

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

**Temas:**  
**Qualidade de Água**  
**Hidrossedimentologia**

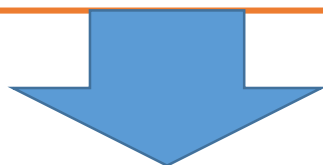
Ibraim Fantin da Cruz (UFMT)  
Márcia Divina Oliveira (Embrapa-Pantanal)

# 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 et 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

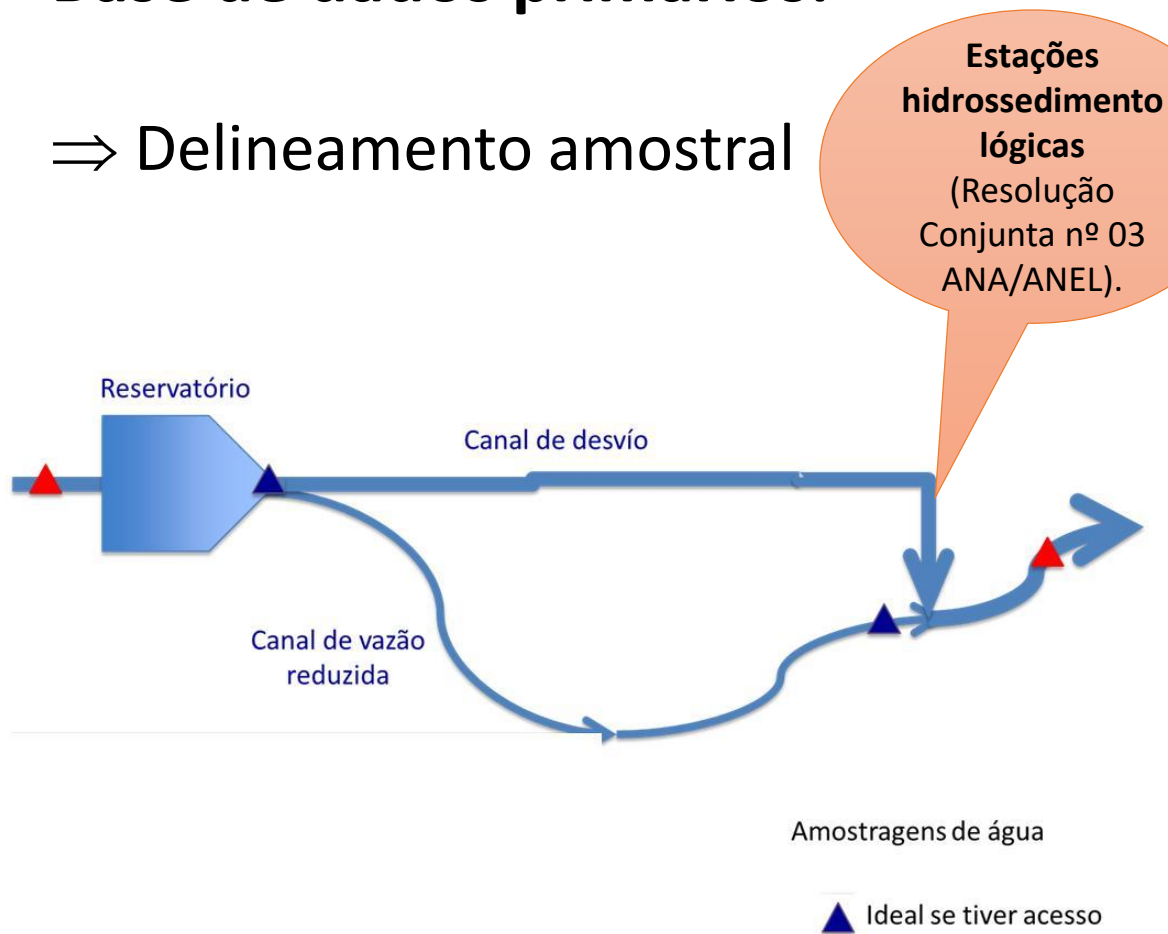


Figura: Localização teórica dos pontos amostrais.

## Pontos amostrais

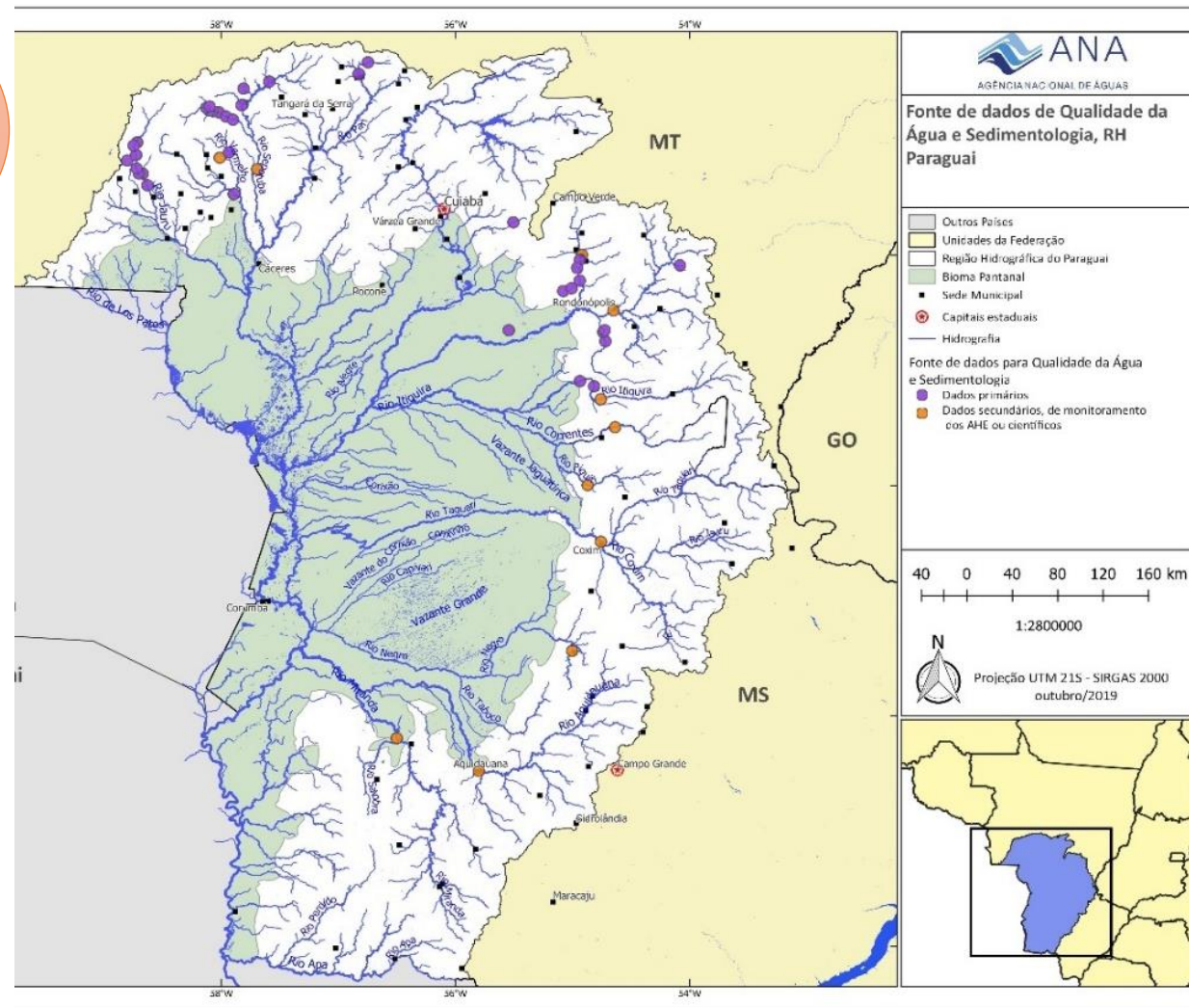


Figura: Localização dos pontos amostrais.

