do rio, resultando em baixas profundidades e fundo arenoso, entre outros aspectos, implicando em elevadas temperaturas, menor oxigenação, pH menos ácido e maior condutividade, apesar da oxigenação disponível não ser restritiva a biota aquática, segundo Conama 357/05, Art. 15.

No rio Tenente Amaral foi observado que a condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos apresentaram dinâmica inversa aos outros rios avaliados, provavelmente devido à diluição dos íons da água subterrânea com a superficial no período Chuvoso, mas a atividade agrícola e a formação pedológica nas cabeceiras também podem ter contribuído para essa diferença, apesar de não detectada em outras variáveis.

As maiores concentrações de cor verdadeira registradas no período Chuvoso relacionaram-se ao aporte de ferro total e dissolvido, proveniente dos solos. Uma vez que os Latossolos apresentam elevados teores desse metal. Os baixos valores de carbono dissolvido, independente do período avaliado, sugerem que a coloração da água é mais influenciada por minerais do que por compostos orgânicos refratários, como ácidos húmicos e fúlvicos. Esses resultados indicam que as veredas que margeiam os cursos os rios de cabeceira da bacia do Alto São Lourenço, especialmente na sub-bacia do Tenente Amaral, apresentam baixa contribuição de matéria orgânica na forma dissolvida, considerando que são fontes de entrada de COD em lagos e rios (DOSSKEY & BERTSCH, 1994). Em sistemas fluviais, a proporção dessas áreas tende a explicar a variabilidade do COD (GERGEL et al. 2002), uma vez que a exportação de solos predominantes na bacia (minerais) tende a

ser relativamente baixa devido a provável ocorrência de co-precipitação com ferro férrico, ou adsorção à argilas ricas em ferro e alumínio (KOPRIVNJAK e MOORE, 1992; MOORE et al., 1992).

Os sólidos em suspensão e a turbidez também apresentaram incremento no período Chuvoso, como era esperado, indicando também o manejo inadequado das áreas agrícolas (MATO GROSSO, 2014). A turbidez e o fósforo são indicadores de maiores níveis de erosão do solo em terras agrícolas (URIARTE et al. 2011), uma vez que o aumento do escoamento superficial, devido à chuva intensa, frequentemente causa a erosão do solo, aumentando o transporte de sedimentos em suspensão em águas correntes e, conseqüentemente a deposição desses sedimentos nos ecossistemas aquáticos (DUDGEON, 2008).

As concentrações de DQO apresentaram maiores oscilações nos períodos de Transição e Chuvoso, provavelmente devido a baixa disponibilidade de carbono e maiores aportes de ferro, considerado um interferente analítico pelo APHA (2012). Neste caso a DQO, considerando os baixos teores de carbono orgânico dissolvido mensurados, não foi considerado um bom indicador para inferência do carbono lábil e refratário na bacia de drenagem.

A fertilização e a calagem dos solos nas áreas agricultáveis da bacia do São Lourenço são questões importantes em relação a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, uma vez que a bacia do São Lourenço apresenta afloramentos areníticos e sedimentos aluvionares não consolidados de caráter arenoso que são altamente vulneráveis a contaminação, devido a permeabilidade por seu alto grau de condutividade hidráulica (MATO GROSSO, 2009).

Os rios avaliados, mesmo considerando a permeabilidade e o histórico de uso intensivo pela agricultura de sua bacia de drenagem, iniciado em 1947, com as primeiras lavouras, e consolidado em 1975 com a tecnologia para plantação da soja no cerrado em grande escala (<http://www.jaciara.mt.gov.br/?pg=historia>), não apresentaram resultados expressivos de nitrogênio Kjeldahl total e dissolvido, nitrogênio amoniacal e nitrato, salvo eventos pontuais no período chuvoso. As concentrações obtidas e a semelhança entre os resultados em todos os períodos avaliados para o nitrogênio Kjeldahl e amoniacal, indicaram um baixo aporte desses

compostos e/ou uma rápida metabolização pelos corpos d'água, mesmo no rio Areia que recebe influência de fontes agrícolas e urbanas. A utilização de leguminosas fixadoras de nitrogênio nas áreas agrícolas seria um fator a ser considerado.

Segundo Graeber et al. (2015), a agricultura ocupa aproximadamente 40% da superfície terrestre e tende a afetar as características hidromorfológicas, biogeoquímicas e ecológicas das redes fluviais. Essa atividade foi responsável pelo aumento significativo das concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrato e amônio) em sistemas fluviais mundiais e tornou a composição da matéria orgânica dissolvida mais agradável a microbiota, resultando na maior produtividade dos ecossistemas aquáticos. No entanto, essa condição não é característica das regiões de clima tropical, como o Brasil, devido as baixas quantidades de fertilizantes nitrogenados utilizadas atualmente e no passado, muito inferiores as consumidas regiões de clima temperado do norte. No entanto, os autores sugerem que esse cenário é uma tendência também para países sub-desenvolvidos e em desenvolvimento.

A área de estudo apresenta características que conferem vulnerabilidade aos rios, em relação à contribuição do fluxo de base devido a elevada permeabilidade do solo e à contínua adição de nutrientes e calcário na área de drenagem, os quais favorecem a lixiviação de nutrientes, principalmente do nitrato e fósforo. Entretanto, as concentrações de nitrato em todos os períodos analisados e de fósforo no Seco, não indicaram incremento importante desses nutrientes, especialmente no período de estiagem, quando a contribuição do escoamento superficial é inexpressivo.

As características naturais desses solos, ao que parece, reduzem a mobilidade desses nutrientes no perfil vertical devido as suas características químicas como pH ácido e elevadas concentrações de metais como alumínio, ferro e manganês. A maior proporção de cargas positivas encontradas em Latossolos oxídicos retarda o movimento do nitrato no solo e, conseqüentemente sua lixiviação, apesar da mobilidade comprovada desse íon (SANTOS, 2004) a baixa mobilidade do fósforo nos Latossolos argilosos e oxídicos é relacionada a sua elevada capacidade de adsorção e fixação (NOVAIS & SMYTH, 1999). O H_2PO_4^- fica ligado fortemente à parte sólida, não sendo facilmente liberado para a solução para ser transportado.

Assim, em geral, em Latossolos o risco de lixiviação de fosfato é muito baixo (RISKIN et al., 2013; SANTOS, 2004; HANSEN et al., 2002).

Segundo estudos de Neill et al. (2013), em uma fazenda de soja com características semelhantes ao presente estudo, na bacia Amazônica em Mato Grosso, a combinação de solos profundos, onde predomina o fluxo hidrológico vertical, com abundância de ferro e óxidos de alumínio, resulta em um baixo potencial de lixiviação de fósforo a partir de campos de soja para águas subterrâneas. Os resultados obtidos pelos autores para nitrato ($0,18 \pm 11$ mg NO_3^-/L) e fósforo ($0,024 \pm 0,009$ mg PO_4^-/L) corroboraram com os encontrados neste estudo, sendo que para o fósforo foram considerados somente os resultados do período Seco, no qual foi registrada mediana de $0,01$ mg PO_4^-/L .

O mesmo estudo supracitado também não encontrou diferença significativa de nitrato em água subterrânea e superficial entre áreas naturais e com plantio de soja, apesar de terem sido registradas maiores concentrações nas camadas mais profundas de solos com soja, sugerindo que esse tipo de solo também exerce uma capacidade de retenção do nitrato, impedindo sua lixiviação para água subterrânea e superficial.

Silva e Migliorini (2014), em estudo da água subterrânea hidrotermal na mesma região deste estudo, encontraram concentrações de nitrato inferiores ao limite de detecção do método adotado, corroborando com os resultados aqui obtidos. O fósforo não foi avaliado por estes autores.

Apesar da elevada e crescente demanda por fósforo nas áreas agricultáveis no estado de Mato Grosso e no Cerrado, a ocorrência de Latossolos e Argissolos, que apresentam menores estoques naturais de fósforo e maior capacidade de ligação a este elemento, restringe sua disponibilidade para as plantas e aos primeiros 20 centímetros de profundidade, tornando pouco provável sua lixiviação para os rios (RISKIN et al., 2013a; RISKIN et al., 2013b).

O fósforo total dissolvido, que compreende as formas orgânicas e inorgânicas, pode ser transformado, através da fixação pela produtividade primária, em particulado orgânico e este mineralizado, retornando à forma dissolvida. O ortofosfato, também pode ser sorvido ou co-precipitado com óxidos, argilas e matéria

orgânica. Tanto a forma dissolvida quanto particulada do fósforo dissolvido podem sedimentar no hipolímnio ou no sedimento (MAAVARA et al. 2015). Neste contexto, os resultados indicaram que no período de Seca, onde há predomínio de fluxo de base, o fósforo biodisponível, tanto na fração dissolvida quanto particulada orgânica, é baixa. Porém, no período Chuvoso, essa disponibilidade aumenta significativamente devido ao escoamento superficial de áreas fertilizadas e a erosão.

O fósforo pode ser considerado a variável de maior potencial de impacto na qualidade da água dessa bacia, especificamente em relação ao seu potencial de causar eutrofização, devido a sua incorporação contínua às áreas de agricultura e sua dinâmica de adsorção às partículas do solos, o que faz com que o transporte para os corpos d'água ocorra em maior proporção pelo escoamento superficial e não encontre uma barreira natural efetiva como as matas ciliares, as quais segundo Weller et al. (1998), agem como sumidouros de nutrientes.

Neste contexto, os resultados deste estudo corroboram com os obtidos por Uriarte et al (2011), no registro de maiores concentrações de fósforo no período de maior vazão e em córregos de bacias hidrográficas dominadas por pastagens e agricultura, como é o caso da bacia do Alto São Lourenço. Dentro dos corpos d'água, o fósforo tende a ficar retido no sedimento, sendo uma pequena parte dissolvida e convertida em ortofosfato assimilável pela biota.

