

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA IMPLANTAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NA RH-PARAGUAI

Temas:
Qualidade de Água
Hidrossedimentologia

Ibraim Fantin da Cruz (UFMT)
Márcia Divina Oliveira (Embrapa-Pantanal)

Fundamento

Nitrogênio e Fosforo são nutrientes limitantes ao crescimentos da biomassa de autótrofos aquáticos, e por isso regulam a abundância desses organismos (Reynolds, 2006);

→ Para o Pantanal o Nitrogênio é limitante (Loverde e Huszar, 2007);

Tão importante quanto a quantidade a **proporção entre o N e P** é essencial na regulação do crescimento populacional, conhecida como Razão de Redfield (Redfield, 1958);



Alterações neste elementos podem alterar a base de cadeia trófica e a produtividade do rio e planície de inundação.

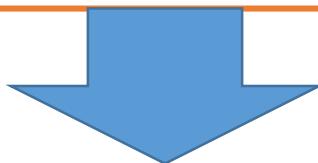
Efeitos são sinalizados em médio e longo prazo, dependendo do estoque disponível;

Exemplo da Bacia do Alto Paraná (Roberto el al. 2009)

Fundamentos

Transporte de sedimentos suspensão: importantes para a estruturação de algumas formas fluviais, como as planícies de inundação, onde o acúmulo de sedimentos em áreas de várzea ocorre com acúmulo vertical, e transporte de elementos adsorvidos na partícula de argila (OWENS, 2005);

Transporte de sedimentos leito: Importante para a estruturação do canal fluvial (KONDOLF, 1995);



Alterações nestes elementos podem alterar a morfologia fluvial, a conectividade lateral e a troca de substância com a planície.

Efeitos são sinalizados em médio e longo prazo, dependendo da magnitude da alteração;
Padrão consolidado na literatura, incluindo pequenos reservatórios (KONDOLF, 1995)

Objetivo

Estudar o efeito dos empreendimentos hidrelétricos (EHs) em operação sobre a qualidade da água e as condições hidrossedimentológicas dos rios e produzir cenários de alteração no aporte de sedimentos, nutrientes e solutos considerando os EHs previstos.

Etapas da avaliação

- Medir o transporte de sedimentos, carbono, nutrientes e solutos dissolvidos em rios com hidrelétricas em operação e com previsão de instalação;
- Calcular as taxas de alteração no transporte de sedimentos, carbono, nutrientes e solutos dissolvidos nos empreendimentos em operação;
- Estimar as taxas de alteração no transporte de sedimentos e nutrientes nos empreendimentos previstos;
- Produzir cenário de alteração no aporte de sedimentos e nutrientes para o Pantanal, na hipótese da construção de todos os empreendimentos previstos;
- Estudos de apoio:
 - Monitoramento de alta frequência;
 - Assoreamento nos reservatórios.

Metodologia

Base de dados secundários:

⇒ Compilação de dados oriundos:

- Monitoramento ambiental dos empreendimentos (empreendedor);
 - 28 Empreendimentos hidrelétricos
- Monitoramento ambiental dos rios (SEMA, IMASUL, ANA);
- Pesquisas Científicas (UFMT, EMBRAPA)

⇒ Consistência dos dados:

- Exclusão de valores extremos ou atípicos para o rio;
- Análise de coerência entre variáveis correlacionadas;
- Padronização dos valores abaixo do limite de detecção do método;

Metodologia

Base de dados primários:

⇒ Delineamento amostral

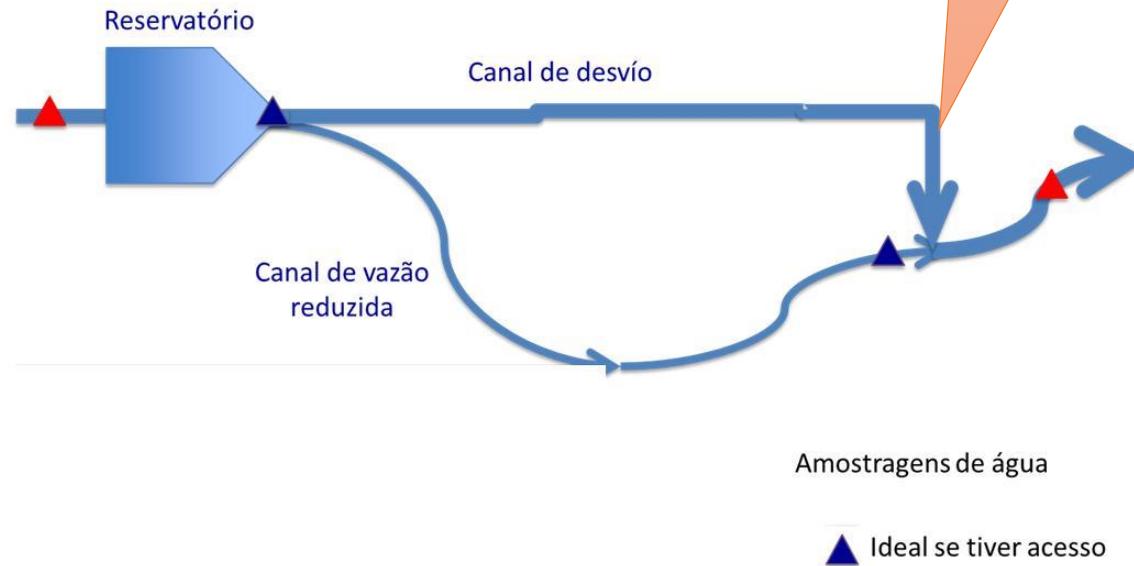


Figura: Localização teórica dos pontos amostrais.

Pontos amostrais

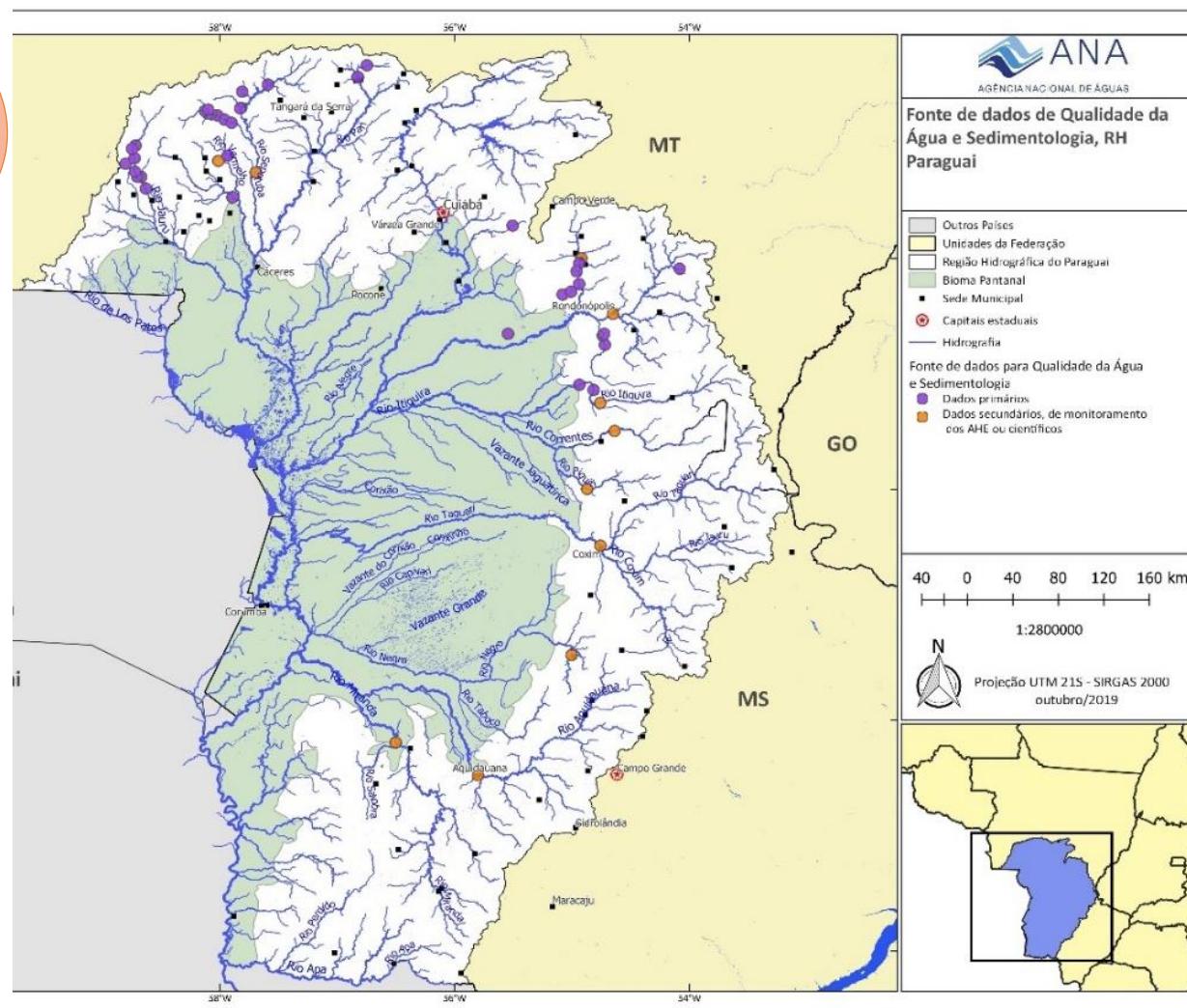


Figura: Localização dos pontos amostrais.

Metodologia

Base de dados primários:

⇒ Amostragem:

Suspensão

Sedimentos
Carbono Orgânico Particulado
Nitrogênio Total
Fósforo Total
Nitrogênio Dissolvido
Solutos Dissolvidos

Leito

Método Igual Incremento de Descarga



Figura: Amostrador DH-59 e balde homogeneizador;



Figura: Amostrador tipo Helly-Smith.

Metodologia

Avaliação do efeito dos empreendimentos em operação:

⇒ Taxa de variação:

Diferença percentual padronizada entre os valores medidos a montante a e jusante de cada empreendimento;

(+) Positivo: Aumento do valor a jusante em relação a montante;

(-) Negativo: Redução do valor a jusante em relação a montante.

Tabela: Classificação dos efeitos dos empreendimentos hidrelétricos sobre os parâmetros analisados.

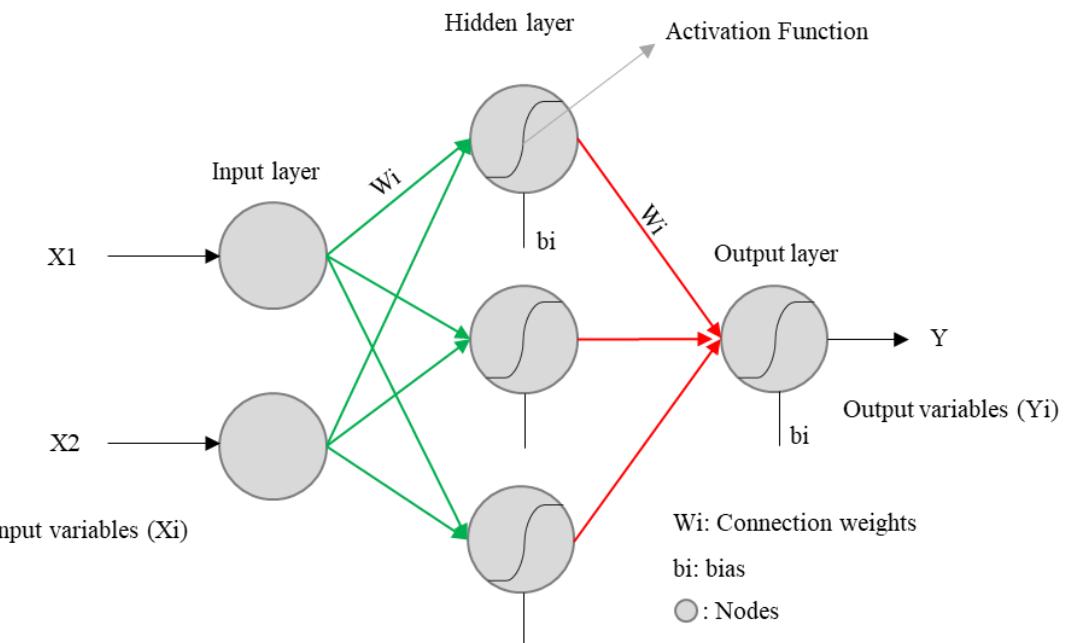
Classes de Alteração	Sedimentos, Fósforo, Carbono, Condutividade elétrica e Turbidez	Nitrogênio
Baixo	0 - 10	0 - 15
Médio	10 - 20	15 - 25
Alto	> 20	> 25