# 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 Helley-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.

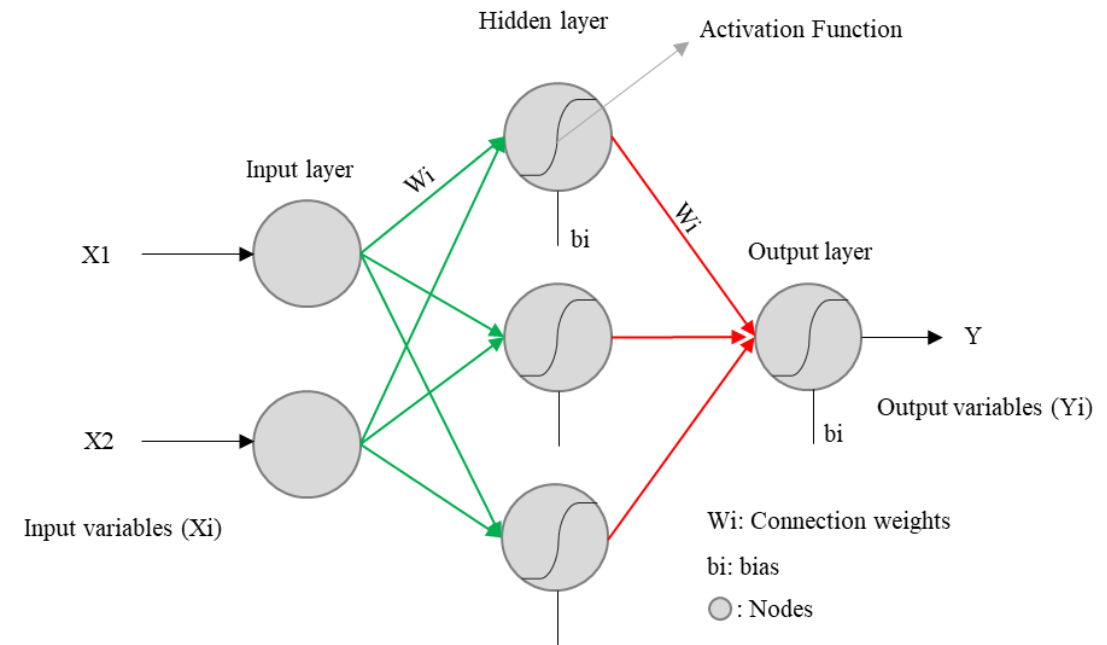
| Classes de Alteração | Sedimentos, Fósforo, Carbono, Condutividade elétrica e Turbidez | Nitrogênio |
|----------------------|---|------------|
| Baixo                | 0 - 10  | 0 - 15     |
| Médio                | 10 - 20   | 15 - 25    |
| Alto                 | > 20  | > 25       |

# 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

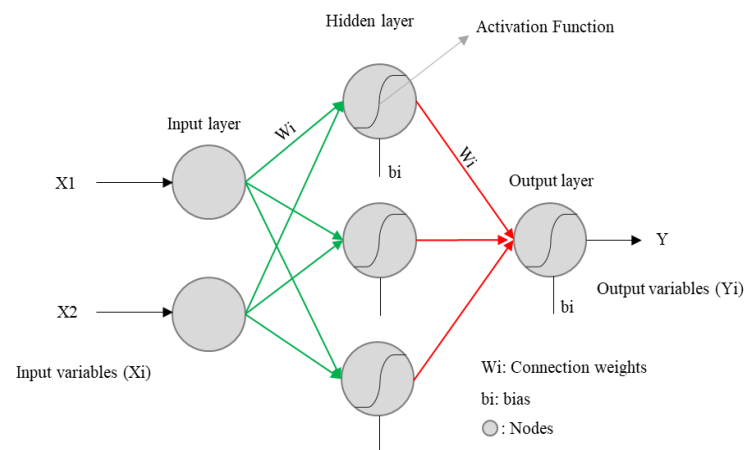
⇒ Modelagem com Redes Neurais Artificiais (RNA)

Dados utilizados na calibração:

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

- **Dados de Saída**

- CSS ( $\text{mg/L}$ )
- Nitrogênio Total ( $\text{mg/L}$ )
- Fósforo Total ( $\text{mg/L}$ )



# 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

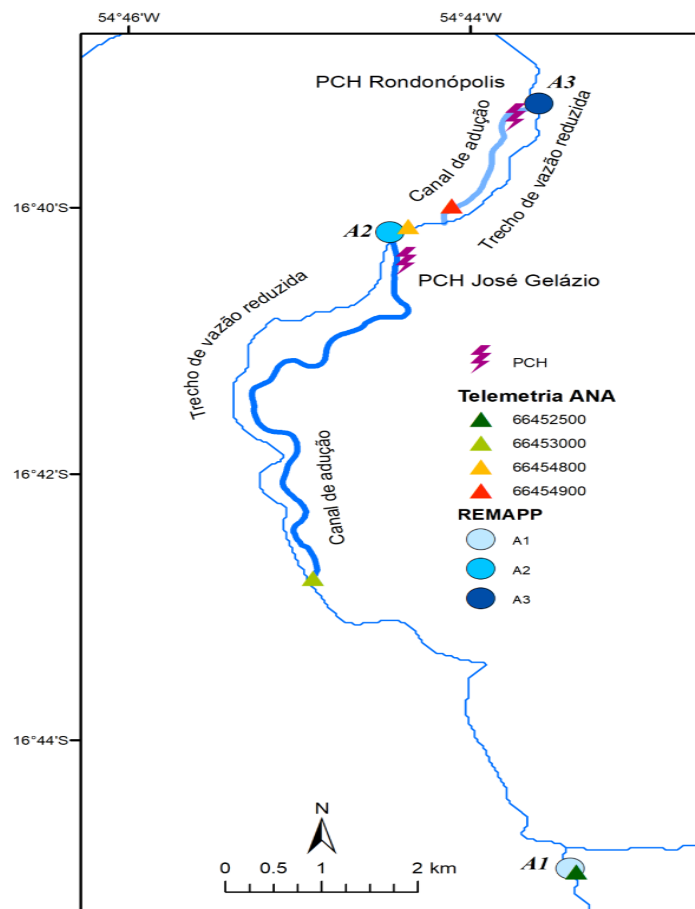


Figura: Área de Estudo.