Na mesma área deste estudo, Hunke (2015) utilizou a ferramenta SWAT para modelar as características do solo, água e ocupação do solo, com coletas de dados entre os anos de 2010 e 2011, principalmente na região das cabeceiras. Considerando somente os locais de coleta comuns aos dois estudos, foram encontradas concentrações equivalentes de nitrato (0,278 – 0,494 mg/L), com maiores valores no Tenente Amaral, e de fósforo total (0,01 – 0,396 mg/L), salvo *outliers* oriundos do escoamento superficial no presente estudo, assim como a condutividade elétrica (4 – 8 μ S/cm), pH (5,42 – 6,96) e temperatura da água (20,71 – 25,71°C). A oxigenação da água foi inferior às mensuradas no presente estudo (5,42 – 6,96 mg/L). O mesmo estudo não encontrou nenhuma deposição de N e P nos horizontes mais profundos do solo.

Espacialmente, como o observado na análise de agrupamento os rios Areia e São Lourenço apresentaram água com características distintas dos rios da sub-bacia do rio Tenente Amaral e Prata, o primeiro devido ao histórico de degradação e o segundo devido a heterogeneidade e tamanho da bacia de drenagem, além da pedologia. Nesses rios a temperatura da água, pH, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos mais elevados em relação aos rios Saia Branca, Brilhante, Tenente Amaral e Prata, e menores teores de oxigênio dissolvido. No período Chuvoso as variáveis cor verdadeira, sólidos em suspensão, turbidez, DQO, fósforo total e dissolvido e ferro total e dissolvido foram bem diferenciadas dos outros. No entanto, as variáveis carbono orgânico dissolvido, nitrogênio Kjeldahl total e dissolvido, nitrogênio amoniacal e nitrato se assemelharam aos demais rios durante todo o estudo.

5.2 PCHs

A influência dos reservatórios na qualidade da água da bacia do Alto São Lourenço foi detectada no trecho da PCH São Lourenço, de Baixa Queda com arranjo clássico, e não evidenciada no Complexo Tenente Amaral, cujas PCHs são de Média Queda com canais de desvio. A dificuldade de detecção deste tipo de alteração em pequenos reservatórios também foi encontrada por Mbaka e Mwaniki (2015) em rios com barramentos inferiores a 5 metros de altura, nos quais uma média de 65% não influenciaram a qualidade da água de forma detectável. No caso do Alto São Lourenço, o estado oligotrófico das águas pode ter influenciado na detecção das alterações. No entanto, Figueiredo & Bianchini-Jr. (2008) inferem que a baixa disponibilidade iônica, facilita a identificação dos processos de decomposição e liberação de nutrientes nos reservatórios e subsidia a identificação do tipo de metabolismo predominante.

5.2.1 Os efeitos da PCH São Lourenço sobre Qualidade da Água

As principais diferenças detectadas entre montante e jusante da PCH São Lourenço foram registradas nos períodos de Transição e Seco através da redução do pH, oxigênio dissolvido, turbidez, sólidos suspensos e ferro total, e da elevação da condutividade elétrica (Tabela 9). Nestes períodos foram registrados os maiores tempos de residência (TR de 11 e 18 dias, respectivamente) e a água exportada para jusante foi oriunda predominantemente do hipolímnio do reservatório.

A redução do pH a jusante da PCH São Lourenço sugere uma possível estratificação química da água do reservatório em relação a essa variável, considerando que a água turbinada é proveniente do hipolímnio onde há maior acúmulo de matéria orgânica oriunda da bacia e da geração autóctone, com consequente intensificação dos processos de decomposição na interface água-sedimento, favorecido pelos maiores TRs. O acúmulo do gás carbônico dissolvido proveniente da decomposição diminui o pH. Dinâmica semelhante foi registrada por Fantin-Cruz et al. (2015) em setembro e fevereiro (primavera e verão) no perfil vertical do reservatório da UHE Ponte de Pedra, também localizado no planalto da BAP e com características semelhantes a PCH São Lourenço, como TR médio de 14 dias, água oligotrófica e semelhantes usos do solo.

As reduções dos teores de oxigênio dissolvido a jusante da PCH São Lourenço também refletem as implicações da posição da tomada d'água e do TR sobre a intensificação dos processos de decomposição no hipolímnio. No entanto, a menor concentração de oxigênio dissolvido a jusante foi 5,39 mg/L, indicando que mesmo com a provável intensificação do consumo de oxigênio no hipolímnio (hipoxia), o déficit de oxigênio dissolvido é compensado pela passagem da água pela casa de máquinas, que promove a aeração da água, mantendo os níveis de oxigênio satisfatórios a jusante e em conformidade como os padrões legais nacionais (CONAMA 357, Art. 15 para corpos d'água de usos múltiplos).

As menores concentrações de nitrogênio amoniacal em relação ao nitrato a jusante também podem ser consideradas um indicador da oxigenação da água em sua

passaem pela casa de máquinas, pois condições aeróbias favorecem a transformação das formas reduzidas de nitrogênio, como o orgânico e o amoniacal, em formas oxidadas, como o nitrito e o nitrato, pelo processo de nitrificação, conforme descrito por Esteves (2011).

No período Chuvoso não foi observado concentrações significativamente diferentes de oxigênio dissolvido à jusante devido ao menor tempo de residência da água no reservatório e a exportação da água epilimnética pelo vertedouro, que potencializa a incorporação de oxigênio atmosférico, bem como a provável intrusão de água mais turbida, densa e oxigenada ao hipolímnio (MA et al. 2015).

No período Seco, o aumento da condutividade elétrica a jusante da PCH São Lourenço também apresentou relação com o TR e posição da tomada d'água, uma vez que a água exportada é proveniente do hipolímnio, onde os processos de decomposição são intensificados com a liberação de íons, e o maior TR influencia na renovação da água, corroborando com Fantin-Cruz et al (2015) que também evidenciou estratificação química para a condutividade no mesmo mês no reservatório da UHE Ponte de Pedra.

A provável redução do pH e do oxigênio dissolvido no hipolímnio da PCH São Lourenço tende a ser catalisada pela contínua e elevada temperatura da água, quando comparado com reservatórios muito profundos e/ou de regiões temperadas, que otimiza as atividades microbianas e a decomposição da matéria orgânica, produzindo gás carbônico e consumindo oxigênio (ESTEVES, 2011).

A temperatura da água a jusante da PCH São Lourenço nos períodos Seco e de Transição, apesar de não ser significativamente diferente entre montante e jusante, apresentou maior estabilidade térmica em relação aos cursos naturais de montante, indicada pela menor amplitude térmica (Figura 4). Olden e Naiman (2010), em estudo de revisão, inferem que o regime térmico natural da água influencia diretamente a ecologia e fisiologia dos organismos.

De acordo com estes autores, reservatórios funcionam como um tampão que reduz a amplitude anual e flutuações diárias das temperaturas a jusante, pois aquece e resfria a massa d'água mais lentamente do que o rio livre. Estes efeitos térmicos da

regulação do rio por barragens variam de acordo com a posição da barragem na paisagem, modo de operação da barragem, profundidade de liberação da água e configuração geomorfológica e ambiental. Geralmente apresentam um padrão semelhante de comportamento da temperatura, com redução da temperatura na primavera e verão e elevação no inverno, comumente aplicáveis a grandes reservatórios. Este padrão não foi evidenciado estatisticamente neste estudo, apesar de haver uma tendência ao resfriamento da água na primavera (período de Transição) e aumento no inverno (período Seco). Fantin-Cruz et al (2015) também não encontrou diferença significativa de temperatura da água entre montante e jusante do reservatório da UHE Ponte de Pedra, na mesma bacia de estudo.

A jusante da PCH São Lourenço foi observado também a redução de DQO, principalmente no período de Transição, quando ocorreram as primeiras chuvas, sendo provável que esteja sendo influenciada também pela presença de ferro a montante, substância inorgânica que influencia no resultado de DQO, assim como sulfeto, nitrito, tiosulfato, manganês, cobre, níquel, cobalto e cloretos que podem ser oxidados pelo dicromato, contribuindo para a DQO nas amostras analisadas (AQUINO et al., 2006; VOGEL et al., 2000), uma vez que os resultados de carbono orgânico dissolvido foram semelhantes entre montante e jusante.

A redução de sólidos suspensos e turbidez a jusante da PCH São Lourenço estiveram relacionados ao processo físico de sedimentação das partículas mais pesadas durante a mudança de velocidade da água ao chegar ao reservatório, principalmente no período de Transição e Seco, nos quais foram registrados os maiores tempos de retenção hidráulica. Fantin-Cruz et al. (2015), também registraram redução de turbidez e sólidos suspensos pelo reservatório da UHE Ponte de Pedra no rio Correntes/MT.

No período Chuvoso foi registrada redução do pH e condutividade elétrica e elevação da temperatura da água a jusante da PCH São Lourenço. Neste período a água exportada para jusante fica menos tempo no reservatório (4,2 dias) e consiste em uma mistura da água turbinada e mais ácida do hipolímnio com a vertida e mais aquecida do epilímnio, refletindo a influência do reservatório a jusante.

A redução da condutividade elétrica e sólidos dissolvidos a jusante da PCH SL no período Chuvoso (Figura 3), pode estar relacionada com a variação temporal dessa variável nos tributários e a defasagem no reservatório, considerando que a água da chuva leva aproximadamente cinco dias do ponto mais extremo da bacia até jusante (Tempo de concentração + Tempo de residência) e a realização das coletas ocorreram em 10 dias consecutivos. Embora a mistura da água com maior quantidade de íons do epilímnio, exportada pelos vertedouros, com a de menor concentração iônica do hipolímnio, turbinada, também deva ser considerada.

No período Chuvoso, além do menor tempo de residência, a exportação da água superficial do reservatório pelo vertedouro (mais quente que a do hipolímnio), em quantidades que variam de acordo com as precipitações, tendem a promover maiores variações na temperatura da água, aumentando a temperatura a jusante em relação a montante e a amplitude térmica em relação aos outros períodos avaliados. O aquecimento foi potencializado por características morfométricas do reservatório, que possui uma área de captação da radiação solar de 12,92 km², profundidade média de 7,8 metros e uma extensa área assoreada e mais rasa na cabeceira do reservatório (zona de transição flúvio-lacustre), aliados a temperaturas do ar continuamente elevadas nesta época do ano, que favorecem o aquecimento de toda a coluna d'água. No caso de uma estratificação térmica, a água mais quente do epilímnio, exportada pelos vertedouros em abundância nesse período, atinge novo equilíbrio térmico ao se misturar a água turbinada do hipolímnio, teoricamente menos quente. O aumento da temperatura a jusante de pequenas barragens (até 15 metros de altura) também foi constatado por Mbaka e Mwaniki (2015), com uma média de ocorrência em 30% dos resultados obtidos em estudo de revisão.