Metodologia

Simulação da alteração no transporte de sedimentos e nutrientes em empreendimentos previstos

⇒ Modelagem com Redes Neurais Artificiais (RNA)

- Modelos baseados em dados – aprendem com exemplos (dados);
- No treinamento da rede, os pesos sinápticos são ajustados a partir de uma regra de aprendizado
 - objetivo final é minimizar alguma medida de desempenho baseada nos erros entre as saídas calculadas e observadas
- Aproximadores universais;
- Validação Cruzada;



Metodologia

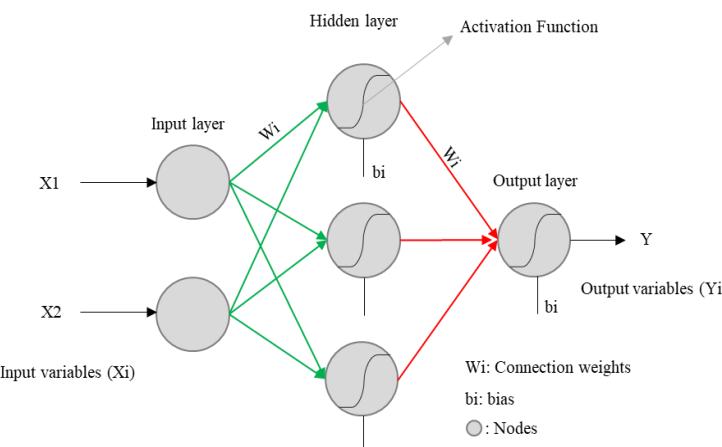
Simulação da alteração no transporte de sedimentos e nutrientes em empreendimentos previstos

⇒ Modelagem com Redes Neurais Artificiais (RNA)

Dados utilizados na calibração:

- **Dados de Entrada**
- Dados de 32 empreendimentos;
 - Área de Drenagem (km^2);
 - Área Alagada (km^2);
 - Volume Útil (m^3);
- Dados de Tipo de Solo;
- Dados de Uso da Terra;
- Dados de Produção anual de Sedimentos, Fósforo e Nitrogênio na bacia (ton/ha/ano);
- Concentração do parâmetro no rio (mg/L);

- **Dados de Saída**
- CSS (mg/L)
- Nitrogênio Total (mg/L)
- Fósforo Total (mg/L)



Metodologia

Simulação da alteração no transporte de sedimentos e nutrientes em empreendimentos previstos

⇒ Modelagem com Redes Neurais Artificiais (RNA)

- Efeito Isolado: simulação da alteração na hipótese da construção de um único empreendimento;
- Efeito acumulativo: simulação da alteração na hipótese da construção de todos os empreendimentos previstos na sub-bacia;
 - Neste caso, para cada empreendimento foi considerado o efeito de empreendimentos a montante.

Metodologia

Estudos de caso

⇒ Monitoramento de Alta Frequência

→ Instalação de Estações de Monitoramento

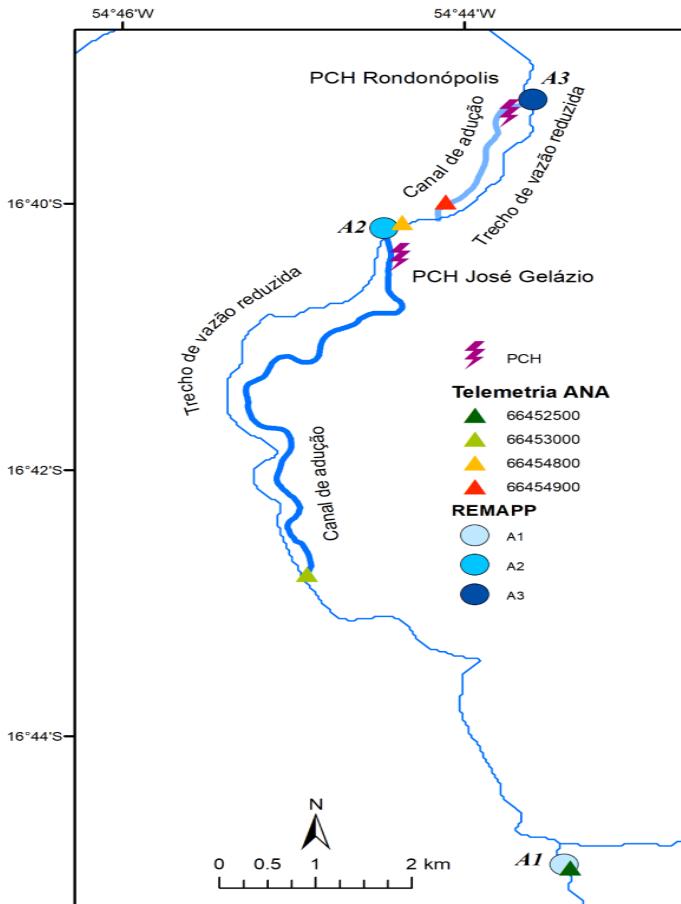


Figura: Área de Estudo.

Área de Estudo: Ribeirão Ponte de Pedra, afluente do rio São Lourenço

Variáveis Sensores Campbell – pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura da água

Variáveis Sensores WTW – DQO e nitrato

Frequência de medição: 1h

Validação dos Dados

- ❖ Laboratório externo
- ❖ Laboratório EMBRAPA/REMAPP
- ❖ Monitoramento Engie (2008 – 2017)

Metodologia

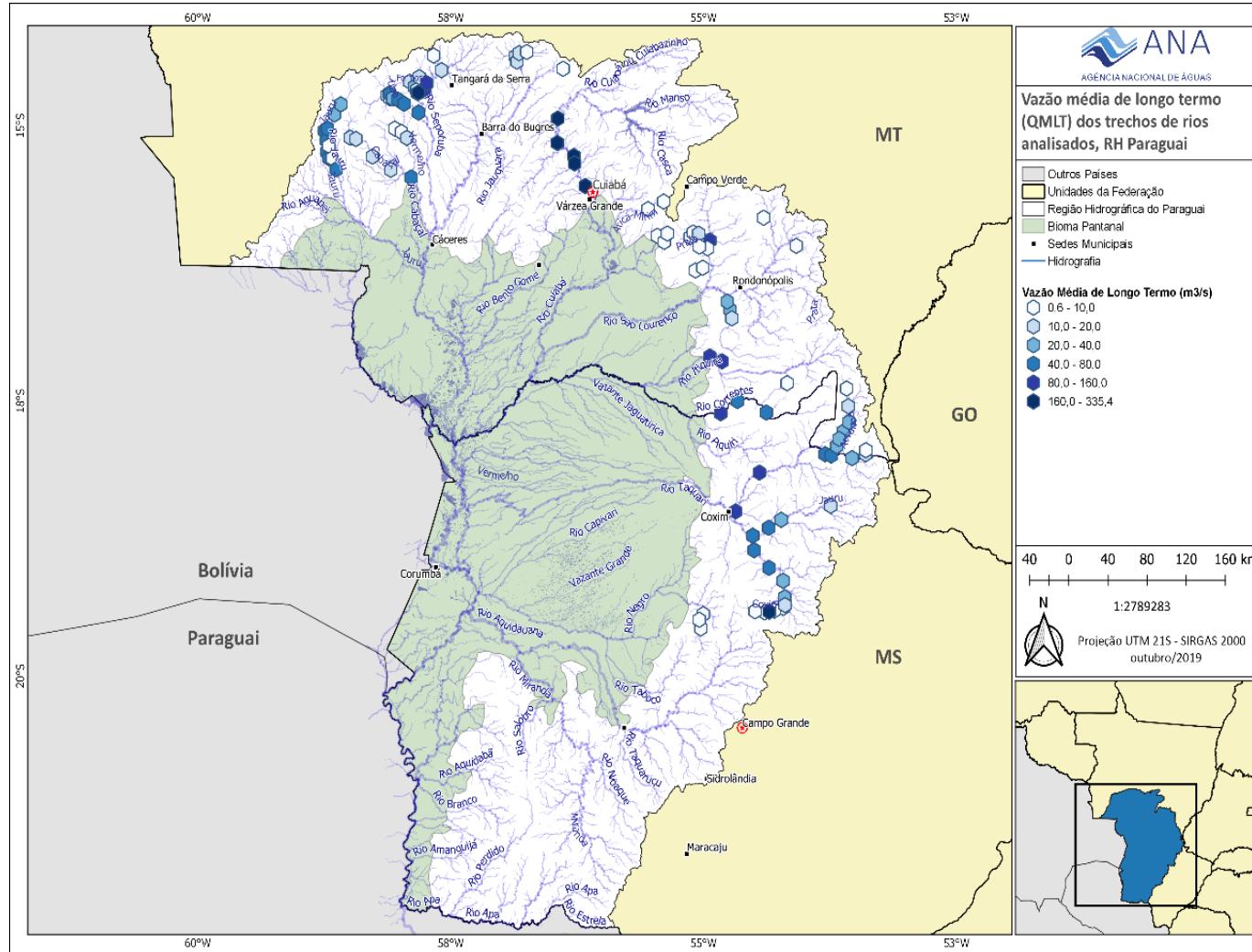
Estudos de caso

- ⇒ Avaliação do assoreamento em empreendimentos em operação
 - Interpretação visual de imagens de satélites multitemporais, disponíveis gratuitamente;
 - Imagens capturadas no período de estiagem;
 - Foram utilizados os Satélites Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8, CBERS 2, CBERS 4 e Sentinel 2 A/B, além de imagens do Google Earth, Banco de imagens do Bing e mosaico Spot 5 do Estado de Mato Grosso.

Caracterização dos trechos de rios Estudados

Resultados

Vazões dos trechos de rios estudados



⇒ Empreendimentos em Operação:

→ 58% vazões < 25 m³/s

→ 37% vazões ≥ 25 < 100 m³/s

→ 5% vazões > 100 m³/s

⇒ Empreendimentos Previstos:

→ 65% vazões < 25 m³/s

→ 21% vazões ≥ 25 < 100 m³/s

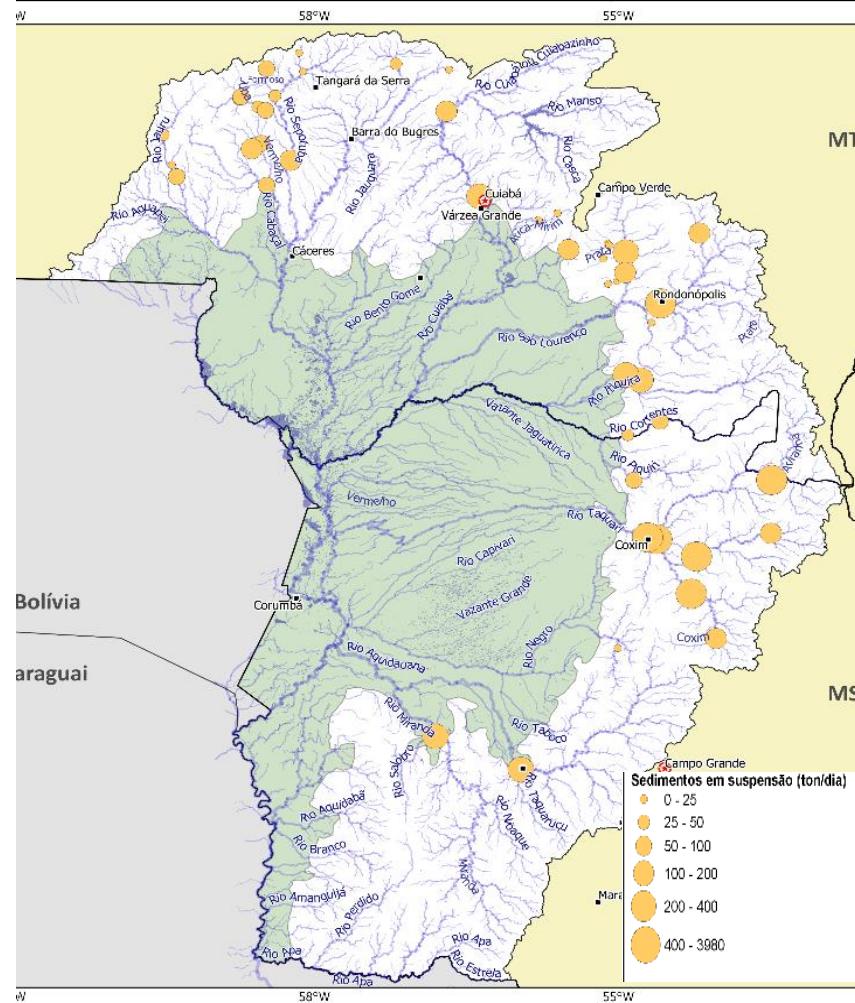
→ 14% vazões > 100 m³/s

Figura: Vazão média de longo termo dos trechos de rios.