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

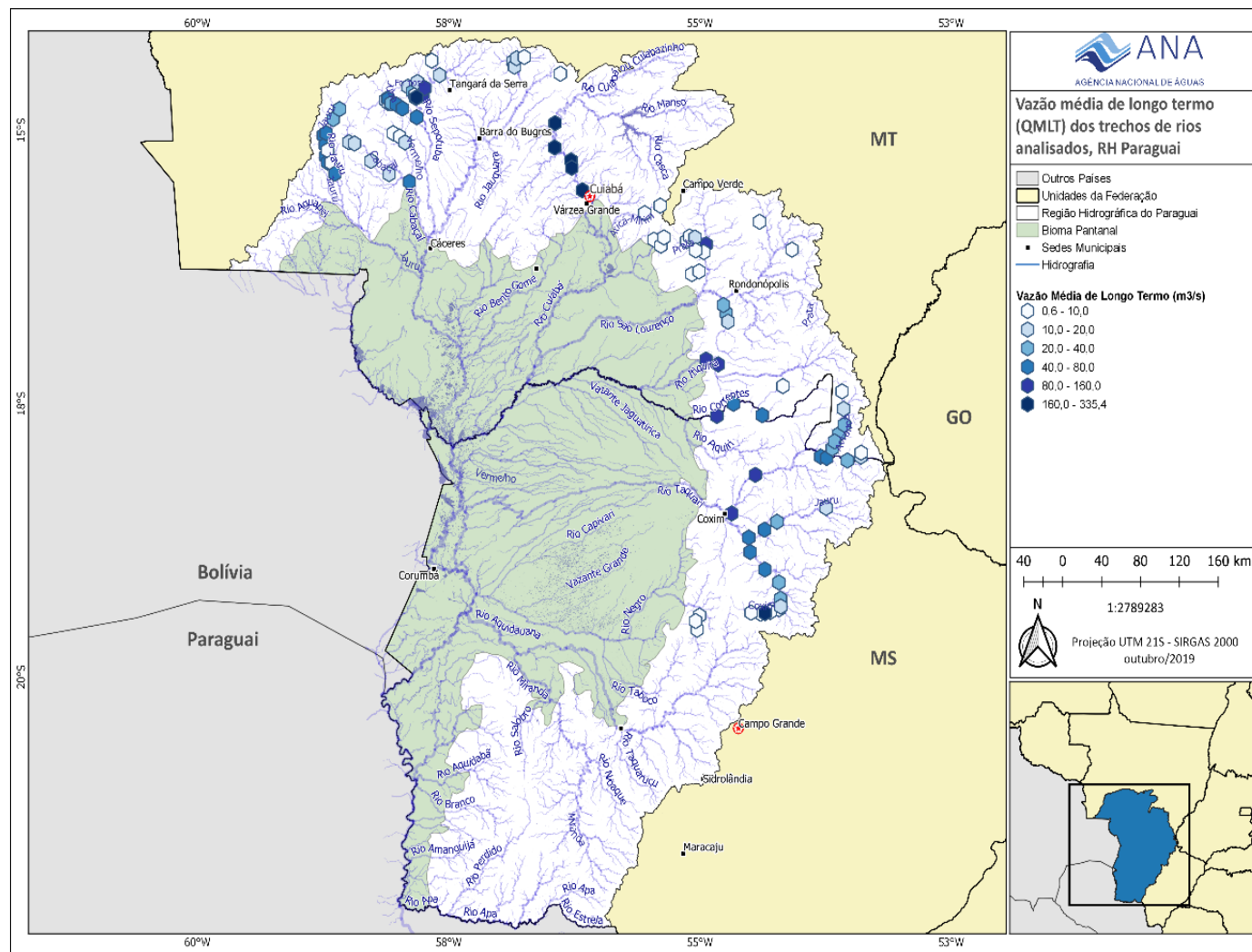
⇒ Avaliação do assoreamento em empreendimentos em operação

- 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

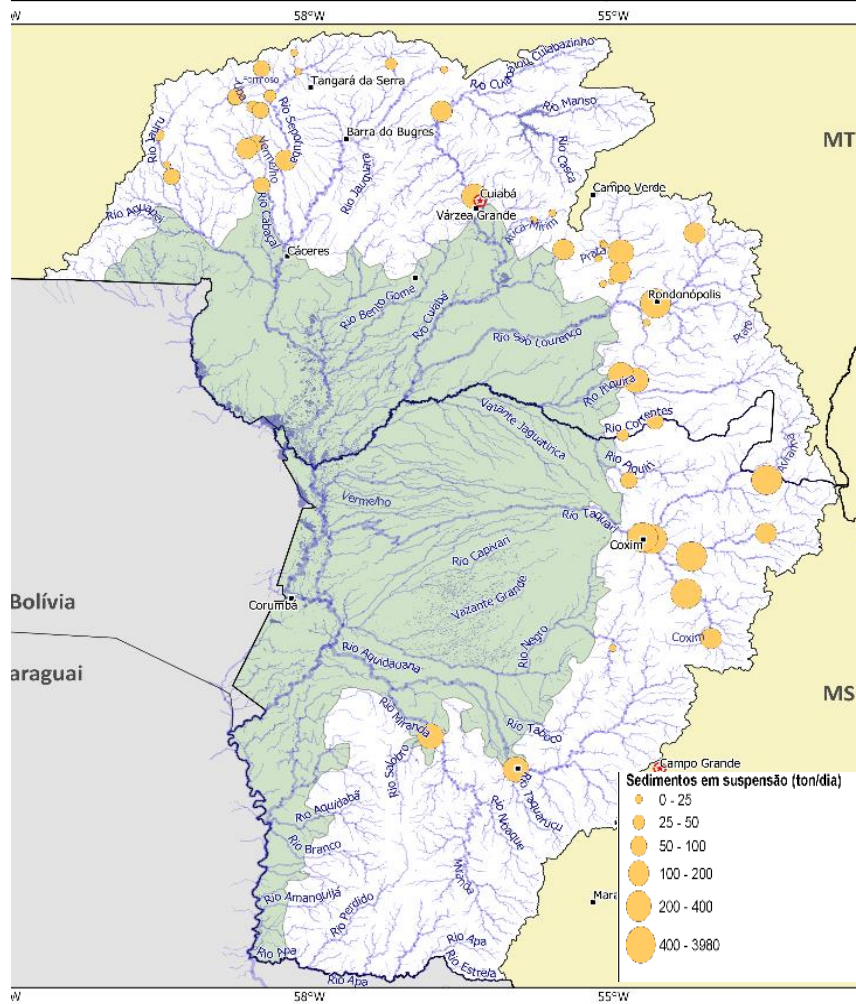
Figura: Vazão média de longo termo dos trechos de rios.