A análise da mediana da temperatura da água no período Chuvoso indicou um aumento de 1,2°C na temperatura de jusante. Lessard e Hayes (2003) examinaram 10 pequenas barragens nos rios do Michigan (EUA) e descobriram que a temperatura do verão a jusante das barragens aumentou uma média de 2,7 °C e coincidiu com a redução da densidade de algumas espécies de peixes e mudança na composição de macroinvertebrados.

No período Chuvoso ocorreu maior aporte de materiais alóctones, principalmente solos, e aumento na velocidade do fluxo no reservatório, implicando em aumentos expressivos na turbidez e sólidos suspensos, mas sem diferença significativa entre montante e jusante, elevação da temperatura a jusante e semelhança no teor de oxigênio dissolvido. Estes resultados corroboram com Liu et al. (2011), os quais inferem que após chuvas intensas, o aumento do fluxo com água mais turbida entra no reservatório nas camadas mais profundas devido a sua maior densidade, resultando em uma camada hipolimnética mais turbida e aquecida (LIU et al. 2011) e melhor oxigenada (FAN & KAO, 2008), levando a desestratificação da coluna d'água (MA et al. 2015).

A jusante do reservatório da PCH São Lourenço também foi registrada a redução das quantidades de ferro total em todos os períodos avaliados, relacionados a processos físicos de sedimentação, quanto químicos de oxi-redução. Segundo Esteves (2011) em ecossistemas aquáticos com pH inferior a 7,5, baixa oxigenação e potencial redox, como provavelmente é o hipolímnio do reservatório da PCH São Lourenço, o ferro total (Fe^{+3}) é reduzido a dissolvido (Fe^{+2}) tornando-se solúvel e podendo ficar suspenso, adsorvido a partículas e complexado a substâncias orgânicas, ou precipitar sob a forma de $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCO_3 e FeS .

5.2.2 Os efeitos das PCHs do Complexo Tenente Amaral sobre a Qualidade da Água

No Complexo de PCHs do rio Tenente Amaral as diferenças significativas entre montante e jusante sugerem relação com as características e dinâmica natural da sub-bacia, sem relação aparente com as PCHs.

A elevação do pH a jusante do CTA, independente do período avaliado, indica interação da água com o leito dos rios no gradiente entre a nascente até a porção média da sub-bacia, assim como da água da cabeceira do rio Tenente Amaral, que tem pH mais elevado que os demais rios avaliados. O trecho de 775,6 metros de Canal de adução das PCHs Pequi e Sucupira jateados de concreto, também podem ter contribuído com esse incremento, apesar de compreender um trecho equivalente a

2% do curso total. A aeração e a assimilação fotossintética do gás carbônico pelas algas bentônicas também podem ser processos que aumentam o pH ao longo do curso dos rios.

A condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos aumentaram a jusante do CTA no período Chuvoso devido ao aporte difuso de materiais alóctones provenientes dos solos, com correção de acidez, carregados pelo escoamento superficial. O oxigênio dissolvido também foi influenciado pela sucessão de desníveis naturais que favorecem a aeração pela turbulência e incorporação do oxigênio atmosférico, considerando ainda o reduzido tempo de retenção hidráulico (TR médio inferior a 8 horas). No entanto, o aumento da camada superficial disponível para interceptação da luz e a atividade fotossintética na área dos reservatórios e canais de desvio, que são desprovidos de sombreamento vegetal, também devem ser considerados, assim como área de colonização de organismos produtores.

A redução da cor verdadeira a jusante do CTA no período Seco, apesar de estatisticamente significativa, apresentou resultados muito aproximados. Essa diferença pode estar relacionada à diluição de substâncias húmicas incorporadas à água provindas das áreas de veredas, comumente localizadas nas regiões das cabeceiras, tendo como referência os resultados de carbono orgânico dissolvido no mesmo período, uma vez que há uma boa relação entre eles (CUTHBERT & DEL GIORGIO, 1992; DILLON & MOLOTO, 1997). As veredas são sistemas úmidos, geralmente associados a solos hidromórficos e ao afloramento do lençol freático, ocorrendo com frequência nas proximidades das nascentes ou nas bordas das matas de galeria que acompanham cursos d'água e colonizadas por vegetação hidrófila (RIBEIRO & WALTER, 1998; MELO, 2008). Segundo Eckhardt e Moore (1990) em bacias hidrográficas com áreas úmidas, como veredas, a vazão explica uma porção muito pequena da variabilidade do COD e as diferenças sazonais são menos evidentes, uma vez que a exportação de COD dos solos predominantes na bacia (minerais) tende a ser relativamente baixa devido a provável ocorrência de co-precipitação com ferro férrico, ou adsorção à argilas ricas em ferro e alumínio (KOPRIVNJAK & MOORE, 1992; MOORE et al., 1992).

5.3 Retenção dos nutrientes e sedimentos suspensos nos reservatórios

Em relação às formas nitrogenadas avaliadas (nitrogênio Kjeldahl total e dissolvido nitrogênio amoniacal e nitrato), fósforo total e dissolvido e carbono orgânico dissolvido os resultados obtidos, tanto na PCH São Lourenço quanto no Complexo de PCHs do rio Tenente Amaral, não indicaram retenção desses nutrientes pelos reservatórios. O mesmo foi observado por Von Schiller et al. (2016) para nitrogênio e carbono em reservatórios de diferentes tamanhos e tempos de retenção hidráulico no Mediterrâneo. Os resultados da modelagem feita por Maavara et al (2016) também indicaram que quanto menor o TR menor é a eficiência de retenção do fósforo pelo reservatório, principalmente se inferiores a nove dias, como é caso da PCH São Lourenço (TR médio 9.3 dias).

Segundo Hansson et al. (2005) as características geomorfológicas, hidrológicas, edáficas e bióticas dos ecossistemas aquáticos estão diretamente relacionadas a retenção de nutrientes. Os resultados obtidos por Schiller et al. (2016), Donald et al. (2015) e Maavara et al (2015) sugerem que a retenção do fósforo em reservatórios tende a ser mais facilmente detectável em relação ao nitrogênio e carbono.

A não detecção da retenção de fósforo nos reservatórios, principalmente na PCH São Lourenço onde foi registrado retenção do ferro total a jusante, não era esperada, uma vez que a boa oxigenação, relativa neutralidade da água e a disponibilidade de ferro encontradas no rio de mesmo nome são consideradas adequadas para a co-precipitação e/ou adsorção do fósforo ao ferro (KÖIV et al., 2011). No entanto, os mesmos autores inferem que retenções de fósforo são bem evidenciadas em reservatórios com superfícies superiores a 25 km² e diretamente relacionada ao aporte alóctone e ao tempo de residência da água, mas que em corpos d'água menores esses efeitos não são nítidos.

Os resultados encontrados corroboram com os obtidos por Rezende Filho et al. (2013), os quais inferem que os rios da bacia do São Lourenço no período Seco são alimentados exclusivamente por fluxos de base das formações de arenito, com baixa disponibilidade de cátions e ânions, e durante a estação chuvosa, ocorrem as

maiores contribuições do escoamento superficial dos extensos sistemas agrícolas da bacia.

Os recentes estudos realizados no planalto da BAP de Mato Grosso em rios barrados por hidrelétricas de pequeno (PCH) a médio (UHE) porte, elaborados por Silva (2015) no rio Jauru, Fantin-Cruz (2015) no rio Correntes e Oliveira (2016) no Ribeirão Ponte de Pedra, assim como este trabalho, indicaram várias semelhanças estruturais e ambientais entre os empreendimentos e áreas, como: i) Hidráulicas: Curto tempo de residência (inferior a 18 dias), profundidade máxima média de 8 metros, fio d'água, algumas em cascata; ii) Qualidade da água: pH levemente ácido a circuneutro, condutividade elétrica relativamente baixa, condições oligotróficas na maior parte do tempo, baixa concentração de matéria orgânica dissolvida e baixa disponibilidade de fósforo) e iii) Ambientais: clima (AW), pedologia (Latossolos, Areias Quartzosas/Neossolos Quartzarênicos e Podzólicos/Argissolos) e usos do solo (pastagem e agricultura).

Neste contexto, os estudos foram unânimes na indicação de redução de matéria particulada suspensa a jusante, como sólidos totais (SILVA, 2015; OLIVEIRA, 2016), sólidos suspensos e turbidez (FANTIN-CRUZ, 2015; presente estudo). No entanto, o mesmo não foi detectado consistentemente para o fósforo e nitrogênio, os quais tiveram redução segundo Fantin-Cruz (2015) e incremento segundo Oliveira (2016), assim como a redução de nitrato indicado por Fantin-Cruz (2015) e elevação do nitrogênio total por Silva (2015). A elevação da temperatura da água foi registrada neste estudo e por Silva (2015).

Neste sentido, é possível inferir que empreendimentos de pequeno porte na BAP retêm matéria particulada, apesar da menor magnitude que os de maior porte, e a construção de múltiplos empreendimentos dispersos em toda a área de planalto pode alterar a dinâmica do transporte de sedimentos até a planície de inundação. É importante destacar, porém, que os dados disponíveis não se tratam de areia transportada no fundo do leito (carga de fundo, ou bedload em inglês), e essa quantidade pode ser a maior proporção de sedimentos transportados por estes rios, pois é comum ver acumulações visíveis de sedimentos na parta alta de reservatórios na região após alguns anos de operação (considerando os resultados de vazão sólida

de fundo). Além da matéria particulada suspensa, alterações na temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio, fósforo e ferro total também devem ser consideradas variáveis importantes para o acompanhamento dessas alterações, apesar de seus efeitos não poderem ser generalizados, devido a questões particulares de cada tipo de empreendimento como TR, profundidade e posição da tomada da água, que influenciam diretamente na qualidade da água exportada.