Resultados

Fluxos de Sedimentos em Suspensão e no Leito

Sedimentos em Suspensão



Valores observados foram inferiores aos registrados em outros estudos
(SEMMELMANN et al., 1996, PADOVANI et al., 2005 e OLIVEIRA et al., 2019).

Em **43%** dos locais amostrados a descarga de leito contribui com menos de 1% da carga total, maioria a jusante de EH.

Sedimentos no Leito

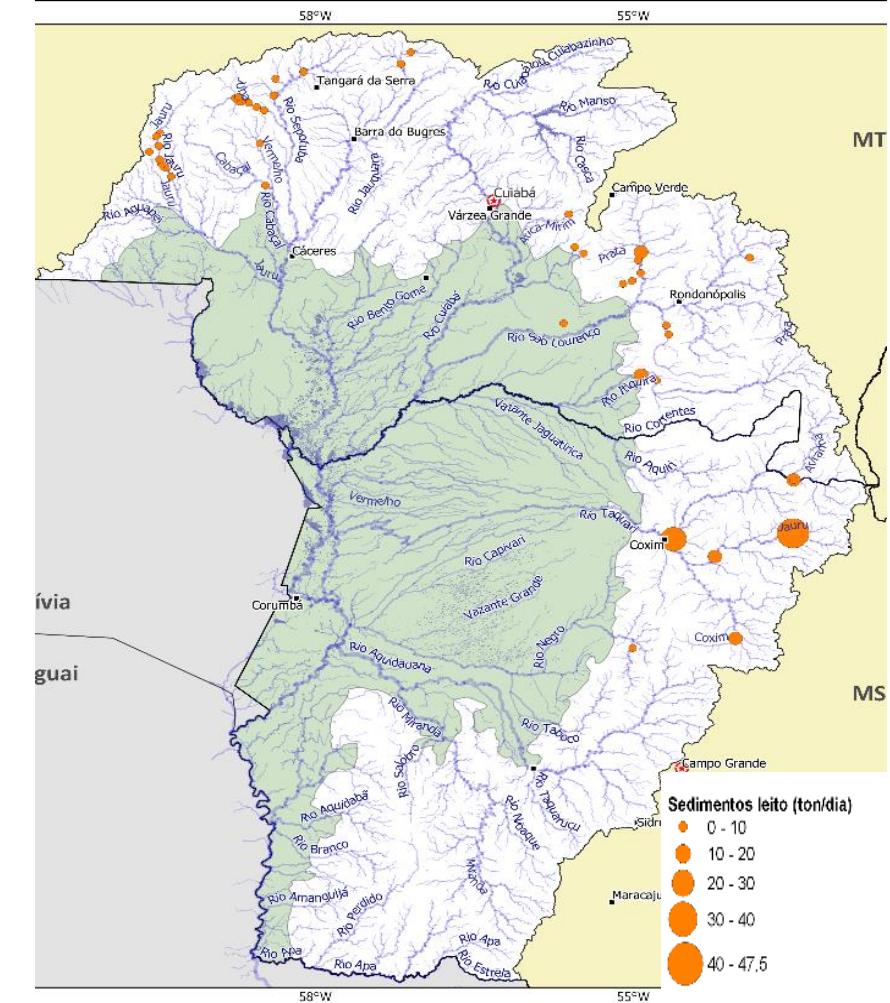


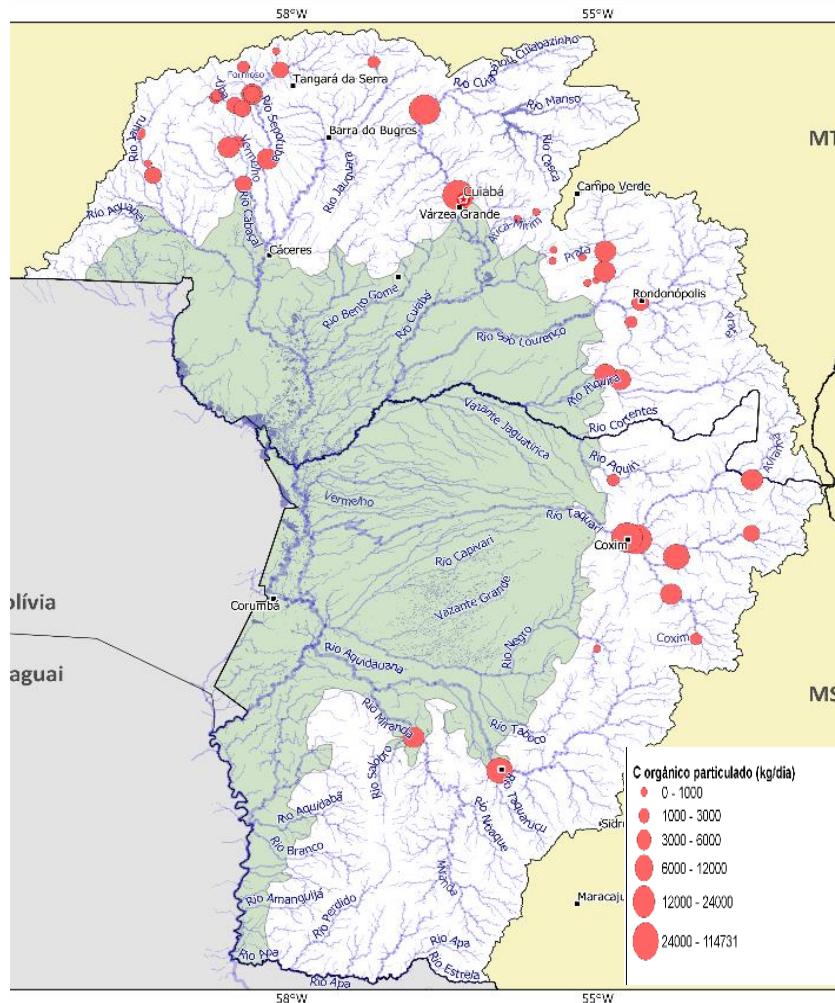
Figura: Mediana das cargas de sedimento em suspensão (ton./dia)

Figura: Mediana das cargas de sedimento no leito(ton./dia)

Resultados

Fluxos de Carbono em Suspensão e no Leito

Carbono Orgânico Particulado em Suspensão



- COP representa em média 5% dos Qss.
- Destaque Sepotuba, Cabaçal e Jauru (MS)

- CT destaque para o Formoso, Taquari e Itiquira.

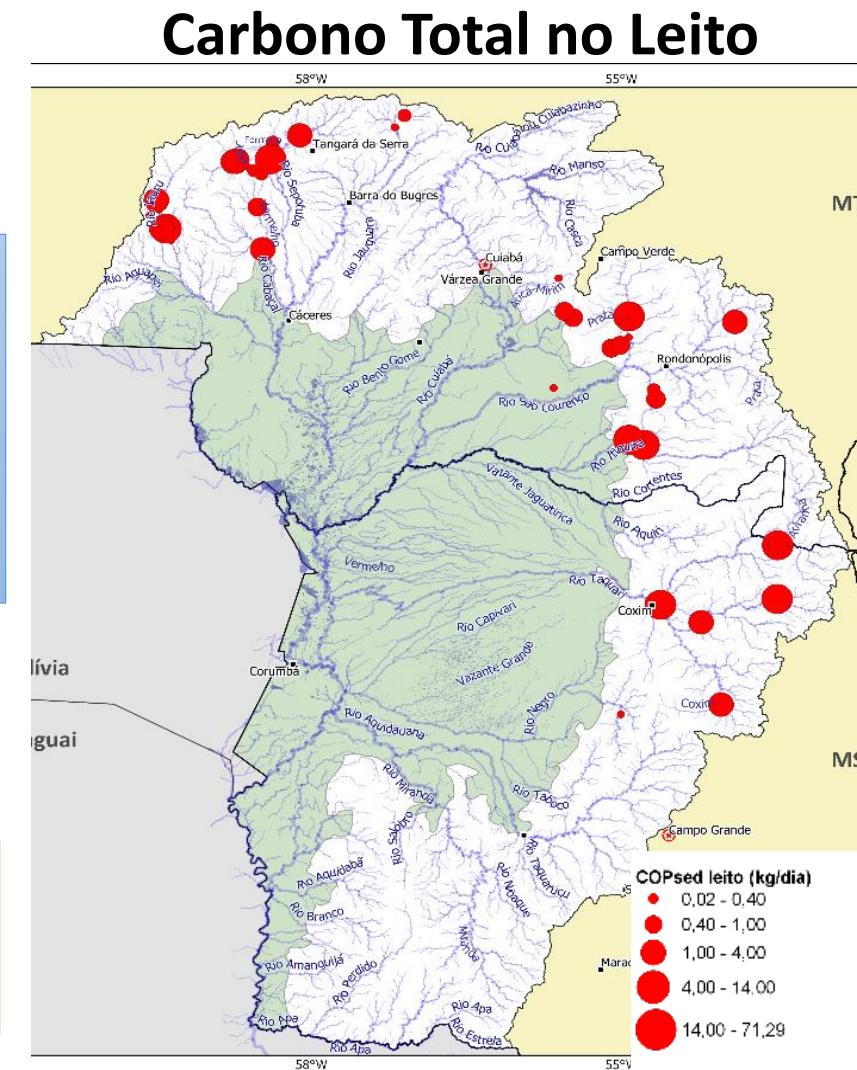


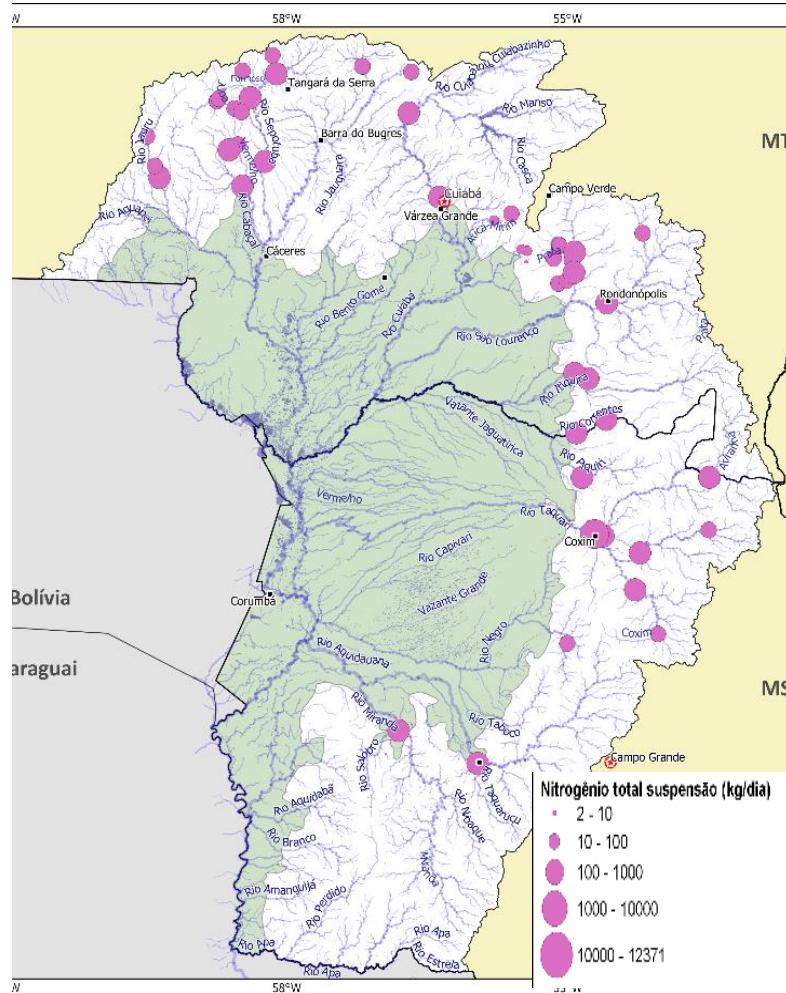
Figura: Mediana das cargas de Carbono Orgânico Particulado (kg/dia)

Figura: Mediana das cargas de Carbono Total no leito(kg/dia)

Resultados

Fluxos de Nitrogênio em Suspensão e no Leito

Nitrogênio Total em Suspensão



NTsusp destaque para Taquari, Sepotuba e Cuiabá.