# 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

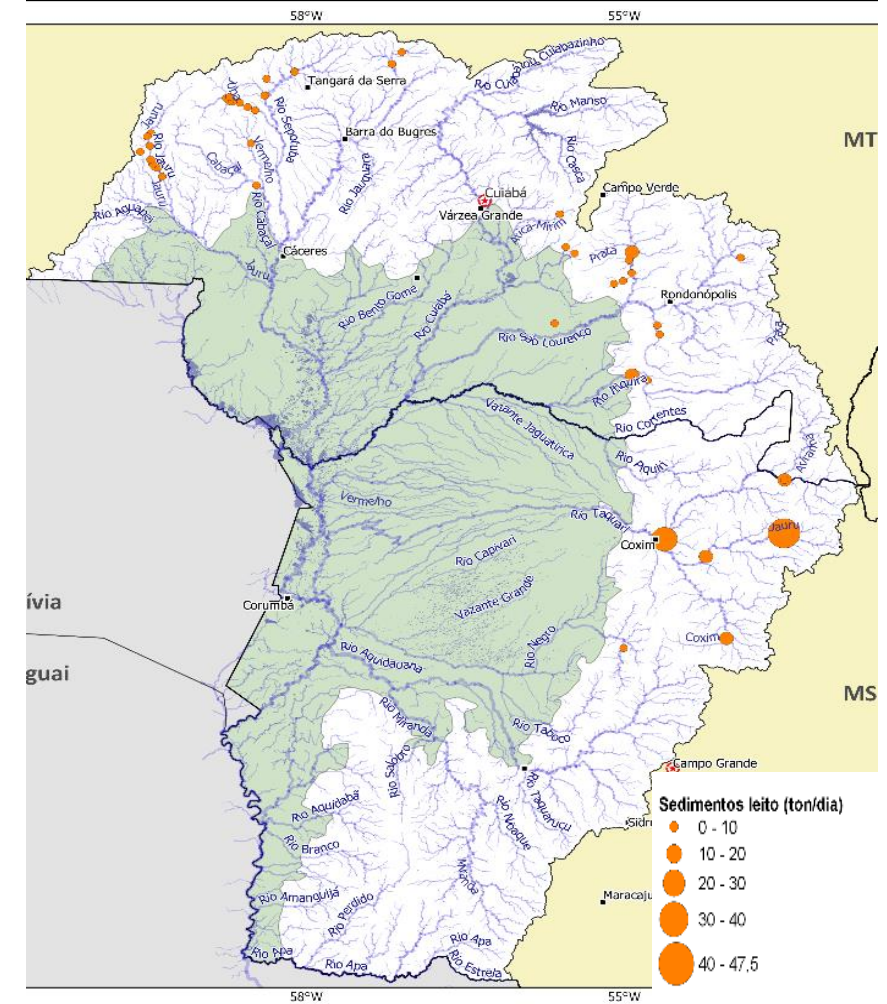


Figura: Mediana das cargas de sedimento em suspensão (ton./dia)

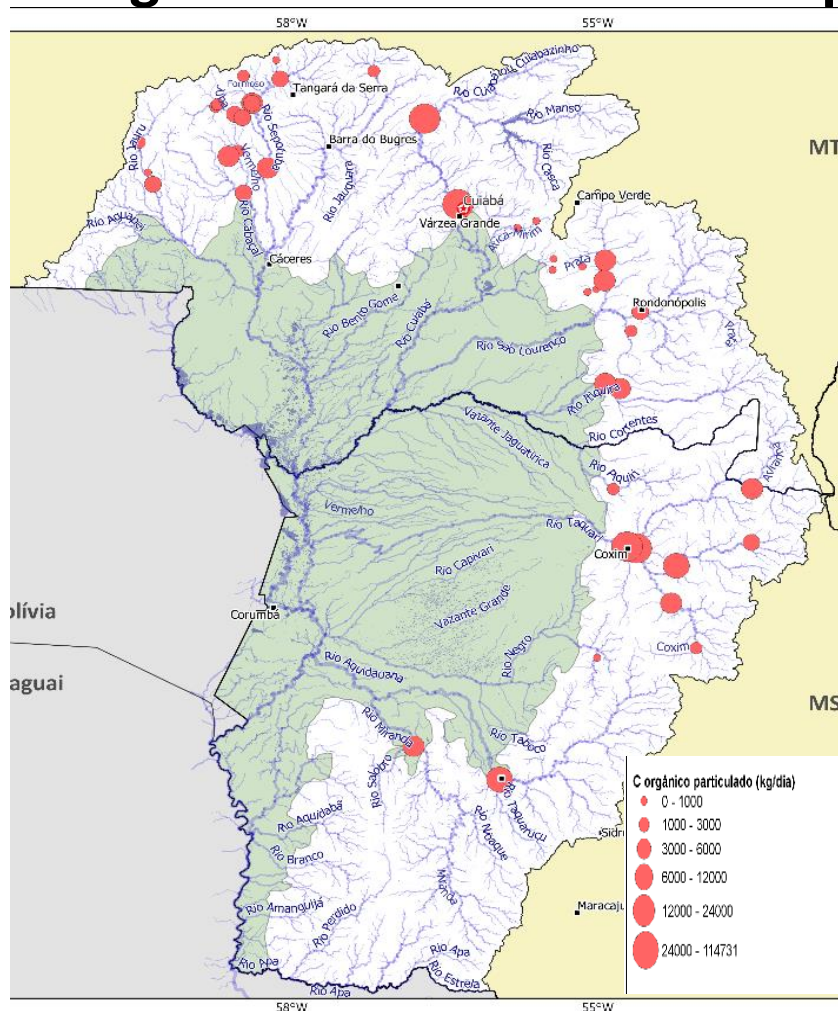
Figura: Mediana das cargas de sedimento no leito(ton./dia)