A retenção de matéria particulada pelo reservatório da PCH São Lourenço pode ser um fator positivo neste caso específico, uma vez que a sua bacia é uma das maiores produtoras de sedimentos da BAP (MATO GROSSO, 2014) e que a má conservação de seus solos tem acelerado esta produção, acima do que ocorreria naturalmente em um mesmo período de tempo. Este excesso de sedimentos pode influenciar de forma negativa na dinâmica da planície de inundação. Mas no longo prazo, acúmulo excessivo de sedimentos num reservatório pode comprometer a operação do empreendimento e, em casos extremos, pode requerer dragagem para reduzir os depósitos, como o previsto para o rio Itiquira na BAP, por Trindad et al (2000).

O presente estudo não detectou efeitos sobre a qualidade da água referentes as PCHs com canal de desvio e em cascata no Complexo Tenente Amaral (CTA). No entanto, os estudos de Silva (2015) e Oliveira (2016) em PCHs em cascata com maiores tempos de residência detectaram alterações na qualidade da água a jusante e inferiram que a construção do primeiro barramento consiste em uma relevante alteração e que cada reservatório pode alterar diferentes variáveis devido aos efeitos sinérgicos e acumulativos.

No CTA, os resultados indicaram influência na qualidade da água relacionadas aos aspectos naturais da sub-bacia e não ligados a existência das PCHs, provavelmente devido a pequena área dos reservatórios, a sucessão de desníveis que promovem intensa oxigenação e a baixa disponibilidade natural de íons e nutrientes, proporcionada pela geologia e pedologia e pela localização dos barramentos no continuum dos rios, similar ao registrado para os barramentos de rios de cabeceira com águas oligotróficas descritos por Mendoza–Lera et al. (2010).

5.4 Outras métricas

A obtenção de métricas positivas no Complexo do Alto São Lourenço indica que a PCH São Lourenço, construída no canal principal da bacia, tende a fragmentar uma área de drenagem 85,9% maior que um conjunto de PCHs distribuídas em tributários menores para geração da mesma quantidade de energia elétrica. Esse impedimento tende a ser mais crítico em rios maiores, como o São Lourenço, pois interfere no livre trânsito de matéria orgânica e nutrientes, bem como de organismos aquáticos entre montante e jusante e entre as sub-bacias a montante do rio principal, especialmente de espécies migradoras da ictiofauna (GRILL et al. 2015; ZIV et al. 2012), uma vez que nenhum desses empreendimentos possui qualquer mecanismo de transposição (Diagnósticos Ambientais) e que os métodos de facilitar a transposição não funcionam bem para peixes tropicais (PELICICE et al. 2008).

No caso específico das PCHs do CASL as drenagens são de 3º e 4º ordem, com cerca de 10% da vazão do rio principal e localizadas em áreas com grandes desníveis, evidenciados pelos saltos e cachoeiras que podem ser considerados como barreiras naturais para ictiofauna, principalmente para as de interesse econômico. No entanto, caso ocorram espécies endêmicas, essas geralmente são de menor porte e atraem menor interesse da comunidade em geral, uma vez que não são utilizados para comércio e/ou alimentação. Além disso, os estudos simplificados solicitados no licenciamento deste tipo de empreendimento também não priorizam a ictiofauna, o que pode resultar em perdas e desconhecimento de espécies ou populações não descritas.

No mesmo contexto, a interceptação do rio São Lourenço pelo barramento da PCH São Lourenço influenciou o fluxo de seis sub-bacias (Ribeirão Parnaíba, Rio das Pombas, Tenente Amaral, Areia, Prata e Beleza) e as PCHs do CASL de duas, a do Tenente Amaral e do Ibó. Segundo Rezende Filho et al. (2013) a bacia do São Lourenço tem 37% de sua área de drenagem interceptada por empreendimentos hidrelétricos.

A altura do barramento também apresenta relação com a fragmentação de habitats, dificultando o deslocamento de organismos. As pequenas alturas dos barramentos das PCHs do CASL podem ser transpostas por outros animais como

anfíbios e répteis sem grandes dificuldades, diferentemente da PCH São Lourenço com 30 metros de altura.

As métricas referentes aos reservatórios também permitem inferir que as PCHs do CASL têm reservatórios menores e menos profundos, características que implicam em curtos tempos de formação e residência com menor influência sobre a qualidade da água, ocupação de áreas produtivas e deslocamento de pessoas.

Os resultados indicaram ainda que as PCHs do CASL movimentaram menores quantidades de terra, seja em escavações ou construção de estruturas, assim como de cimento, as quais tendem a influenciar menos o meio natural devido a menores intervenções e gerar menores impactos quando forem desativadas ou removidas.

Apesar da maior capacidade instalada, a geração de energia firme no CASL foi semelhante a do São Lourenço. Essa baixa proporção é comum para PCHs, uma vez que não há acumulação da água para garantir a geração de energia no período de estiagem, o que torna esse tipo de usina totalmente dependente das condições climáticas. A redução da vazão no período da estiagem implica, em algumas PCHs, na geração da metade ou menos da capacidade instalada. Esse período geralmente é aproveitado pelos gestores para manutenções preventivas e corretivas.

A geração de energia em usinas menores dá maior estabilidade na oferta de energia, pois caso ocorra alguma intercorrência em uma das unidades as outras continuam gerando energia, dando maior segurança ao sistema nacional interligado, apesar da baixa contribuição das PCHs a este sistema.

Comparando a capacidade instalada de geração de energia com a área inundada do reservatório, o CASL apresentou potencial de geração de 77.8 MW/km^2 e a PCH SL de 2.2 MW/km^2 . Segundo Filho (2013) a média aproximada de geração de energia por km^2 inundado das usinas hidrelétricas instaladas na bacia do rio Paraguai é 2.24 MW/km^2 , proporção a mesma ordem que a encontrada para a PCH São Lourenço e superior a da APM Manso (0.49 MW/km^2), maior usina da BAP.

Os trechos desviados e os mantidos com vazão reduzida em todas as PCHs em operação e previstas no CASL podem ser considerados, juntamente com os

barramentos, como um agente de fragmentação, impedindo, restringindo ou dificultando o trânsito de organismos aquáticos e terrestres nessas áreas. A construção desses Canais paralelamente aos cursos d'água impede a passagem destes organismos, devido a baixa vazão mantida no TVR nas áreas de cachoeiras e saltos a jusante do barramento, o que pode não atender as necessidades de organismos adaptados a esses ambientes.

A vazão exportada para manutenção do TVR é mantida por um dispositivo hidráulico incorporado a barragem e sem controle de abertura ou fechamento, o que garante a perenidade do trecho afetado pela derivação ao longo do tempo. No período chuvoso a água excedente é exportada por cima da barragem. Esse dispositivo tem dimensões capazes de liberar vazões ecológicas que no Estado de Mato Grosso corresponde a cerca de 10% da vazão média mensal. No caso da PCH Sucupira no rio Saia Branca, corresponde a $0,25\text{m}^3/\text{s}$

O rio Saia Branca, atualmente, é o que tem o maior trecho comprometido, mas outros rios na região como Ibó, Prata e Beleza parecem ter o mesmo futuro, caso todos os empreendimentos previstos sejam aprovados.

A fragmentação de habitats por barramentos de usinas hidrelétricas tende a alterar a conectividade hidrológica (GRILL et al., 2015) e reduzir a diversidade (REIDY-LIERMANN et al., 2012), sendo a íctia a de maior impacto social, devido a seus efeitos sobre a migração das espécies e redução da produção pesqueira (ZIV et al 2012). Muitos reservatórios, inclusive o da PCH São Lourenço, são utilizados por atividades de aquicultura, como de tanques-rede, recentemente fomentadas em reservatórios em todo território nacional (BRABO et al., 2014; FLORES & PEDROZA FILHO, 2013) com criação principalmente de espécies exóticas e híbridas (BRASIL, 1998). A instalação de longos canais de adução a céu aberto também podem interceptar áreas de sobrevivência de animais, causando inúmeros acidentes, principalmente nos primeiros anos de operação.

No caso das PCHs do CTA as atividades de turismo foram afetadas negativamente, devida a formação dos Trechos de Vazão Reduzida, onde a coluna d'água tende a corresponder a cerca de 10% da vazão natural, a restrição de acesso a

pontos de interesse para a realização de esportes de aventura e a contemplação, devido a indisponibilidade de acesso dada as questões de segurança das usinas e a burocracia, e a possibilidade de reduções abruptas do nível da água por questões operacionais. Por outro lado, na PCH São Lourenço que apresenta maior lâmina d'água, outras atividades de lazer e turismo se potencializaram, observação *in loco* e depoimento de moradores.

5.5 Hidrossedimentologia

A instalação de PCHs implica na remoção de vegetação nativa para a construção de canais de adução, condutos forçados e casas de máquina, assim como para a formação do reservatório. Mas geralmente essas áreas são pequenas e as atividades de impactos mais expressivos em relação a produção de sedimentos, que ocorrem na fase de construção, são transitórias. Após as ações de desmate, abertura de acessos e movimentações de terra, máquinas e pessoas, quando as leis e normas ambientais são efetivamente cumpridas, ocorre a desmobilização de estruturas e pessoas, a re-vegetação das áreas alteradas com plantas nativas e a conservação das matas ciliares e cabeceiras, além de outras ações que fomentam áreas de conservação do mesmo bioma alterado. Neste sentido, no entorno das PCHs a contribuição é baixa em relação a produção de sedimentos para os cursos d'água, e positiva a longo prazo, tendo em vista as ações descritas anteriormente, principalmente em bacias onde a agricultura é a atividade principal.