NTsed destaque para Taquari, Formoso e Itiquira

As contribuições do NT no leito para o total é inferior a 0,3% em 95% dos pontos

Nitrogênio Total no Leito

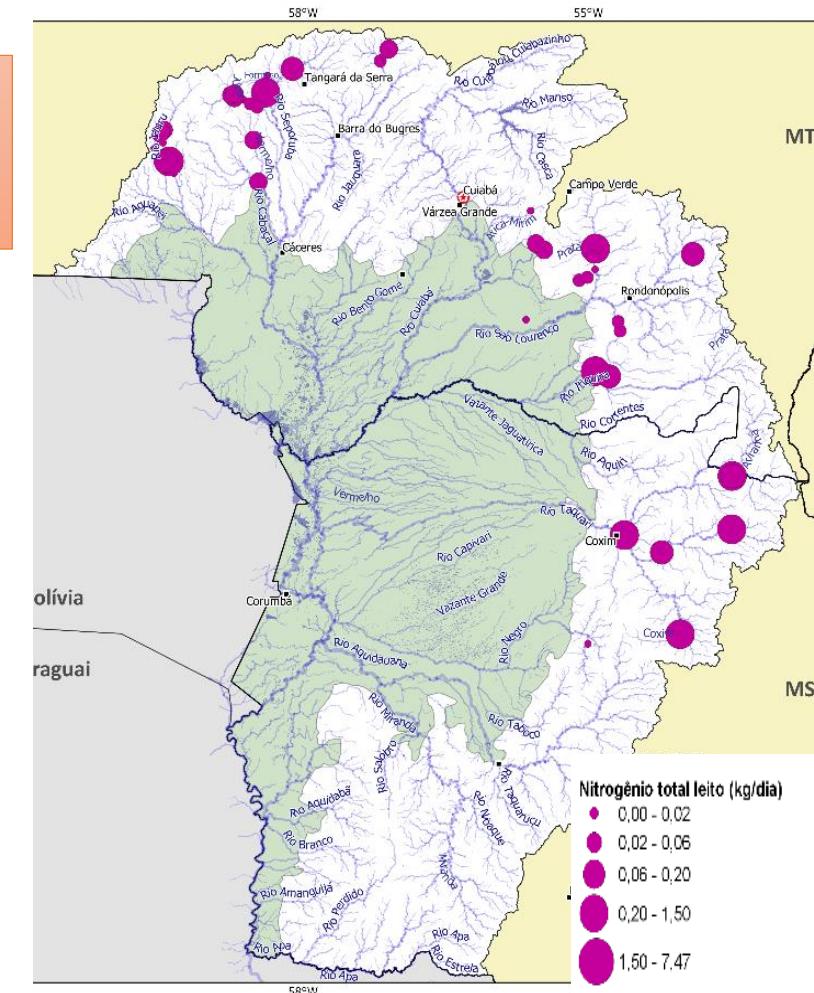


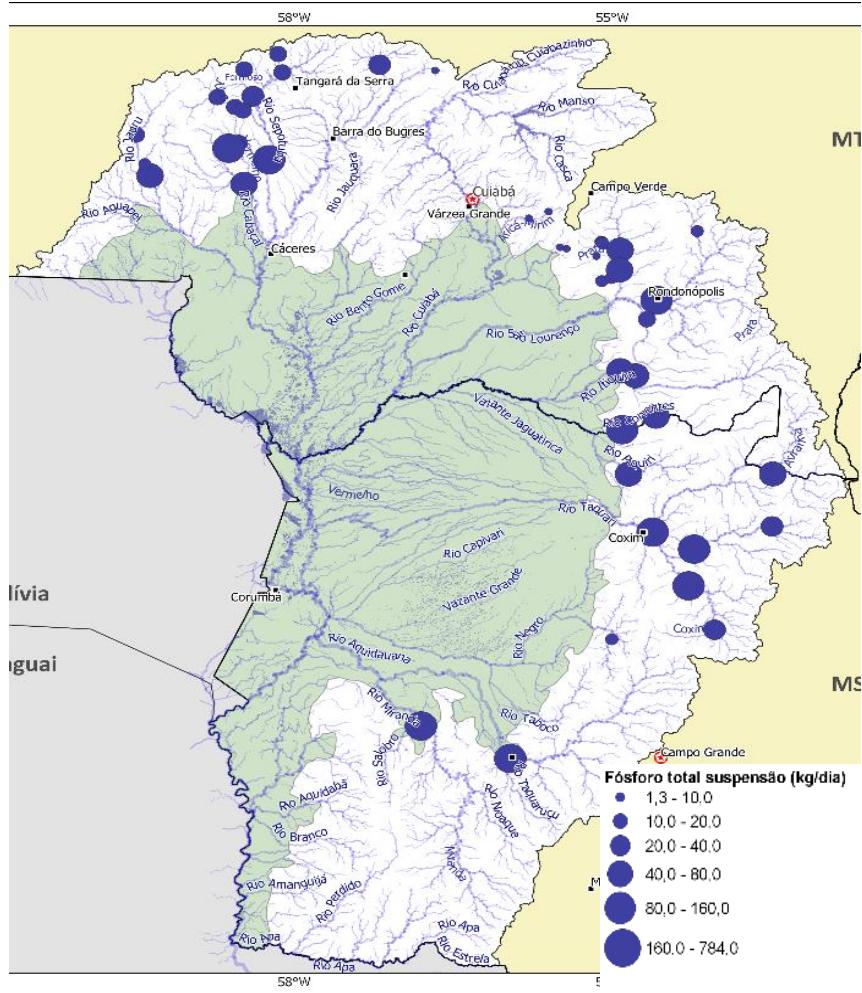
Figura: Mediana das cargas de Nitrogênio total em suspensão (kg/dia)

Figura: Mediana das cargas de nitrogênio total no leito(kg/dia)

Resultados

Fluxos de Fósforo em Suspensão e no Leito

Fósforo Total em Suspensão



PTsusp destaque para
Cabaçal e Jauru (MS).

Ptsed destaque para
Formoso, Taquari e Itiquira

As contribuições do PT no
leito para o total é inferior a
1%

Fósforo Total no Leito

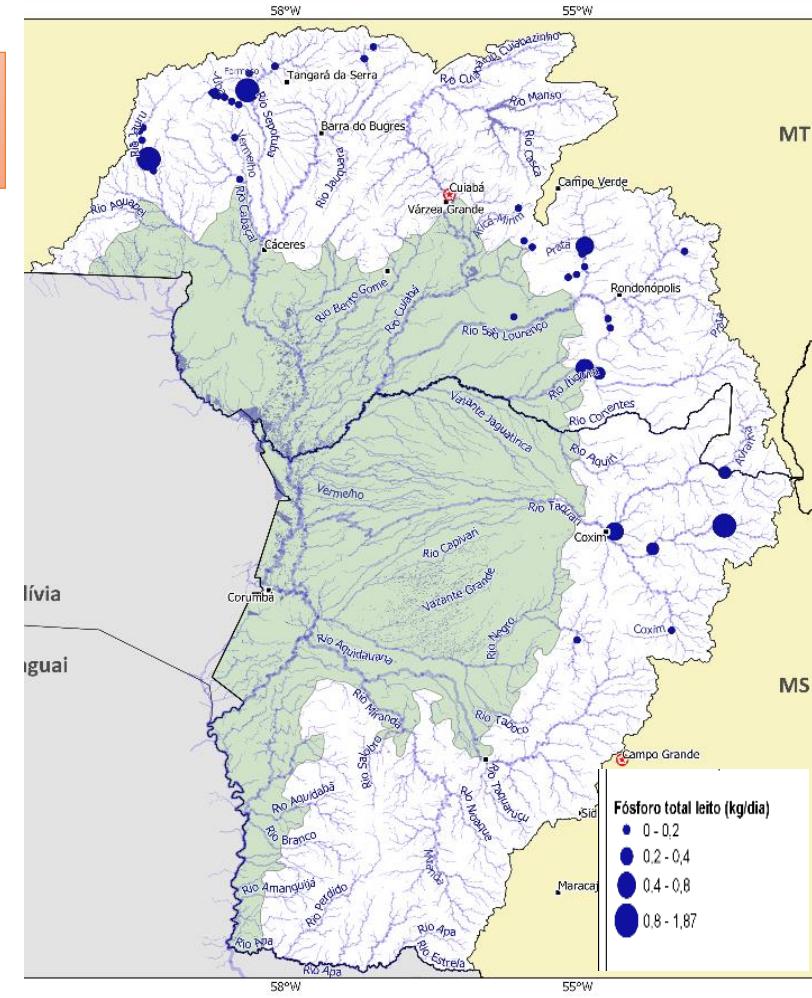
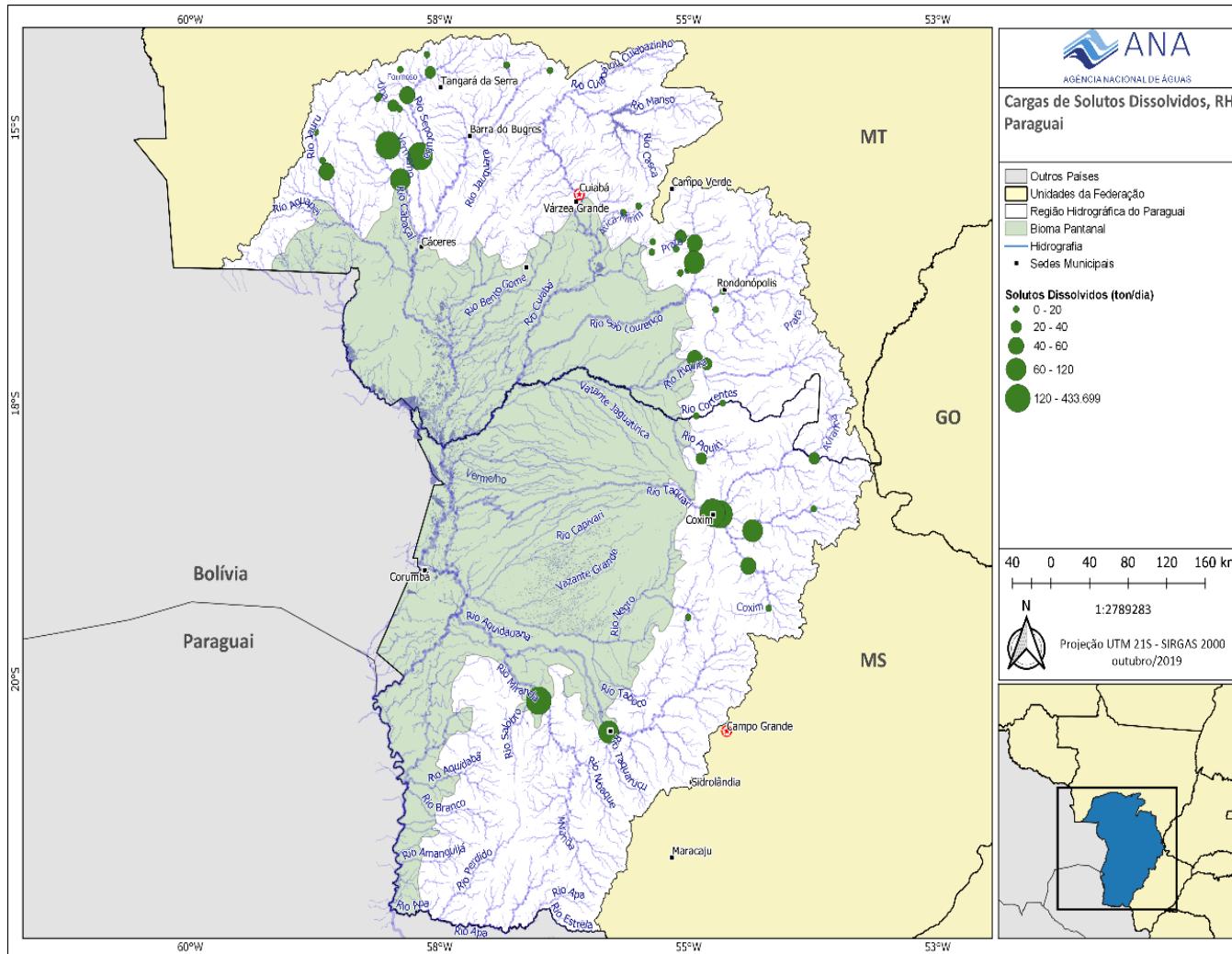


Figura: Mediana das cargas de fósforo total em suspensão (kg/dia)

Figura: Mediana das cargas de fósforo total no leito(kg/dia)

Resultados

Fluxos de Solutos Dissolvidos



Rios Sepotuba, Cabaçal e Jauru (MT), representam fontes importantes de solutos dissolvidos no norte da bacia para o Rio Paraguai.