# 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.

### Carbono Total no Leito

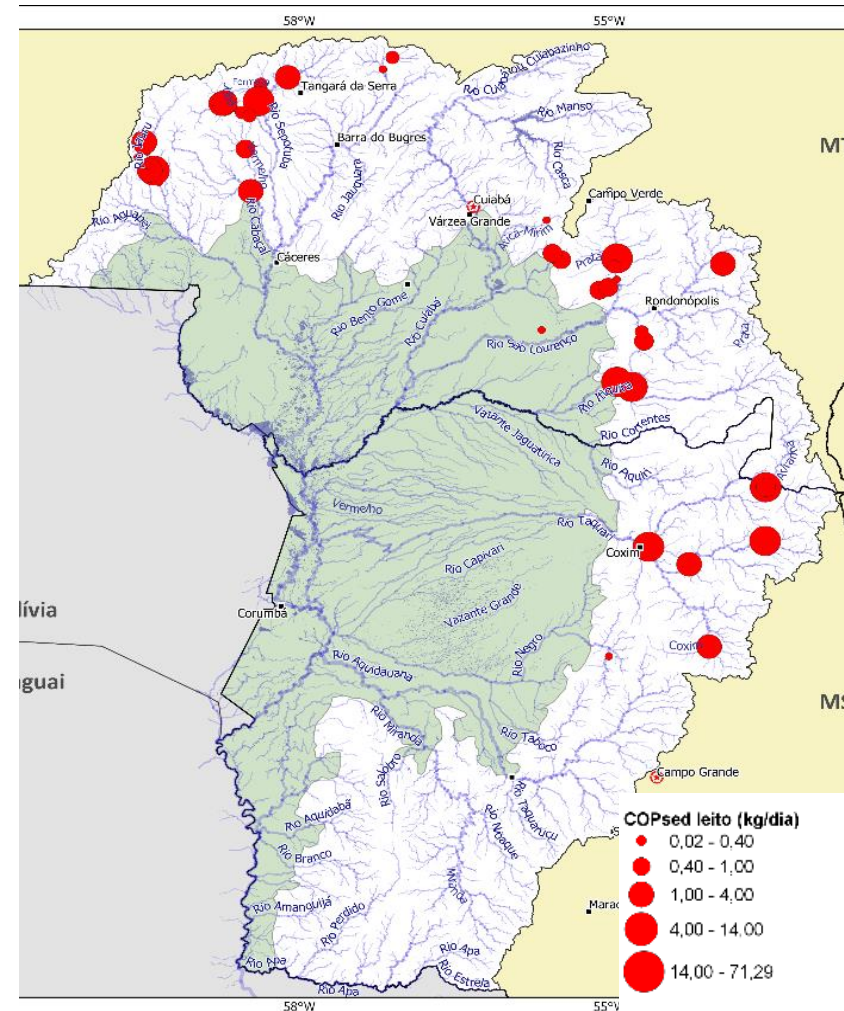


Figura: Mediana das cargas de Carbono Orgânico Particulado (kg/dia)

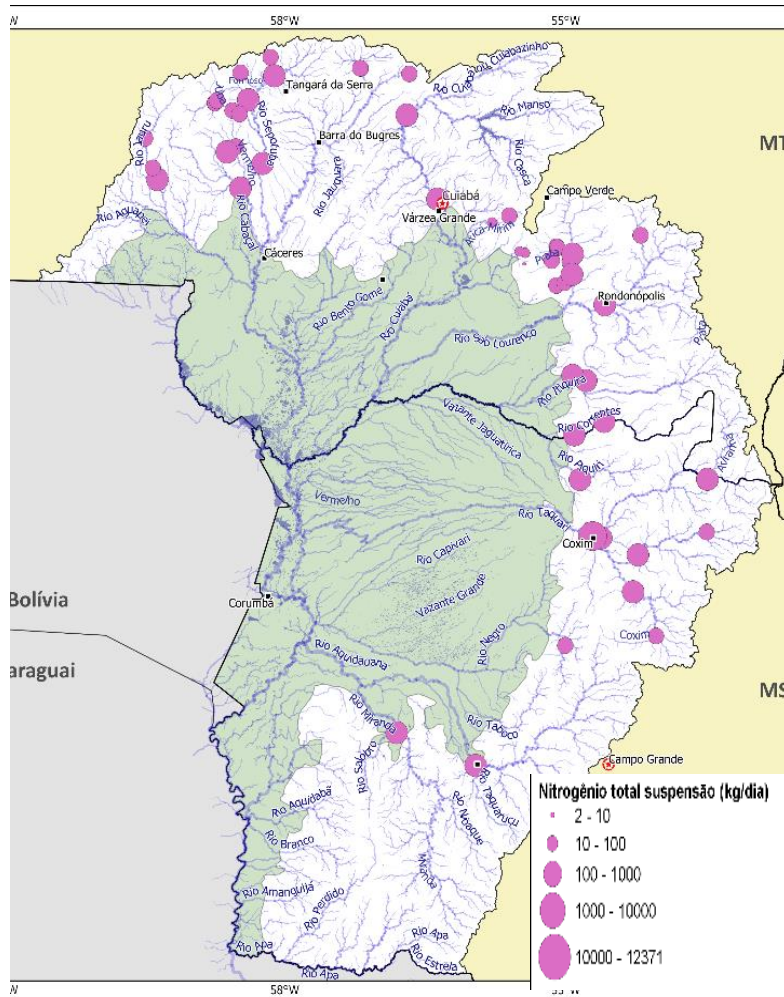
Figura: Mediana das cargas de Carbono Total no leito(kg/dia)