Por outro lado, podem haver outras intercorrências na vazão líquida, mesmo considerando que as PCHs são a fio d'água. No rio Tenente Amaral, já foram descritas reduções abruptas da vazão, prejudicando a geração de energia na PCH Cachoeira da Fumaça e as atividades de contemplação e *rafting* realizadas por operadoras de turismo no mesmo rio. Neste período, quando a vazão é naturalmente reduzida e as demandas dos usos consuntivos são mais expressivos, eventuais problemas operacionais nas PCHs Sucupira e Embaúba implicam no bloqueio do fluxo de água antes de chegar à Casa de máquinas, fazendo com que o nível da água suba dentro do conduto forçado, e retorne pelo Canal de Adução até o reservatório e

seja exportada pelo vertedouro. Essa “onda seca” a jusante dura em média 40 minutos, período em que o rio a jusante das PCHs fica somente com a vazão reduzida, ou seja, 10% da vazão de longo termo, gerando conflitos entre o setor sucroalcooleiro, considerando que a geração de energia da PCH Cachoeira da Fumaça a jusante das demais PCHs tem como objeto principal atender a demanda da indústria de açúcar e álcool na região, o setor de turismo, a comunidade local e os produtores independentes de energia.

A Bacia do Alto São Lourenço, assim como outras bacias, teve a vegetação nativa do cerrado substituída por monoculturas de soja, milho, algodão, trigo, cana-de-açúcar e pastagem (MMA, 2006), contextualizando com a realidade nacional desse bioma, que vem sendo alterado continuamente pela expansão do agronegócio (REDO et al. 2012; GRECCHI et al. 2014; BEUCHLE et al. 2015). A rotação dessas culturas na região faz com que o solo fique desnudo ou parcialmente vegetado nos períodos de entressafra e nas etapas iniciais de desenvolvimento dessas culturas. Essa exposição do solo, associada ao período chuvoso, implica em expressivo escoamento superficial e erosões, considerando ainda que os tipos de solo predominantes nas áreas agricultáveis apresentam naturalmente potencial para erosão, devido ao baixo grau de agregação dos grãos, apesar da baixa declividade do terreno.

O maior incremento da vazão do rio Areia (471%) no período Chuvoso em relação aos outros rios, além do tipo de solo predominante (Podzólico/Argissolo, de menor infiltração devido a maior porcentagem de argila em relação as Areias Quartzosas/Neossolos Quartzarênicos e Latossolos), também é um reflexo dos usos do solo, uma vez que indica o impacto do desmatamento e substituição da vegetação nativa, o que tende a potencializar o escoamento superficial e aumentar a vazão durante os eventos de chuva intensa (COE et al. 2009; COSTA et al. 2007). As matas nativas são as principais responsáveis pela retenção de água (manutenção da vazão) nas bacias hidrográficas, pois aumentam a infiltração no solo e reduzem o escoamento superficial e erosão (SANTOS et al. 2011).

O aumento do escoamento superficial em áreas que tiveram substituição do cerrado nativo por culturas é amplamente registrado na literatura, corroborando com os resultados obtidos na modelagem feita por Hunke (2015) na Bacia do Alto São

Lourenço. O processos erosivos na área de estudo também foram abordados por inúmeros autores, assim como Joselir (2016) na bacia do rio Saia Branca, onde registrou voçorocas ativas nas áreas de cabeceiras.

Neste mesmo contexto, o aporte desse material aos cursos d'água da BASL causa assoreamento e alteração na qualidade da água e sedimento, uma vez que são carregados juntamente com o solo produtos utilizados no processo produtivo como calcário, amplamente utilizado para correção da acidez do solo no estado de Mato Grosso, fertilizantes e agrotóxicos.

Os impactos ambientais relacionados a alterações hidrossedimentológicas oriundas de barramentos estão geralmente relacionados ao aporte de sedimentos a montante, onde a deposição implica na redução da vida útil do reservatório, seja para a geração de energia elétrica quanto para os usos múltiplos. Além disso, ocorre a redução a jusante, onde a água exportada transporta quantidade reduzida de sedimentos, podendo resultar na corrosão do fundo do canal e de depósitos aluviais (KONDOLF, 1997; KONDOLF et al., 2014).

As hidrelétricas fazem uso não-consuntivo da água, ou seja, não alteraram a quantidade de água disponível, por operarem a fio d'água, sem regularização do fluxo, por isso as alterações quantitativas a jusante tendem a ser pouco expressivas. Por outro lado, as atividades do agronegócio na BASL fazem uso consuntivo, para dessedentação animal, irrigação e uso industrial, neste último caso na Usina Pantanal de açúcar e álcool de Jaciara.

As características descritas para a bacia do São Lourenço, onde tem-se a associação de solos frágeis e suscetíveis a erosão, com as menores áreas de matas ciliar (17,1% do total) e a maior proporção de lavouras (14,5%), sendo considerada a bacia de maior erodibilidade da BAP (MATO GROSSO, 2014). Dados de PAE (2004) quantificaram a produção de sedimento da região do Alto São Lourenço na ordem de 4.205.000 t/ano, cerca de 17% do total de sedimentos que entram na planície pantaneira que é da ordem de 24.195.000 t/ano.

A composição arenosa dos sedimentos das bacias do Tenente Amaral e São Lourenço, corroboraram com as indicações de forte erodibilidade da bacia, tanto nos menores cursos d'água quanto no curso principal, o São Lourenço. Usos agrícolas do

solo são responsáveis por erosões localizadas e voçorocas, as quais entregam cargas substanciais de sedimentos finos para os ecossistemas aquáticos. Esse sedimento composto por areia e silte apresenta característica homogênea e elevada instabilidade, o que tende a impactar a diversidade de invertebrados e a biomassa, bem como no funcionamento do ecossistema aquático (WANTZEN, 2006; DUDGEON, 2008; GÜCKER et al., 2009).

Segundo Boëchat et al. (2013) a integridade de habitat e a qualidade do sedimento dos córregos dependem, principalmente, das condições presentes na vizinhança imediata dos trechos estudados e as mudanças no uso e ocupação do solo representam um importante impacto antrópico sobre a qualidade de habitats e a diversidade biológica. Sedimentos dominados por silte e areia são pouco favoráveis à diversidade biológica.

Nas PCHs do Tenente Amaral a gestão de sedimentos é feita em intervalos regulares com a abertura dos canais das câmaras de carga para liberação dos sedimentos retidos, técnica comumente adotada em pequenas centrais hidrelétricas e que torna o balanço anual (KIBLER & TULLOS, 2013) e os efeitos de retenção de sedimentos (KONDOLF et al. 2014) abaixo de pequenas barragens pouco relevantes, mesmo considerando que os eventos liberam para jusante o acumulado de todo um período, o que pode implicar tanto na redução temporária do transporte de sedimentos durante a retenção e em depósitos localizados, na liberação (KIBLER et al., 2011). Além disso, estudos como de Kondolf et al (2014), indicam que pequenos reservatórios em tributários são menos eficientes na retenção de sedimentos (no estudo de caso, inferiores a 25%) e o fato de estarem na parte alta das bacias hidrográficas, possibilita a recuperação de parte de sua carga de sedimento ao longo do caminho. Indicaram ainda que a presença de reservatórios em sequência o primeiro retém a maior parte dos sedimentos, tornando a taxa de retenção dos sequenciais a jusante pouco expressivas.

No entanto, os sedimentos liberados das PCHs da bacia do Tenente Amaral quando chegam ao rio principal encontra o barramento da PCH São Lourenço e ali ficam retidos, considerando a evidente formação de uma região muito assoreada na área de transição rio-reservatório. Segundo Sarkkula et al.,(2003), em seu estudo na

bacia do rio Mekong, essa retenção de sedimentos pode dificultar a renovação natural da fertilidade do solo na planície de inundação e ameaçar a produtividade do sistema, devido a menor disponibilidade de sedimentos em suspensão e nutrientes.

Estudos como de Kondolf et al (2014) indicam uma relação entre a capacidade de retenção de sedimentos *versus* fluxo, pois em sua pesquisa na bacia do rio Mekong, tributários com reservatórios maiores, apresentaram através de simulação, potencial de retenção de até 95% do sedimentos, e reservatórios pequenos em relação ao fluxo anual, retenção insignificante. O modelo indicou que a priorização de barragens em tributários em relação ao canal principal traz uma resposta positiva em relação a retenção de sedimentos, o qual foi reduzido de 96% para 68%, no estudo de caso. Os autores abordam ainda que há várias possibilidades de reduzir o impacto da retenção de sedimentos nos reservatórios, como passagens de sedimentos, e que estratégias de gestão como essas poderiam atenuar a magnitude da “fome sedimentar” de barragens.

As observações associadas a esses estudos de caso sugerem que, em relação aos sedimentos, as PCHs da bacia do Tenente Amaral tem menor potencial de gerar impactos ambientais a jusante em relação ao reservatório da PCH São Lourenço e que a gestão de sedimentos deve ser considerada de forma mais contundente nos planos e programas de gestão de impactos na fase de operação, considerando sua relevância ambiental e econômica.

No contexto atual de elevada produção de sedimentos na parte alta da bacia do São Lourenço, devido a má gestão do uso do solo, e a retenção de sedimentos pela PCH São Lourenço deve ser avaliada com cautela, pois a produção de sedimento a jusante pode se reequilibrar a parte retida a montante, considerando os outros aportes a jusante. Os reservatórios de maior porte, como o da PCH São Lourenço, retém esse sedimento de forma mais eficiente, inicialmente na área de transição rio-reservatório, devido a redução da velocidade da água, formando um delta. Nesta PCH, o assoreamento da cabeceira do reservatório vem acompanhada da proliferação de plantas aquáticas (Figura 39).

Esse armazenamento de sedimento no reservatório da PCH São Lourenço, no contexto da bacia, com alta produtividade de sedimentos devido as atividades agrícolas pode ser um fator positivo, devido a redução do aporte excessivo de

sedimentos para jusante, os quais podem ser re-equilibrados pela entrada de sedimentos de outras bacias, como a do rio Vermelho, e impedimento do transporte de sedimentos contaminados por metais pesados e agrotóxicos provenientes dos fertilizantes e defensivos agrícolas utilizados a montante. Isso ser utilizado como uma área indicadora para o grau de risco por contaminação dessa bacia, considerando o registro de agrotóxicos por Possavats et al (2014), no sedimento do rio Tenente Amaral (λ -cialotrina, α -Endossulfam e Endo-sulfato), e na confluência do rio São Lourenço com o rio Vermelho (Metolacoloro e λ -cialotrina).