Figura: Mediana das cargas de Solutos Dissolvidos (ton/dia)

Efeito dos empreendimentos em Operação

Resultados

Efeito dos empreendimentos em Operação

Sedimentos em Suspensão

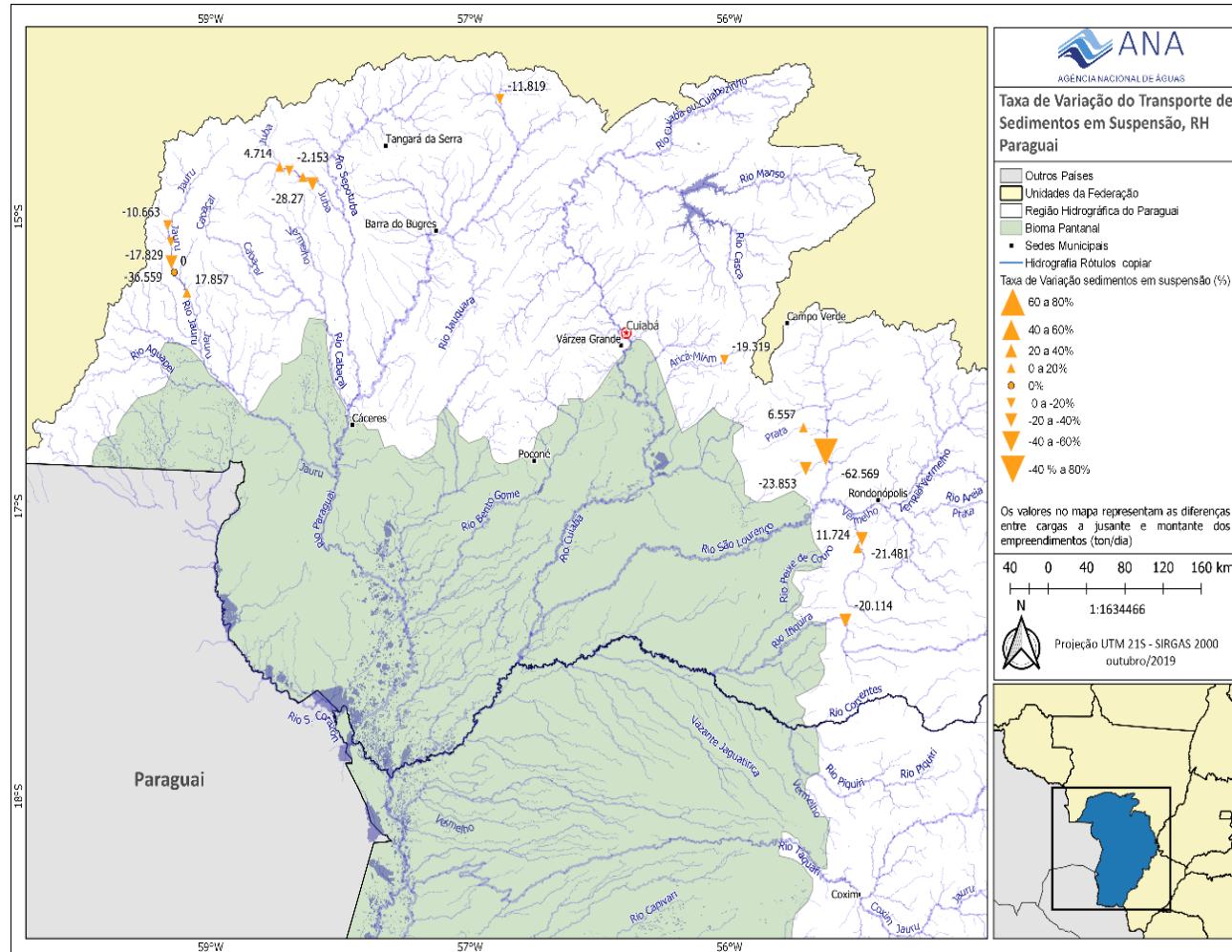


Figura: Mediana das taxas de alteração de Sedimentos em Suspensão (%)

Destaques:

- PCH São Lourenço -62%
- PCH Jauru -36%
- PCH Pampeana -28%

Classificação da alteração:

- ⇒ Baixo: 35% dos empreendimentos;
- ⇒ Médio: 30% dos empreendimentos;
- ⇒ Alto: 35% dos empreendimentos;

Resultados

Efeito dos empreendimentos em Operação

Sedimentos no Leito

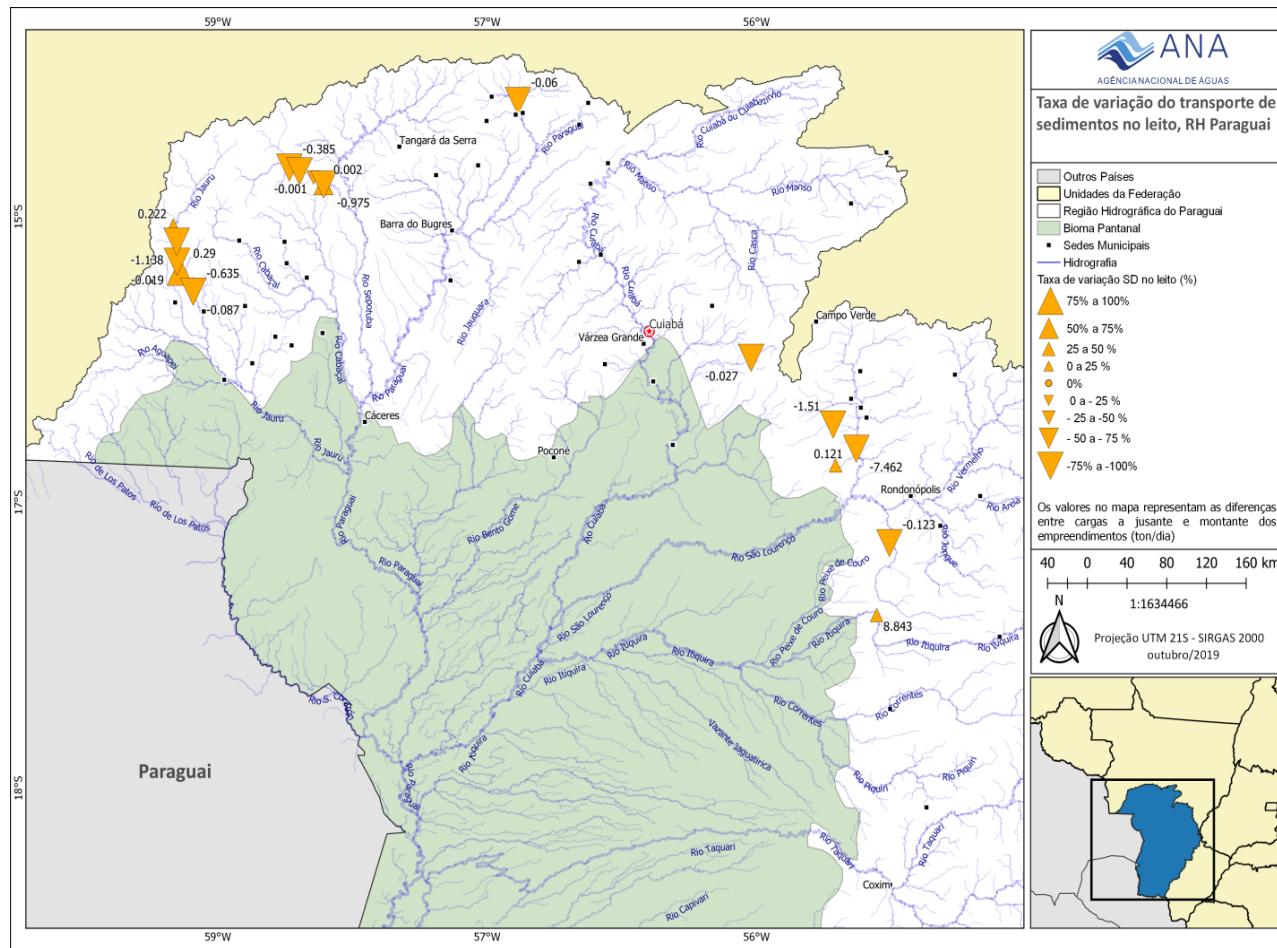


Figura: Mediana das taxas de alteração de Sedimentos no leito (%)

Destaques:

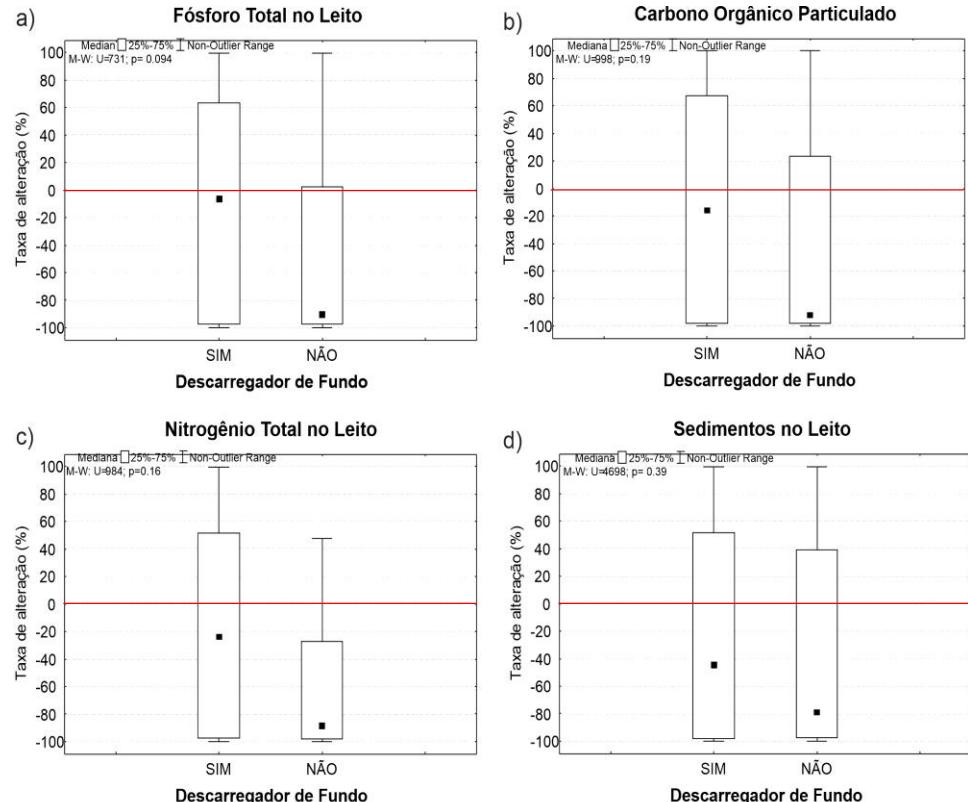
- PCH São Lourenço -99%
- PCH Ombreiras -99%
- PCH Eng. José Gelásio -95%

Classificação da alteração:

- ⇒ Baixo: 0% dos empreendimentos;
- ⇒ Médio: 0% dos empreendimentos;
- ⇒ Alto: 100% dos empreendimentos;

Resultados

Efeito do descarregador de fundo no transporte de leito



Alterações não
estatisticamente
significativas.

Reservatórios com **TRH <0,4**
dias são eficientes na
liberação de sedimentos
retidos no reservatório
(Kondolf et al., 2014).

Figura: Taxa de alteração no transporte de leito em
relação a presença de descarregador de fundo.

Resultados

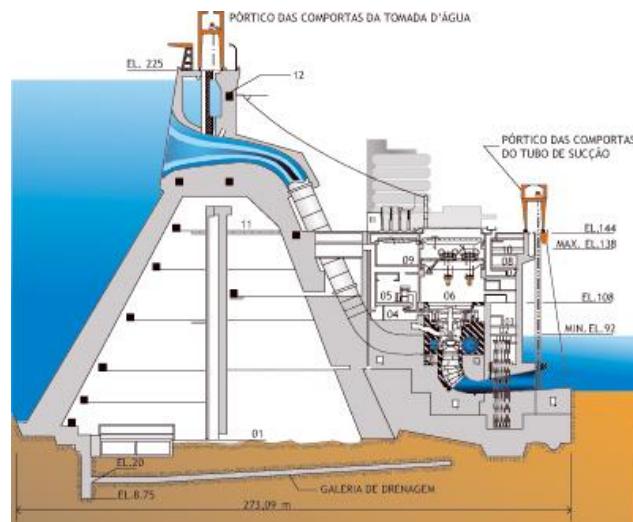
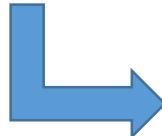
Efeito da posição da tomada d'água na variação do transporte em suspensão

Tabela: . Avaliação do efeito da posição vertical da tomada d'água na variação do transporte em suspensão.