# 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

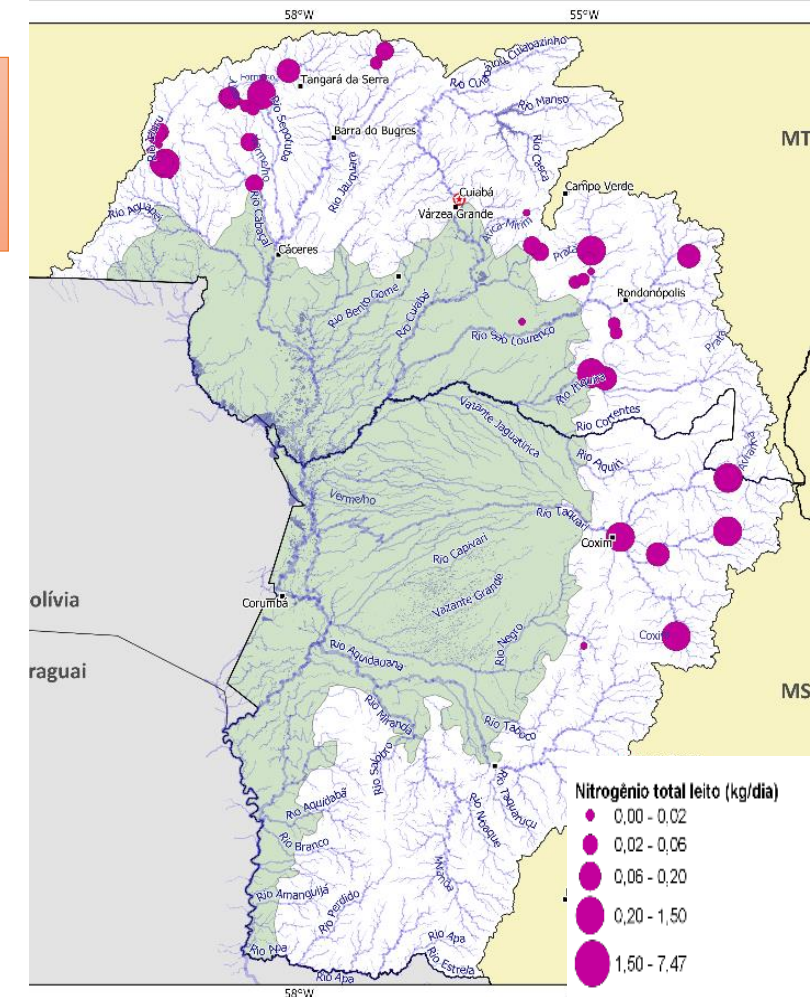


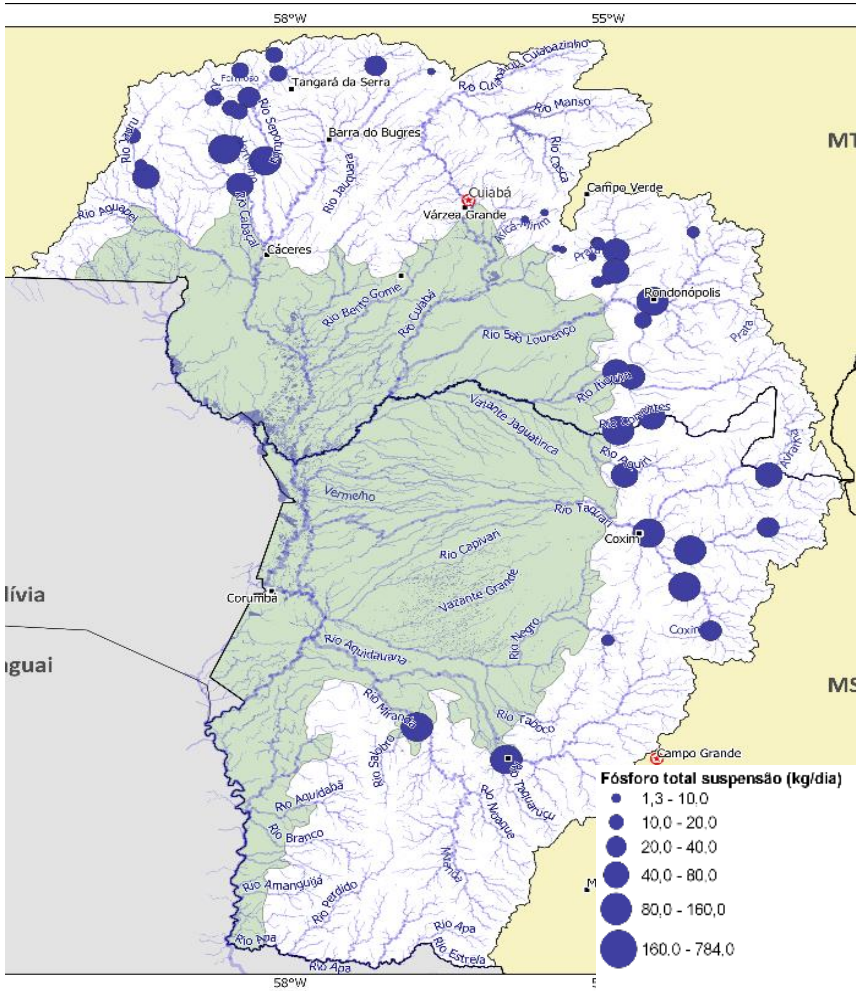
Figura: Mediana das cargas de Nitrogênio total em suspensão (kg/dia)

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 Leite

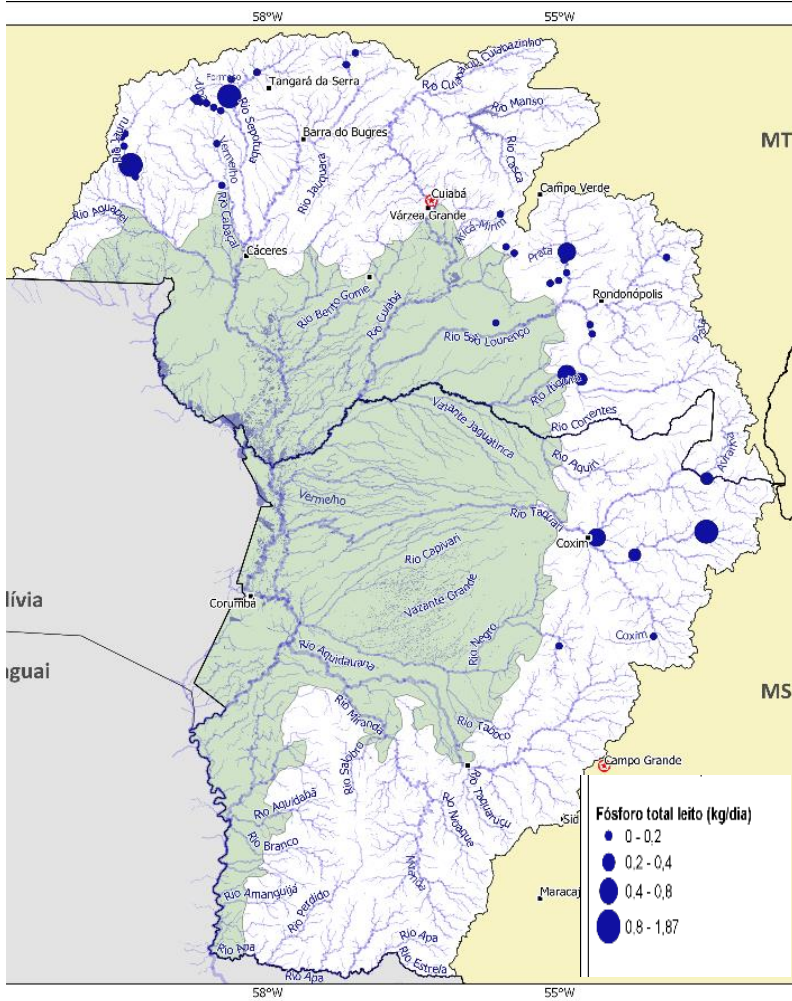


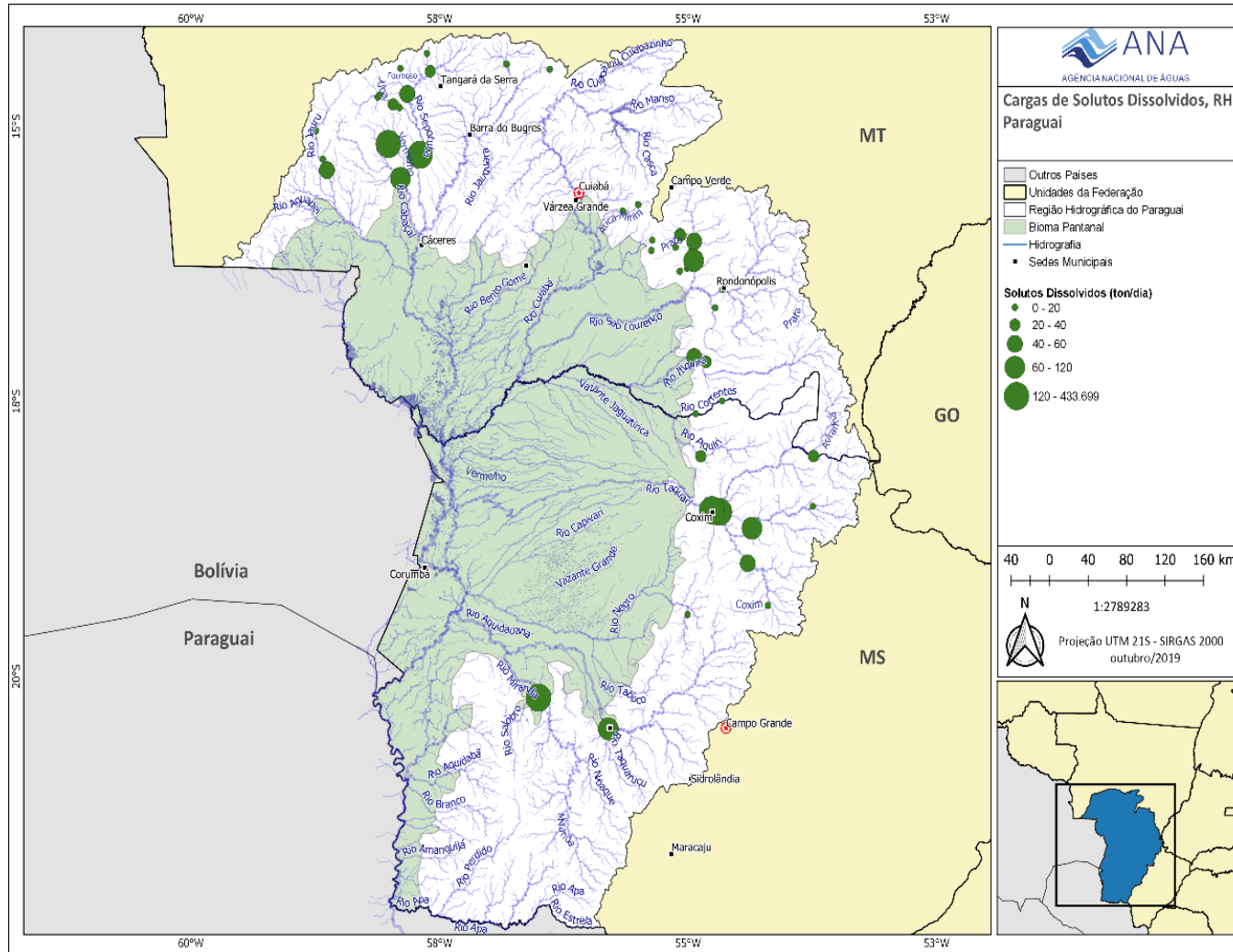
Figura: Mediana das cargas de fósforo total em suspensão (kg/dia)