6.0 CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que a PCH São Lourenço, de Baixa Queda e reservatório típico, atuou na redução dos sólidos suspensos, turbidez, oxigênio dissolvido, DQO e ferro total, principalmente nos períodos de maior tempo de residência (período de Transição e Seco) devido a redução da velocidade da água que favorece a sedimentação das partículas, assim como processos de decomposição no hipolímnio, considerando a tomada d'água no fundo. Atuou também na elevação da temperatura no período Chuvoso. Estas alterações são comumente registradas na literatura científica para hidrelétricas maiores e com maior tempo de residência.

A qualidade da água do rio Tenente Amaral não indicou alterações relacionadas as PCHs do Complexo Tenente Amaral, de Média Queda com canal de desvio, devidos a pequena área e profundidade dos reservatórios, curto tempo de residência, sucessão de desníveis naturais que promovem intensa oxigenação e baixa disponibilidade natural de íons e nutrientes na água. No entanto, questões como números de amostras analisadas também podem ser consideradas, pois alterações sutis podem ser mais difíceis de serem detectadas.

Na bacia do Alto São Lourenço os resultados indicaram que o Complexo de PCHs do rio Tenente Amaral de Média Queda foi mais eficiente na geração de

energia elétrica com menor alteração na qualidade da água e gestão de sedimentos quando comparado a PCH São Lourenço de Baixa Queda.

Os resultados indicaram melhor razão do custo-benefício das PCHs com canal de desvio em pequenos tributários em relação a PCH com reservatório típico no canal principal na bacia do Alto São Lourenço.

O prognóstico realizado indicou que se todos os estudos ambientais para instalação de novas PCHs fossem efetivados, as sub-bacias dos córregos Ibó, Prata e Beleza seriam as mais afetadas com ocupação de 15 a 20% do curso dos canais principais por reservatórios e desviados por canais de derivação. As sub-bacias do Tenente Amaral, Saia Branca e São Lourenço apresentariam pequeno incremento, com porcentagens semelhantes às atuais.

7.0 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados pode-se sugerir como um importante critério para ordenação e instalação de novas hidrelétricas na BAP, projetos de média a alta queda, considerando sua maior eficiência energética e menor custo ambiental. No entanto, esse tipo de arranjo necessita de desníveis acentuados, podendo impactar diretamente cachoeiras de elevada beleza cênica, comumente utilizadas para turismo e lazer, além de apresentar um grande potencial de ocorrência de espécies endêmicas (SÁ et al. 2003), pois comumente estão situadas em áreas de transição do cerrado com outros biomas, como o amazônico ou nos limite entre duas regiões hidrográficas distintas.

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **Solo: análise granulométrica** – NBR-7181. Rio de Janeiro, 16p. 1982.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA/GEF/PNUMA/OEA). Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai. Brasília: Projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Síntese Executiva, 2004.

AQUINO, S. F.; SILVA, S. Q.; CHERNICHARO, C. A. L. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios (nota técnica). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 295– 304, 2006.

ALLAN, J.D. Landscapes and Riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology Evolution and Systematics**, v.35, p. 257-284, 2004.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações da Geração (BIG).Disponível:<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/CapacidadeEstado.cfm?cmbEstados=MT:MATO%20GROSSO>. Acesso em: 18/03/2016.

ANEEL. Resolução N° 673, de 4 de agosto de 2015. Estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH. 14p.2015.

APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW), 22nd edition, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12620. Águas - Determinação de nitrato - Métodos do ácido cromotrópico e do ácido fenoldissulfônico - Método de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro. 1992.

BEUCHLE, R., GRECCHI, R.C., SHIMABUKURO, Y.E., SELIGER, R., EVA, H.D., SANO, E. & ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, 58, 116–127. 2015.

BIZIKOVA, L., ROY, D., SWANSON, D., VENEMA, H. D. AND MCCANDLESS, M. The water–energy–food security nexus: towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management. Winnipeg, Canada: International Institute for Sustainable Development. 2013.

BRABO, M.F.; VERAS, G.C.; PAIVA, R.S.; FUJIMOTO, R.Y. Aproveitamento aquícola dos grandes reservatórios brasileiros. *Boletim do Instituto de Pesca*, v.40, n.1, p.121-134, 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai. Brasília: MMA, 140p. 2006.

BRASIL. . Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (Brasília, DF). Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP: análise integrada e prognóstico da Bacia do Alto Paraguai. Brasília, v.3. 369 p. 1997.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 março 2005 do Ministério do Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília,. 23 p. 2005.

BRYANT-MASON, APRIL, Y. JUN XU, AND M. JOHNNY III. "Stream carbon dynamics in low-gradient headwaters of a forested watershed." 457-464. 2013.

CALHEIROS, D. F. et al. Influências de usinas hidrelétricas no funcionamento hidro-ecológico do Pantanal Mato-Grossense-Recomendações. Embrapa Pantanal. Documentos. 2009.

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usado em levantamentos pedológicos no Brasil. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira do Solo, Campinas, v.12, n.1, p.11-33, 1987.

CARVALHO, N. O. Medição de descarga líquida com molinete. In: Saneamento. Rio de Janeiro, out./dez. 1976. p. 260-266. 1976.

CARVALHO, N.O., GUILHON, L.G. e TRINDADE, P.A. O assoreamento de pequeno reservatório devido efeito de enchente extraordinária – Itiquira, um estudo de caso. I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste. ABRH, UnB, ANEEL e outros. Brasília, DF. 2000.

CETESB (Companhia de Tecnologia Ambiental do estado de São Paulo). Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos . Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão [et al.]. São Paulo: CETESB; Brasília; ANA, 2011.

COE, M.T.; COSTA, M.H.; SOARES FILHO, B.S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. Journal of Hydrology, v. 369, p. 165-174. 2009.

CUTHBERT, I. D., AND P. DEL GIORGIO. Toward a standard method of measuring color in freshwater. Limnol. Oceanogr.**37**: 1319–1326. 1992.

DE JESUZ CR, ITO JBB, ZEILHOFER P. Erosões mecânicas da sub-bacia hidrográfica do rio Tenente Amaral, Jaciara-M, e suas determinantes socioambientais. *Revista Mato-Grossense de Geografia*. 16, 89–105. 2013.

DEITCH, M.J.; MERENLENDER, A.M. AND FEIRER, S.T. Cumulative effects of small reservoirs on streamflow in northern coastal California catchments. *Water Resources Management* 57: 5101-5118. 2013.

DEL'ARCO, J.O.; DA SILVA, R.H.; TARAPANOFF, I.; FREIRE, F.A.; MOTA PEREIRA, L.G.; SOUZA, S.L.; PALMEIRAS, R.C.B.; TASSINARI, C.C.G. Geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SE. 20/21. Corumbá. Rio de Janeiro: IBGE, 1982. p. 25-160. (Levantamento de Recursos Naturais, 27). 1982.

DONALD DB, PARKER BR, DAVIES, JM, LEAVITT PR. Nutrient sequestration in the Lake Winnipeg watershed. *Journal of Great Lakes Research*, 41: 630-64. 2015.

DOSSKEY, M. G., AND P. M. BERTSCH. Forest sources and pathways of organic matter transport to a blackwater stream: a hydrological approach. *Biogeochemistry* 24:1- 19. 1994.

DUDGEON, D. **Tropical stream ecology**. London: Academic Press, 316 p. 2008.

DURAS, J. AND HEJZLAR, J. The Effect of Outflow Depth on Phosphorus Retention in a Small, Hypertrophic Temperate Reservoir with Short Hydraulic Residence Time. *International Review of Hydrobiology*, 86: 585–601. 2001. doi: 10.1002/1522-2632(200110)86:6<585::AID-IROH585>3.0.CO;2-H

ECKHARDT, B. W., AND T. R. MOORE. Controls on dissolved organic carbon concentrations in streams, Southern Quebec. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47:1537-1544. 1990.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hielétricas. Rio de Janeiro. 2000. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/proinfra/>. Acessado em 29/09/2015 as 16:14.

ESTEVEES, F. A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro. Interciência, 790p. 2011.

FAN, C.-W.; KAO, S.-J. Effects of climate events driven hydrodynamics on dissolved oxygen in a subtropical deep reservoir in Taiwan. *Sci. Total Environ.* 393, 326–332. 2008.

FANTIN-CRUZ,I; PEDROLLO, G.; ZEILHOFER, PETER; HAMILTON, S.K. Changes in river water quality caused by a diversion hydropower dam bordering the Pantanal floodplain. *Hydrobiologia*, v. 768, p. 223-238, 2015.

FEARNSIDE, P.M. Hidrelétricas como "fábricas de metano": O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecologia Brasiliensis* 12: 100-115. 2008.

FEARNSIDE, P.M. Belo Monte: A spearhead for Brazil's dam-building attack on Amazonia? GWF Discussion Paper 1210, Global Water Forum, Canberra, Australia. 2012.

FEARNSIDE, P.M. Tropical hydropower in the Clean Development Mechanism: Brazil's Santo Antônio Dam as an example of the need for change. *Climatic Change* 131(4): 575-589. 2015.

FLORES, ROBERTO MANOLIO VALLADÃO; PEDROZA FILHO, MANOEL XAVIER. Como multiplicar os peixes: perspectivas da aquicultura brasileira. *Revista Ciência e Cultura*, 2013.

FIGUEIREDO, D. M.; CRUZ, R. F. Diretrizes para a elaboração e execução de programas de monitoramento da qualidade da água em pequenos reservatórios hidrelétricos. REGA. Revista de Gestão de Águas da América Latina, v. 11, p. 45-56. 2014.

FOLKE, C. et al. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society* 15, 20.2010.

GALLOWAY JN, ABER JD, ERISMANJW, SEITZINGERSP, HOWARTH RW, COWLING EB, COSBY BJ. The nitrogen cascade. *BioScience* 53, 341–356. 2003. doi:10.1641/0006-3568(2003)053[0341:TNC]2.0.CO;2.

GERGEL, S. E.; TURNER, M.G.; MILLER, J.R.; MELACK, J. M.; STANLEY, E. H. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. *Aquatic Sciences, Dübendorf*, v. 31 (4), p. 341-356, 2003.

GLEICK, P. H. Environmental consequences of hydroelectric development: The role of facility size and type, *Energy*, 17, 735–747. 1992.