Parâmetros	Superficial	Profundo	Mann-Whitney (U/Z)	p
Sedimentos em suspensão (%)	0 (-39,1/20,0)	0 (-47,9/17,8)	4747/1.18	0.23
Fósforo total (%)	0 (-17,4/15,4)	-2,8 (-37,8/18,8)	4811/0.73	0.46
Nitrogênio total	1,9 (-15,5/27,8)	-5,8 (-28,6/19,7)	4367/1.88	0.58
Nitrogênio orgânico total (%)	-7,2 (-36,3/26,6)	-7,7 (-28,2/22,02)	4740/-0.29	0.76
Carbono orgânico total (%)	-6,1 (-24,2/17,8)	-5,9 (31,2/7,4)	4563/0.73	0.46

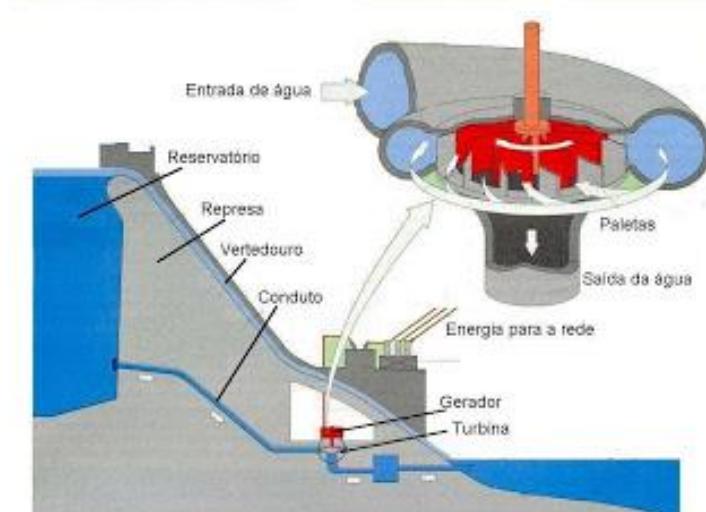
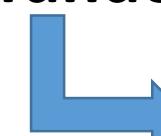
EXEMPLOS:

Superficial



Fonte: <https://www.itaipu.gov.br/energia/casa-de-forca>

Profundo



Fonte: <http://geografiaeletrica.blogspot.com/2011/10/funcionamento-geracao-e-distribuicao-de.html>

Resultados

Avaliação do assoreamento nos reservatórios

- Por que reservatórios assoreiam?



Figura: Processo de assoreamento em reservatórios.

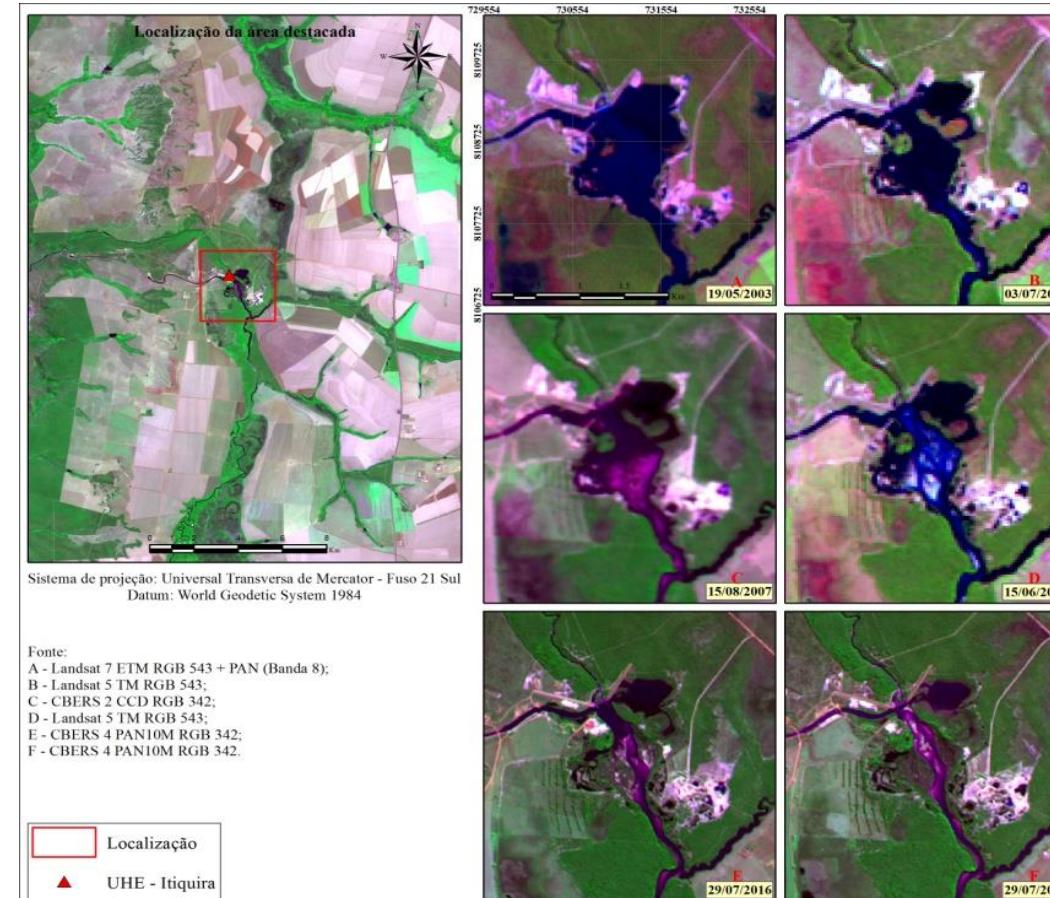
Resultados

Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

- 19 reservatórios avaliados;
- 9 reservatórios com assoreamento evidente;

Destaque:

UHE ITIQUIRA



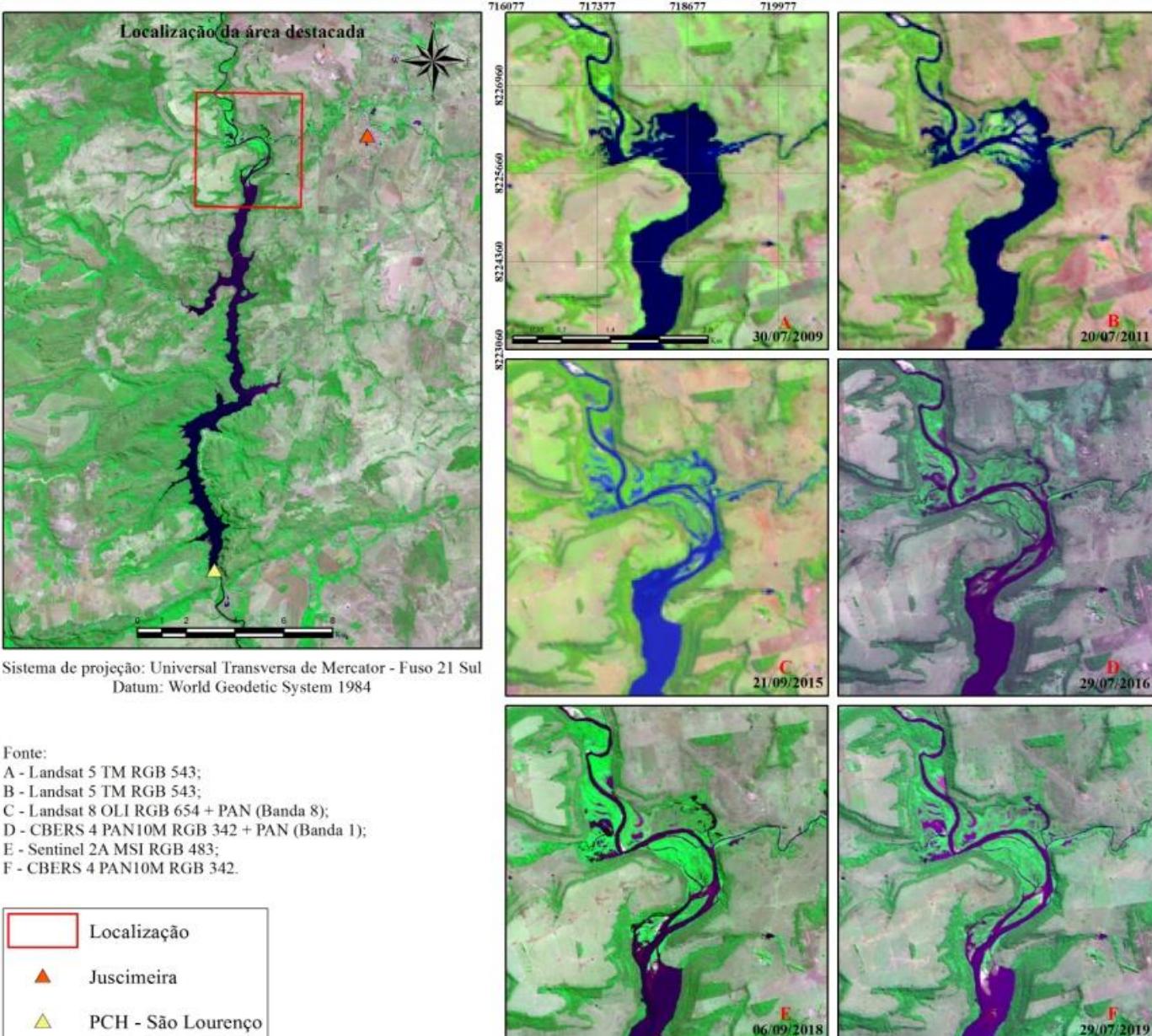
Resultados

Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

Destaque:

PCH SÃO LOURENÇO

Rio São Lourenço



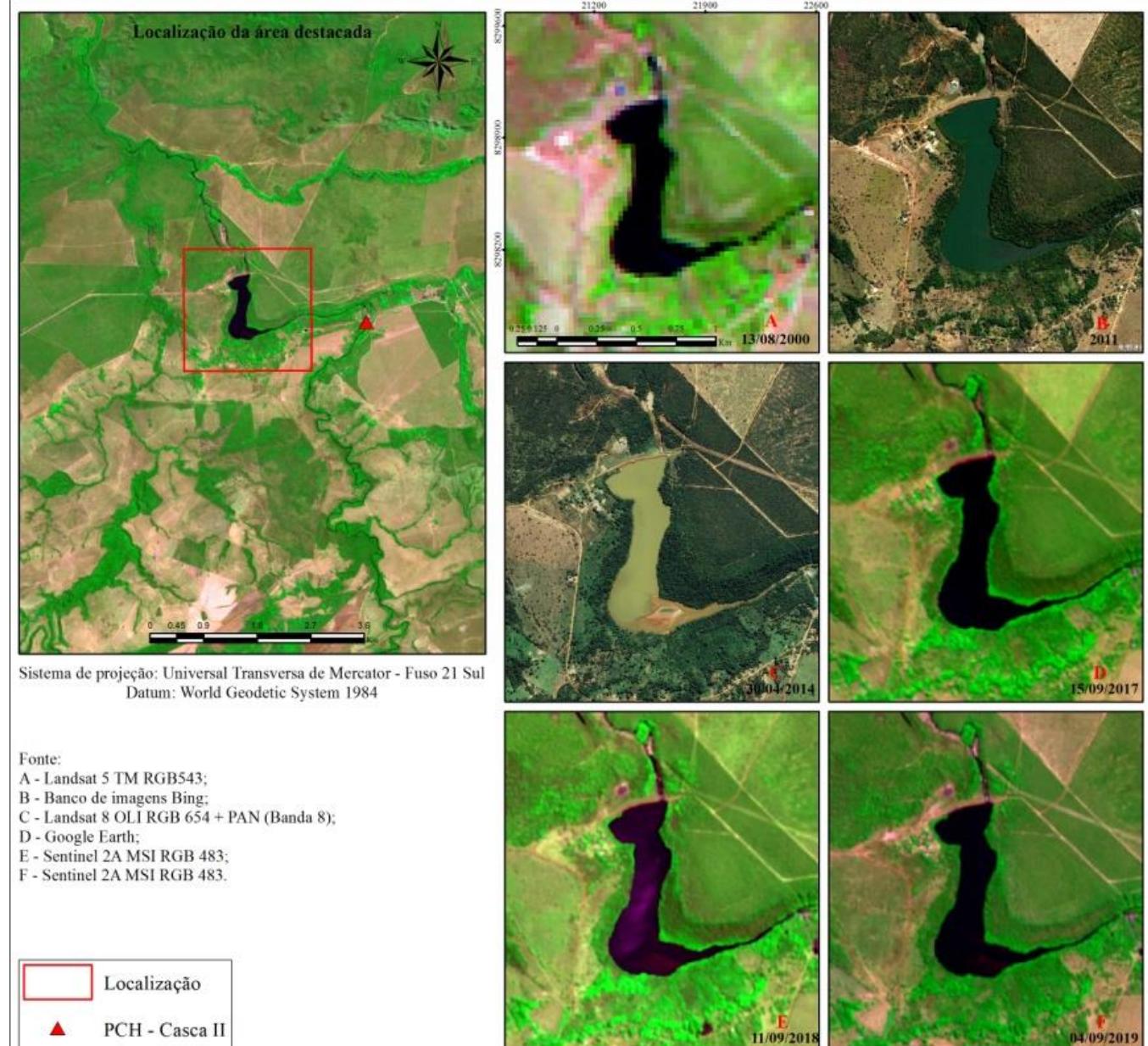
Resultados

Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

Destaque:

PCH Casca II

Rio Casca



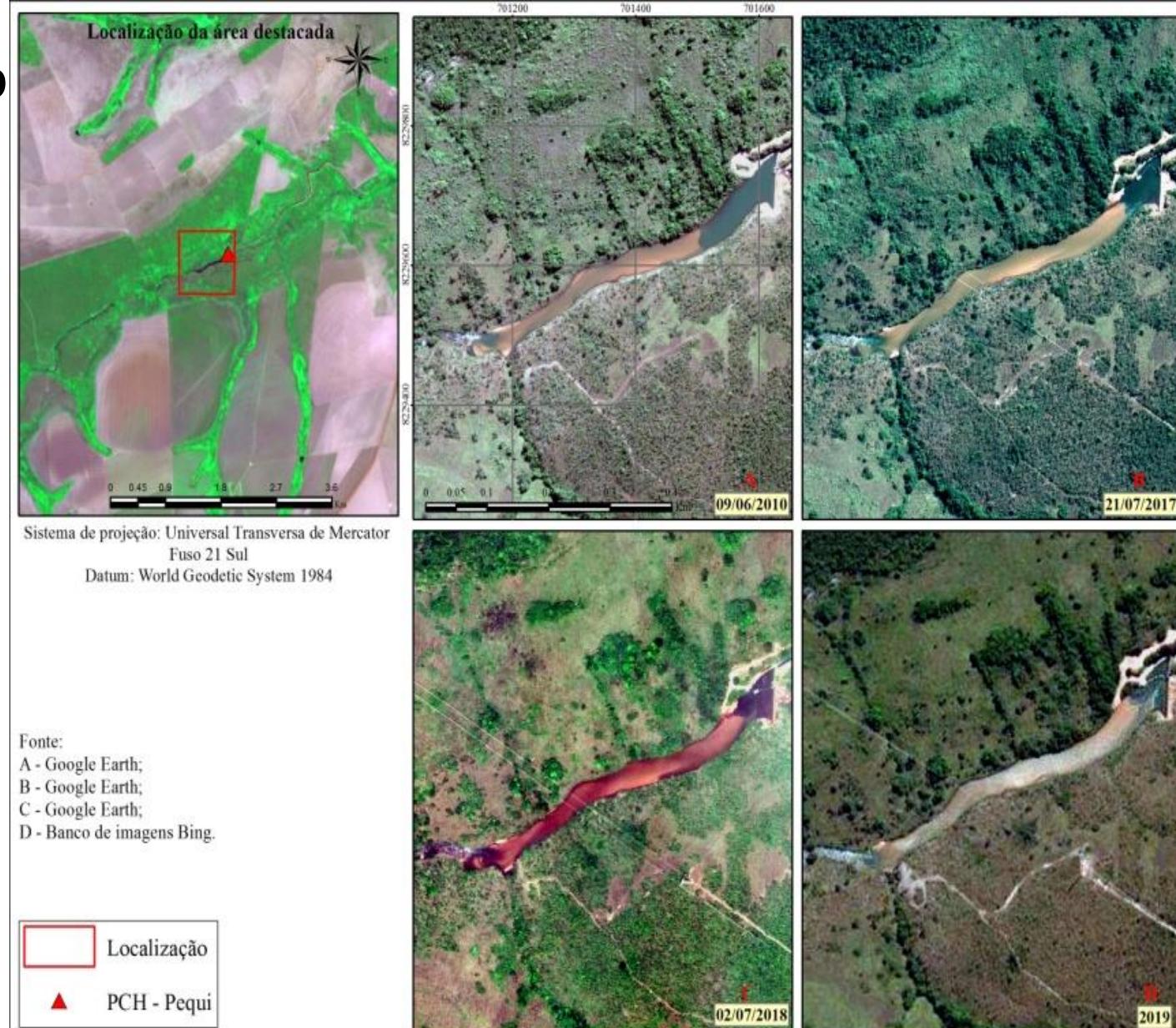
Resultados

Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

Destaque:

PCH Pequi

Córrego Saia Branca



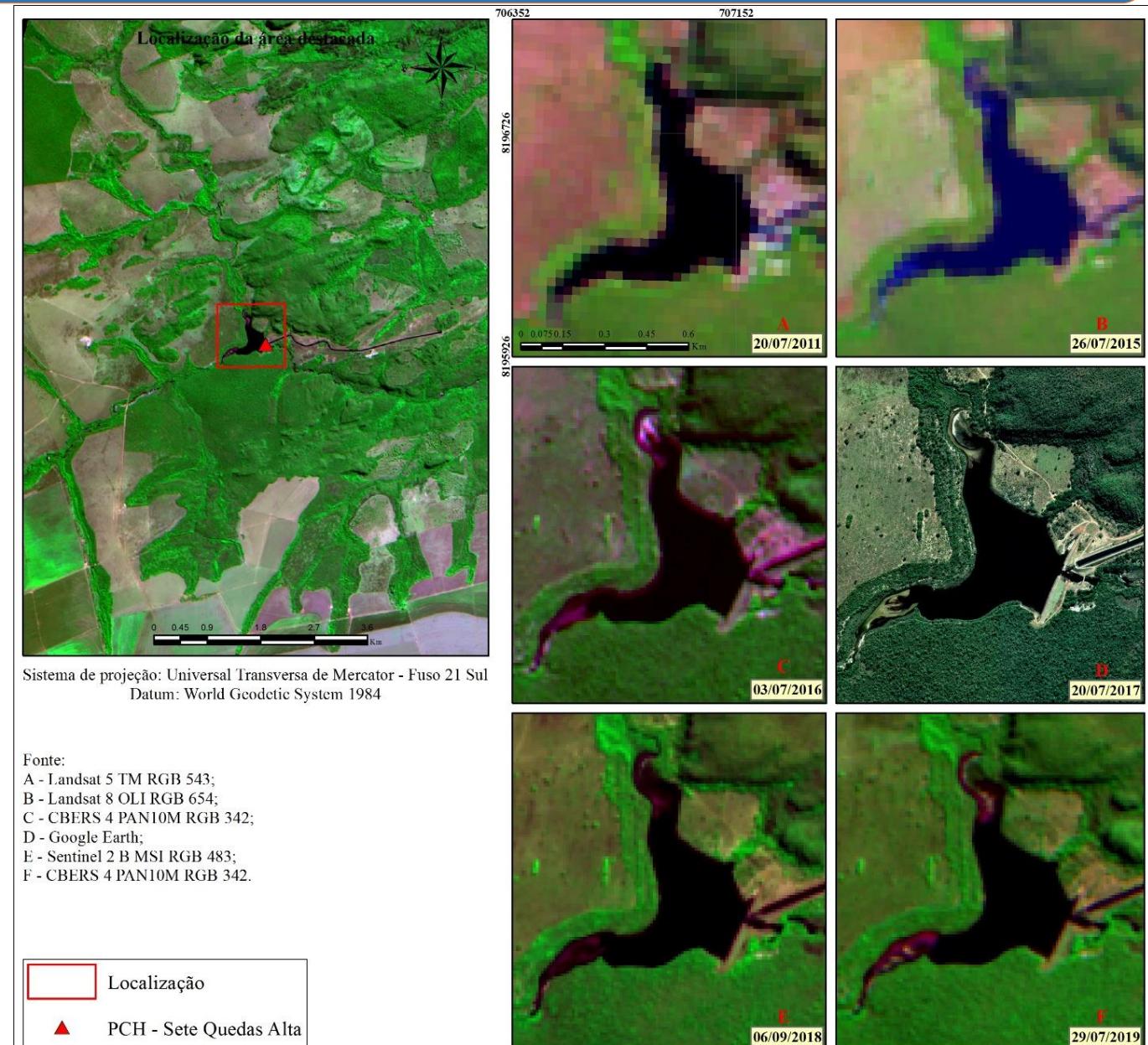
Resultados

Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

Destaque:

PCH Sete Quedas Altas

Córregos Ibo e Dois Córregos



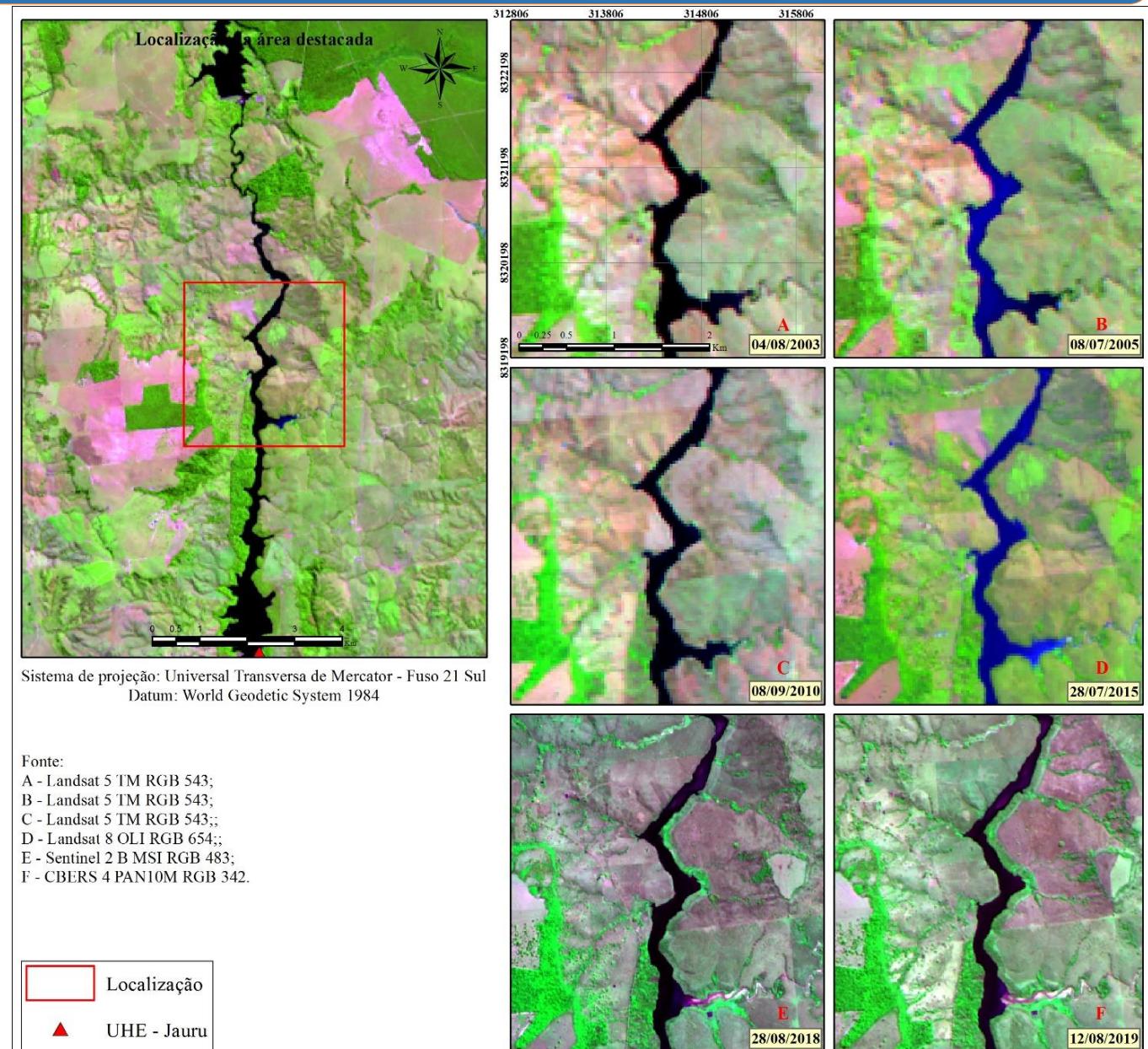
Resultados

Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

Destaque:

UHE Jaurú

Córrego Pé de Serra (afluente do rio Jauru)



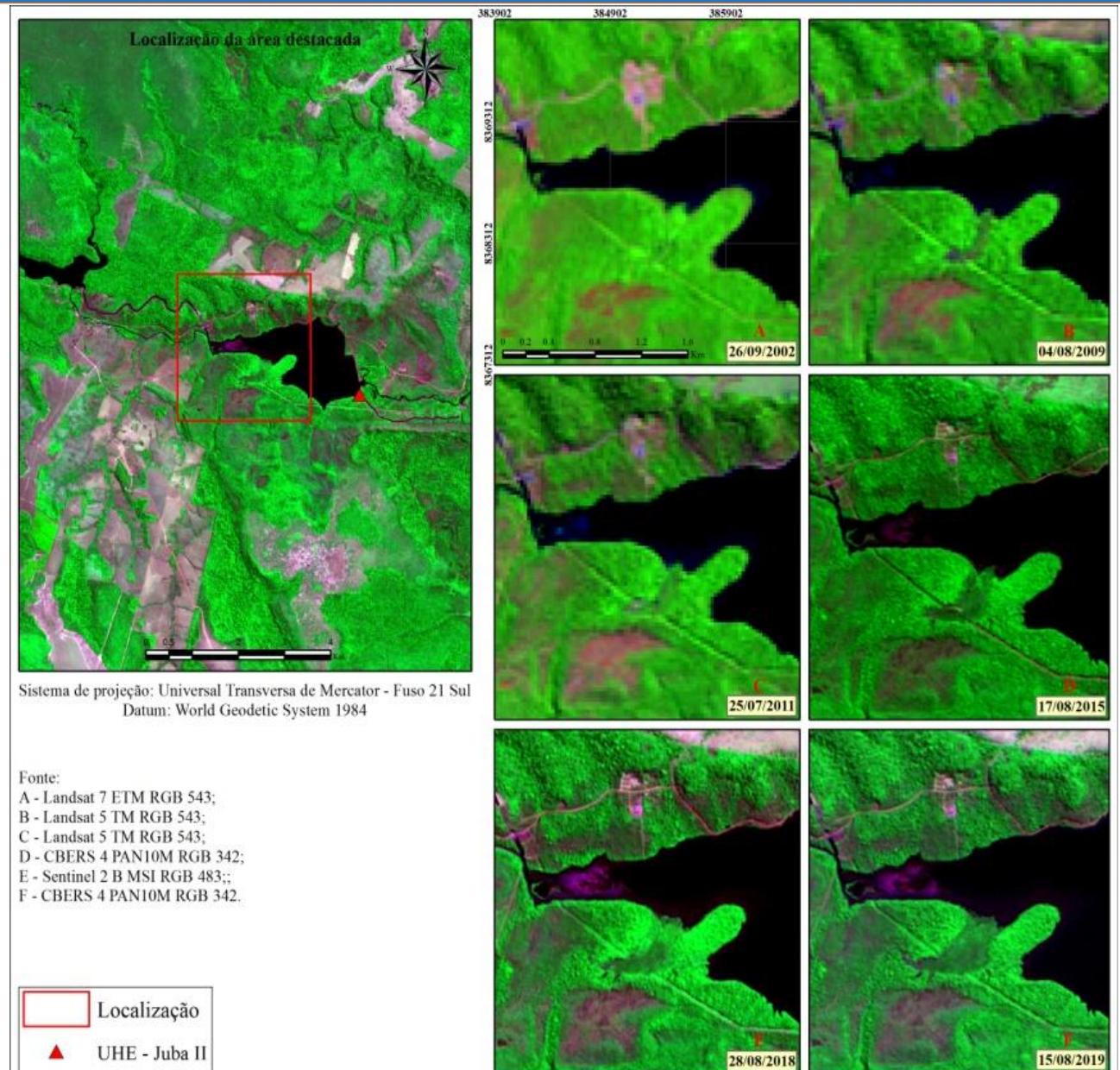
Resultados

Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

Destaque

UHE Juba II

Córrego Toco (afluente do rio Juba)



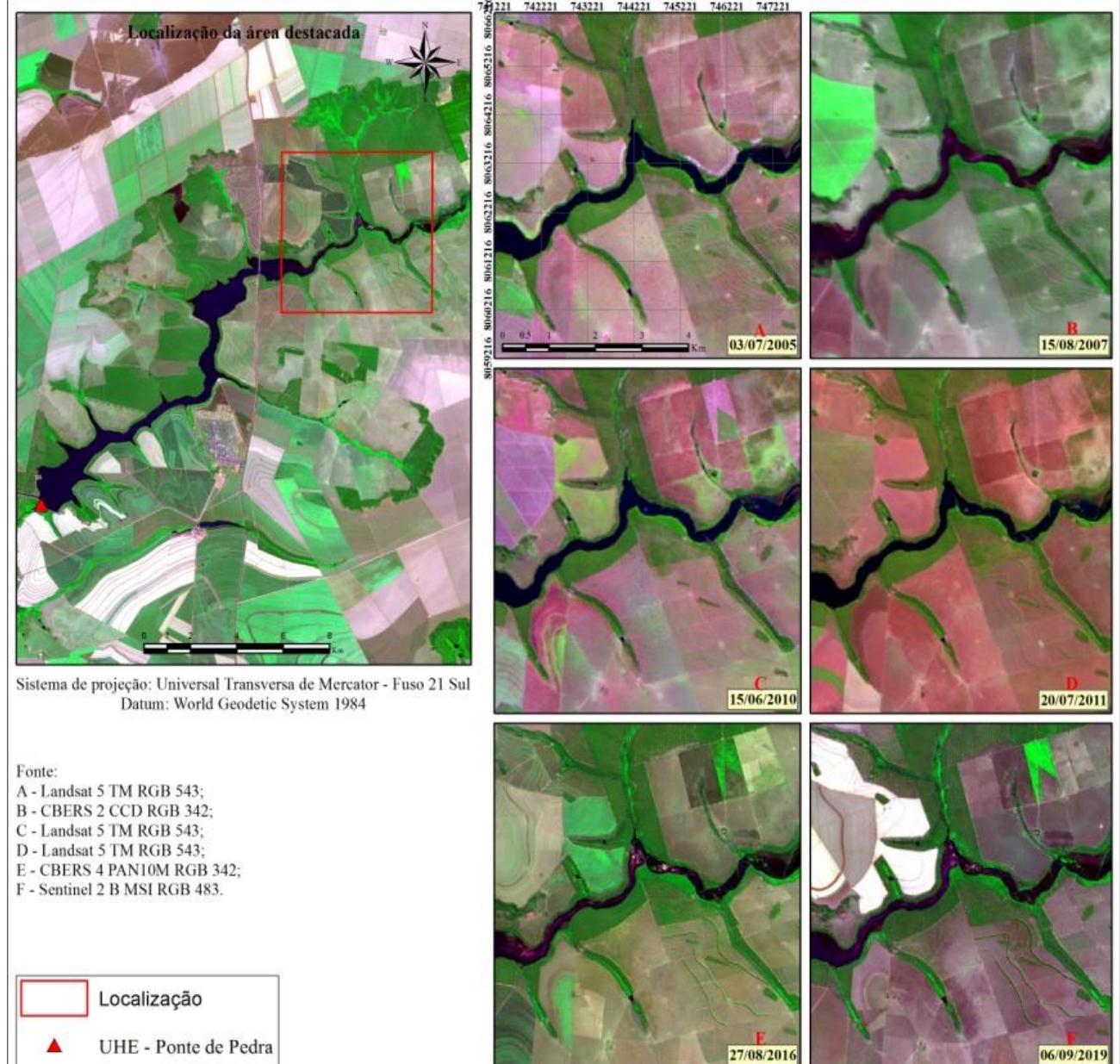
Resultados

Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

Destaque:

UHE Ponte de Pedra

Rio Correntes



Resultados

Efeito dos empreendimentos em Operação

Carbono Orgânico Particulado em Suspensão

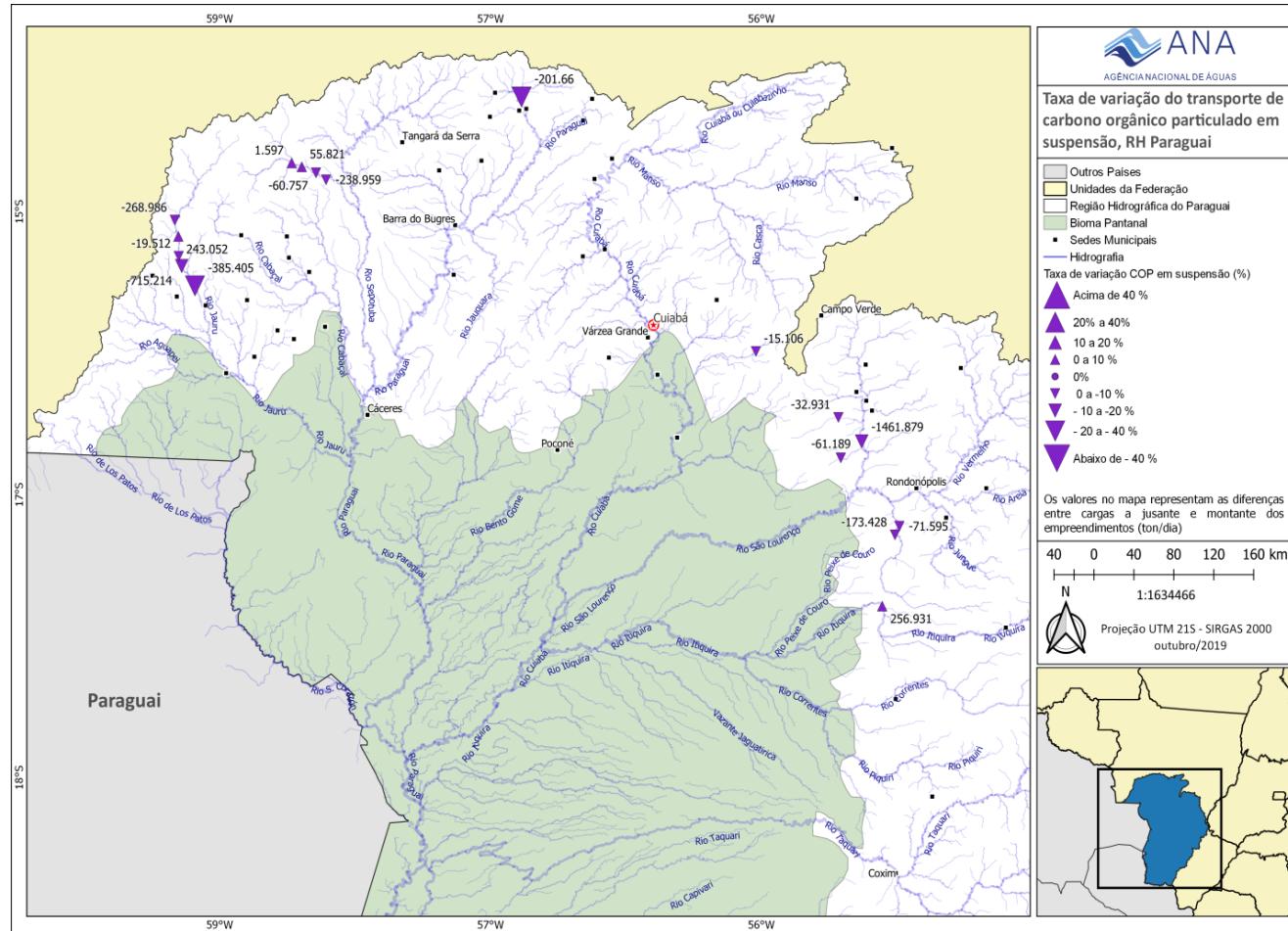


Figura: Mediana das taxas de alteração de Carbono Orgânico Particulado em Suspensão (%)

Destaques:

- PCH Figueirópolis -23%
 - PCHs Diamante + Santana -20%

Classificação da alteração:

⇒ Baixo: 76% dos empreendimentos;

⇒ Alto: 12% dos empreendimentos;