Figura: Mediana das cargas de fósforo total no leite(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**.

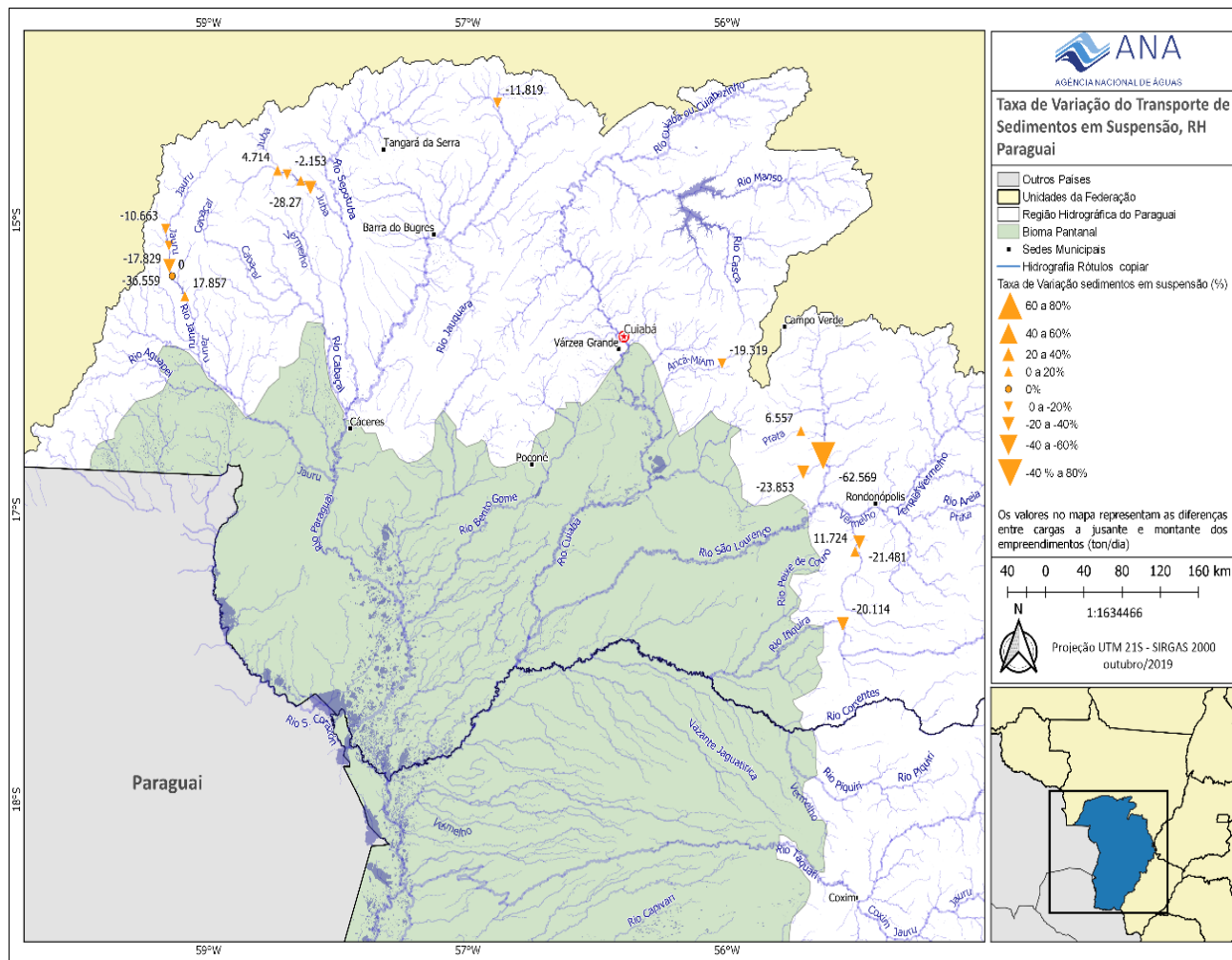
Figura: Mediana das cargas de Solutos Dissolvidos (ton/dia)

## **Efeito dos empreendimentos em Operação**

# Resultados

## Efeito dos empreendimentos em Operação

### Sedimentos em Suspensão



### Destaques:

→ PCH São Lourenço -62%

→ PCH Jauru -36%

→ PCH Pampeana -28%

### Classificação da alteração:

⇒ Baixo: 35% dos empreendimentos;

⇒ Médio: 30% dos empreendimentos;