GRAEBER, D., BOËCHAT, I. G., ENCINA-MONTOYA, F., ESSE, C., GELBRECHT, J., GOYENOLA, G., GÜCKER, B., HEINZ, M., KRONVANG, B., MEERHOFF, M., et al. Global effects of agriculture on fluvial dissolved organic matter. *Scientific reports*, 5. 2015.

GRECCHI, R.C., GWYN, Q.H.J., BÉNIÉ, G.B., FORMAGGIO, A.R., FAHL, F.C. Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. *Applied Geography* 55, 300-312. 2014.

GRILL, G.; LEHNER, B.; LUMSDON, A.E.; MACDONALD, G.K.; ZARFL, C.; LIERMANN, C.R. An index-based framework for assessing patterns and trends

in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters*. 10(1):015001. 2015. DOI: 10.1088/1748-9326/10/1/015001.

HAKANSON, L. The importance of Lake morphometry for the structure and function of lakes. *International Review of Hydrobiology* 90(4): 433–461.2005.

HANSEN NC, DANIEL TC, SHARPLEY AN, LEMUNYON JL. The fate and transport of phosphorus in agricultural systems. *Journal of Soil and Water Conservation* 57: 408–417. 2002.

HANSSON, L., C. BRÖNMARK, N. P. ANDERSM & K. ABJÖRNSSON. Conflicting demands on wetland ecosystem services: nutrient retention, biodiversity or both? *Freshwater Biology* 50(4): 705–714. 2005.

HAYHOESJ, NEILL C, PORDER S, MCHORNEY R, LEBEBVRE P, COE MT, ELSENBEEER H, KRUSCHE AV. Conversion to soy on the Amazonian agricultural frontier increases streamflow without affecting stormflow dynamics. *Glob. Change Biol.* 17, 1821–1833. 2011. [doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02392.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02392.x))10.1111/j.1365-2486.2011.02392.x [[Cross Ref](#)]

HENNIG T, WANG W, FENG Y, OU X, HE D. Review of Yunnan's hydropower development. Comparing small and large hydropower projects regarding their environmental implications and socio-economic consequences. *Renew Sustain Energy Rev*, 27:585–95. 2013.

HUNKE, P., MUELLER, E. N., SCHRÖDER, B., AND ZEILHOFER, P. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. *Ecohydrol.*, 8: 1154–1180. 2015. doi: [10.1002/eco.1573](https://doi.org/10.1002/eco.1573).

IBGE - EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Renewable Energy Essentials: Hydropower*, International Energy Agency, 2010.

JAGER, H. I., AND R. A. MCMANAMAY. Comment on “Cumulative biophysical impact of small and large hydropower development in Nu River, China” by Kelly M. Kibler and Desiree D. Tullos, *Water Resour. Res.*, 50, 758–759. 2014. doi:10.1002/2013WR014378.

KAUNDA, C.S.; KIMAMBO, C.Z. AND NIELSEN, T.K. “Potential of Small-Scale Hydropower for Electricity Generation in Sub-Saharan Africa,” *ISRN Renewable Energy*, vol. 2012, Article ID 132606, 15 p. 2012. doi:10.5402/2012/132606.

KIBLER, K. M., AND D. D. TULLOS. Cumulative biophysical impact of small and large hydropower development in Nu River, China, *Water Resour. Res.*, 49, 3104–3118. 2013. doi:10.1002/wrcr.20243.

KIBLER, K.M. AND D.D. TULLOS. Reply to comment on “Cumulative biophysical impact of small and large hydropower development in Nu River, China”. *Water Resources Research* 50(1): 760-761. 2014.

KLEMP, S. M. Dinâmica espaço temporal da temperatura superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Tenente Amaral – MT por sensoriamento remoto. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso. 145f. 2015.

KONDOLF, G. M. Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels, *Environ. Manage.* N. Y., 21(4), 533–551. 1997.

KONDOLF, G. M., et al. Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents, *Earth’s Future*. 2014. doi:10.1002/ef2 2013EF000184.

KONDOLF, G. M., Z. K. RUBIN, AND J. T. MINEAR. Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation, *Water Resour. Res.*, 50, 5158–5169. 2014. doi:10.1002/2013WR014651.

KOPRIVNJAK J-F, MOORE TR. Sources, sinks, and fluxes of dissolved organic carbon in subarctic fen catchments. *Arctic and Alpine Research* 24: 204 – 210. 1992.

KUMAR D, KATOCH SS. Sustainability indicators for run of the river (RoR) hydropower projects in hydro rich regions of India. *Renew Sustain Energy Rev.* 35:101–8. 2014.

KUNZ, M. J., A.WÜEST, B.WEHRLI, J.LANDERT, AND D. B.SENN. Impact of a large tropical reservoir on riverine transport of sediment, carbon, and nutrients to downstream wetlands, *Water Resour. Res.*, 47, W12531, 2011. doi:[10.1029/2011WR010996](https://doi.org/10.1029/2011WR010996).

LESSARD, J.L. & HAYES, D.B. Effects of elevated watertemperature on fish and macroinvertebrate communitiesbelow small dams. *River Research andApplications*, 19, 721–732. 2003.

LIN, G.-W.; CHEN, H.; PETLEY, D.N.; HORNG, M.-J.; WU, S.-J.; CHUANG, B. Impact of rainstorm-triggered landslides on high turbidity in a mountain reservoir. *Eng. Geol.* 117, 97–103. 2011.

LIU YU, MA JING, WANG HAO, YAN DENGHUA, LV YINGKANG, DENG WEI. Multi-dimensional assessment of socioeconomic impacts of hydropower development—A case in the Upper Chuan River. *SCIENCE CHINA Technological Sciences*, 58(7): 1272-1279. 2015.

LIU, W., JIANG, D., CHENG, T. Effects of flood on thermal structure of a stratified reservoir. *Procedia Environ. Sci.* 10(Part B), 1811e1817. 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.283>

LOVETT, R. A. Dam removals: Rivers on the run. *Nature* 511, 521–523. 2014.

MA, W.; HUANG, T.; LI, X.; ZHOU, Z.; LI, Y.; ZENG, K. The Effects of Storm Runoff on Water Quality and the Coping Strategy of a Deep Canyon-Shaped Source Water Reservoir in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 12, 7839-7855. 2015.

MAAVARA T, DÜRR H, VAN CAPPELLEN P. Worldwide retention of nutrient silicon by river damming: From sparse data set to global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*, 28:842-855. 2014.

MAAVARA T., PARSONS CT., HOOD JLA, RIDENOUR C, STOJANOVIC S, DÜRR HH, POWLEY, HR, VAN CAPPELLEN P. Global phosphorus retention by river damming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 112, n. 51, p. 15603-15608. 2015.

MAAVARA, TAYLOR et al. Reactive silicon dynamics in a large prairie reservoir (Lake Diefenbaker, Saskatchewan). *Journal of Great Lakes Research*, v. 41, p. 100-109. 2015.

MAECK A, DELSONTRO T, MCGINNIS DF, FISCHER H, FLURY S, SCHMIDT M, FIETZEK P, LORKE A. 2013. Sediment trapping by dams creates methane emission hot spots. *Environ Sci Technol*. Aug 6;47(15):8130-7. 2013. doi: 10.1021/es4003907. Epub 2013 Jul 15.

MATO GROSSO, Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA, Superintendência de Geoinformação e Monitoramento Ambiental. Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água da Região Hidrográfica do Paraguai – 2010 e 2011. Org. FIGUEIREDO *et al.* - Cuiabá: SEMA/MT; SGMA. 2014.

MATO GROSSO, Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA, Superintendência de Geoinformação e Monitoramento Ambiental. Relatório de

Monitoramento da Qualidade da Água da Região Hidrográfica do Paraguai – 2012 e 2014. Org. FIGUEIREDO *et al.* - Cuiabá: SEMA/MT; SGMA. 2016.

MATO GROSSO. Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água – Região Hidrográfica do Paraguai - 2012 e 2014. 2016.

MTAKA, J.G. AND MWANIKI, M.W. A global review of the downstream effects of small impoundments on stream habitat conditions and macroinvertebrates, *Environmental Reviews*, 23, 3, 257-262. 2015. <https://doi.org/10.1139/er-2014-0080>

MELO, D.R. Evolução das veredas sob impactos ambientais nos geossistemas planaltos de Buritizeiro/ MG. Belo Horizonte, MG. 2008. 283 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MENDOZA-LERA, C., LARRAÑAGA, A., PÉREZ, J., DESCALS, E., MARTÍNEZ, A., MOYA, O., AROSTEGUI, I. AND POZO, J., Headwater reservoirs weaken terrestrial-aquatic linkage by slowing leaf-litter processing in downstream regulated reaches. *River Res. Applic.*, 28: 13–22. 2012. doi: 10.1002/rra.1434.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai. Brasília: MMA. 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_34_711200516717.html>. Acesso em: 14 de set. 2016.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modeling: A Review of hydrological, geomorphological and biological application. In: BEVEN, K. J.; MOORE, I. D. *Advances in hydrological processes. Terrain analysis and distributed modeling in hydrology*. Chichester: John Wiley ; Sons, 1992.

MOREIRA, H. M; GIOMETTI, A. B. R. Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. Contexto int., Rio de Janeiro , v. 30, n. 1, p. 9-47, Apr. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo .php?script=sci_arttext&pid=S0102-5292008000100001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 30 de setembro de 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-85292008000100001>.

MYERS, N., R.A. MITTERMEIER, C.G. MITTERMEIER, G.A.B. DA FONSECA & J. KENT. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, 403: 853-858. 2000.

NEILL, C. et al. Watershed responses to Amazon soya bean cropland expansion and intensification. Phil. Trans. R. Soc. B 368, 20120425. 2013.

NGUYEN, M. V., NGUYEN, D., HUNG, N. N., KUMMU, M., MERZ, B., APEL, H. Future sediment dynamics in the Mekong Delta floodplains: Impacts of hydropower development, climate change and sea level rise. - Global and Planetary Change, 127, p. 22-33. 2015.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 399p. 1999.

OKOT, D. K. Review of small hydropower technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 26, pp. 515-520, 2013.

OLDEN, J. D. and NAIMAN, R. J. Incorporating thermal regimes into environmental flows assessments: modifying dam operations to restore freshwater ecosystem integrity. Freshwater Biology, 55: 86–107. 2010. doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02179.x

OLDEN, J. D. et al. Are large-scale flow experiments informing the science and management of freshwater ecosystems? *Front. Ecol. Environ.* 12, 176–185. 2014.

OLIVIER, J., JANSSENS-MAENHOUT, G., PETERS, J. “Trends in global CO₂ emissions 2012 report,” Tech. Rep. 500114022, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. 2012.

OLIVEIRA, V.A. Diagnostico dos usos da água na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (Mato Grosso) e seus efeitos sobre a qualidade da água. 2016. 63f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) –Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

PARRON LM, BUSTAMANTE MMC, MARKEWITZ D. Fluxes of nitrogen and phosphorus in a gallery forest in the Cerrado of central Brazil. *Biogeochemistry* 105: 89–104. 2010.

PAULA, RB; KNECHTEL, R; SILVA, CRM. Rio Areia: Uma história de degradação. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 1-8p. 2013.

PENCHE, C. “Guide on how to develop a small hydropowerplant,” Technical Manual, European Small Hydropower Association, Brussels, Belgium. 2004.

PINILLOS, A. C. M; FIGUEIREDO, D. M; CAMARGO, J.C; CRUZ, I.F. .Panorama da literatura científica mundial sobre a qualidade da água a jusante de barragens. *Espacios*. Vol. 36 (Nº 12), pag.3. 2013.

POFF N.L., RICHTER B., ARTHINGTON A.H., BUNN S., NAIMAN B., KENDY E. Ecological Limits of Hydrologic Alteration. *Environmental Flows for Regional Water Management*. The Nature Conservancy. 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing: R Foundation for Statistical Computing version 3.2.1 (software). Austria. 2015. <https://www.R-project.org/>.

REGAZZI, A.J. Análise multivariada, notas de aula. Viçosa: Departamento de Informática da Universidade de Viçosa. V.2. (INF 766). 2000.

REIDY-LIERMANN, C., NILSSON, C., ROBERTSON, J. & NG, R.Y. Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. *Bioscience*, 62:539–48. 2012.

RENÉ, G & BEAT, M. Why the phosphorus retention of lakes does not necessarily depend on the oxygen supply to their sediment surface, *Limnology and Oceanography*, 2, 2003. doi: 10.4319/lo.2003.48.2.0929.

REN21. Renewables 2015 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). 251p. 2015.

REZENDE FILHO, ARY TAVARES. Variabilidade química das águas na Bacia do Alto Paraguai: uma compartimentação do Pantanal Mato-grossense. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, University of São Paulo, São Paulo, 2011. doi:10.11606/T.8.2011.tde-31052012-082056. Acesso em: 2018-03-08.

RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma cerrado. Pp. 89-166. In: S.M. Sano & S.P. Almeida (eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, Embrapa-CPAC. 1998.

RISKIN, S.H., S, PORDER, M. E. SCHIPANSKI, E. M. BENNETT, AND C. NEILL. Regional Differences in Phosphorus Budgets in Intensive Soybean Agriculture. *BioScience* 63: 49–54. 2013a.

RISKIN, S. H. et al. The fate of phosphorus fertilizer in Amazon soya bean fields. *Phil. Trans. R. Soc. B* 368, 20120154. 2013b. doi:10.1098/rstb.2012.0154.

ROHLF, F. JAMES. Adaptive Hierarchical Clustering Schemes. *Systematic Biology*, Volume 19, Issue 1, 1 March 1970, Pages 58–82, 1970. <https://doi.org/10.1093/sysbio/19.1.58>

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306p. 2006.

SARKKULA, J., et al. Modelling Tonle Sap for environmental impact assessment and management support, Rep. to the Mekong River Comm., Phnom Penh, Cambodia. 2003.

SCHIFF, S. L., R. AVENA, S. E. TRUMBORE, M. J. HINTON, R. ELGOOD, AND P. J. DILLON. Export of DOC from forested catchments on the Precambrian Shield of Central Ontario: clues from ^{13}C and ^{14}C . *Biogeochemistry* 36(11): 43–65. 1997.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL (SEPLAN). Mapa de solos do Estado de Mato Grosso. In: Zoneamento Sócio Econômico Ecológico. Cuiabá: PRODEAGRO. 2001.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JÚNIOR, N.J. Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento. 2.ed. Porto Alegre: Artmed. 448p. 2006.

SILVA JSO, CUNHA BUSTAMANTE MM, MARKEWITZ D, KRUSCHE AV, FERREIRA LG. Effects of land cover on chemical characteristics of streams in the Cerrado region of Brazil. *Biogeochemistry* 105: 75–88. 2010.

SILVA, A. S. Movimentação de amônio, nitrato, potássio e fósforo aplicados por fertirrigação em Latossolos. Viçosa, UFV. 58p. Diss. Tese de Mestrado. 2004.

SILVA, J. F., M. R. FARIÑAS, J. M. FELFILI & C. A. KLINK. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography* 33: 536-548. 2006.

SILVA, J. J. F.; MIGLIORINI, R. B. 2014. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO FURNAS NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE MATO GROSSO. *Geociênc. (São Paulo)*, São Paulo, v. 33, n. 2, 2014 . Disponível em <http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-90822014000200007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 16 nov. 2015.

SILVA, ANTONIO CARLOS COELHO DA. Impactos cumulativos de hidrelétricas sobre a hidrologia e qualidade da água de um rio contribuinte do Pantanal. 2015. 44 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2015.

SMITH, P. ; COTRUFO, M. F. ; RUMPEL, C. ; PAUSTIAN, K. ; KUIKMAN, P. J. ; ELLIOTT, J. A. ; MCDOWELL, R. ; GRIFFITHS, R. I. ; ASAKAWA, S. ; Bustamante, M. ; HOUSE, J. I. ; SOBOCKÁ, J. ; HARPER, R. ; PAN, G. ; WEST, P. C. ; GERBER, J. S. ; CLARK, J. M. ; ADHYA, T. ; SCHOLLES, R. J. ; SCHOLLES, M. C. . Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. *SOIL Discussions*, v. 2, p. 537-586, 2015.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon*, v. 11, n. 01, p. 30-40, 1962.

SVISERO, DP. Distribution and origin of diamond in Brazil: an overview. *Jornal of Geodynamics*, v. 20, p. 493-514. 1995.

URIARTE M, YACKULIC CB, LIM Y, ARCE-NAZARIO JA. Influence of land use on water quality in a tropical landscape: a multi-scale analysis. *Landscape Ecol.* 26: 1151-1164. 2011.

VENKATESWARAN, R. “Small hydro potential in India,” in *Proceedings of the International Conference on Association for Small Hydropower*, Hangzhou, China, June. 2007.

VIEIRA, A.J. Geologia do Centro-Oeste de Mato Grosso. Ponta Grossa, PETROBRÁS-DEBASP, 1965, p.79: In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia. 1997.

VOGEL, F. et al. The mean oxidation number of carbon (MOC) – useful concept for describing oxidation processes. *Water Research*, v. 34, p.2689-2702, 2000.

VON SCHILLER, D.; ARISTI, I.; PONSATÍ, L.; ARROITA, M.; ACUÑA, V.; ELOSEGI, A.; SABATER, S. Regulation causes nitrogen cycling discontinuities in Mediterranean Rivers. *Science* 540, 168–177. 2016.

WANTZEN, K.M.; MOL, J.H. Soil Erosion from Agriculture and Mining: A Threat to Tropical Stream Ecosystems. *Agriculture* 2013, 3, 660-683. 2013.

WELLER DE, JORDAN TE, CORRELL DL. Heuristic models for material discharge from landscapes with riparian buffers. *Ecol Appl* 8:1156–1169. 1998.

WINEMILLER, K.O; MCINTYRE, P. B.; CASTELLO, L.; FLUET-CHOUINARD, E.; GIARRIZZO, T.; NAM, S.; BAIRD, I. G.; DARWALL, W.; LUJAN, N. K.; HARRISON, I.; STIASSNY, M. L. J.; SILVANO, R. A. M.; FITZGERALD, D. B.; PELICICE, F. M.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; ALBERT, J. S.; BARAN, E.; PETRERE JR.,; ZARFL, C.; MULLIGAN, M.; SULLIVAN, J. P.; ARANTES, C. C.; SOUSA, L. M.; KONING, A. A.; HOEINGHAUS, D. J.; SABAJ, M.; LUNDBERG, J. G.; ARMBRUSTER, J.; THIEME, M. L.; PETRY, P.; ZUANON, J.; TORRENTE VILARA, G.; SNOEKS, J.; OU, C.; RAINBOTH, W.; PAVANELLI, C. S.; AKAMA, A.; VAN SOESBERGEN, A. AND L. SÁENZ.

Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science*, 351 (6269): 128-129. 2016. DOI: 10.1126/science.aac7082

WORLD COMMISSION FOR DAMS AND W. KLUNNE, “Sustainable development of village level hydropower in Eastern and Southern Africa,” in *Proceedings of the 3rd Biannual Conference on Science Real and Relevant*, p. 4, International Convention Centre (CSIR), Pretoria, South Africa, 2010.

WORLD ENERGY COUNCIL, *Survey of Energy Resources: Hydropower, Country Reports*, World Energy Council, London, UK, 2007.

WORLD ENERGY COUNCIL, *Survey of Energy Resources: Hydropower, Country Reports*, World Energy Council, London, UK, 2015.

WWF-BRASIL, SOS PANTANAL E EMBRAPA PANTANAL. Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2012 a 2014. 2015. Brasília. Disponível em http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/publicacao_bap_relatorio_2012_2014_web.pdf, acesso em 10/01/16.

ZARFL C, LUMSDON AE, BERLEKAMP J, TYDECKS L AND TOCKNER K. A global boom in hydropower dam construction. *Aquat. Sci.* at press. 2014. doi:10.1007/s00027-014-0377-0.

ZIV, G.; BARAN, E.; NAM, S.; RODRÍGUEZ-ITURBE, I.; LEVIN, S. A. Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin. *PNAS*, 109(15), 5609-5614, 2012. doi: 10.1073/pnas.1201423109.