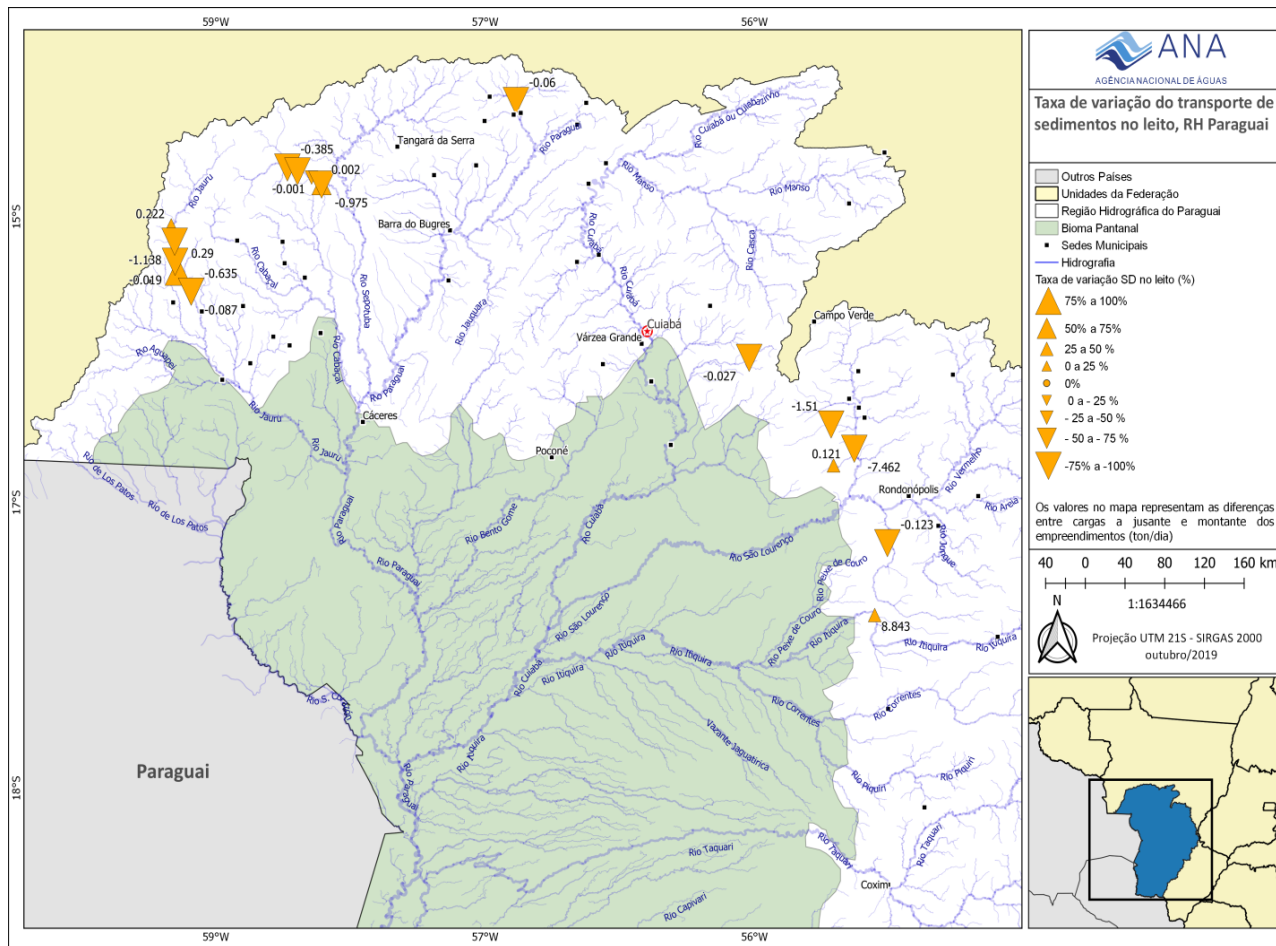
⇒ Alto: 35% dos empreendimentos;

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

# Resultados

## Efeito dos empreendimentos em Operação

### Sedimentos no Leito



### Destaques:

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

### Classificação da alteração:

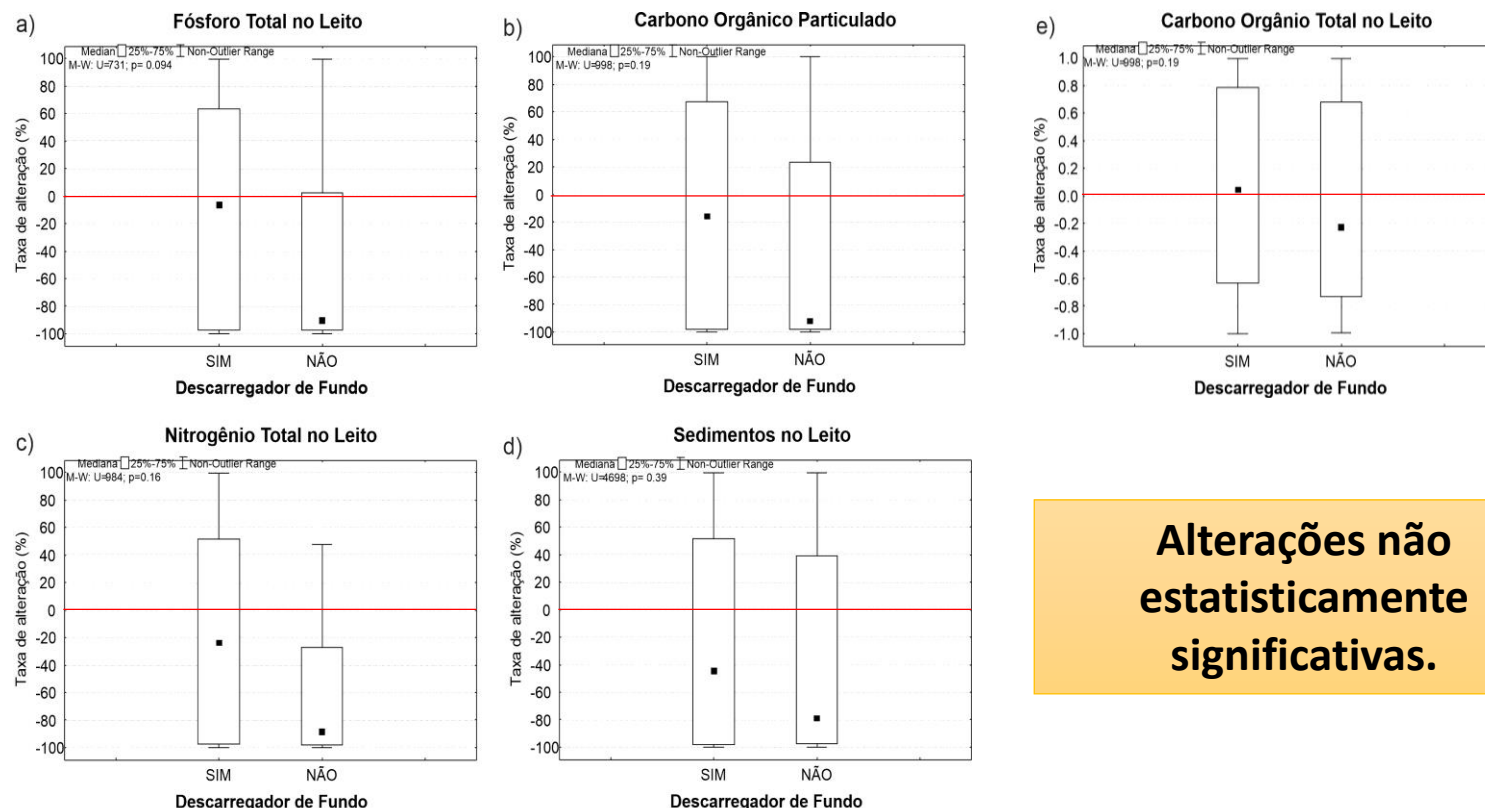
- ⇒ Baixo: 0% dos empreendimentos;
- ⇒ Médio: 0% dos empreendimentos;
- ⇒ Alto: 100% dos empreendimentos;

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



# Resultados

## Efeito do descarregador de fundo no transporte de leito



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

**Alterações não estatisticamente significativas.**

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

## Resultados

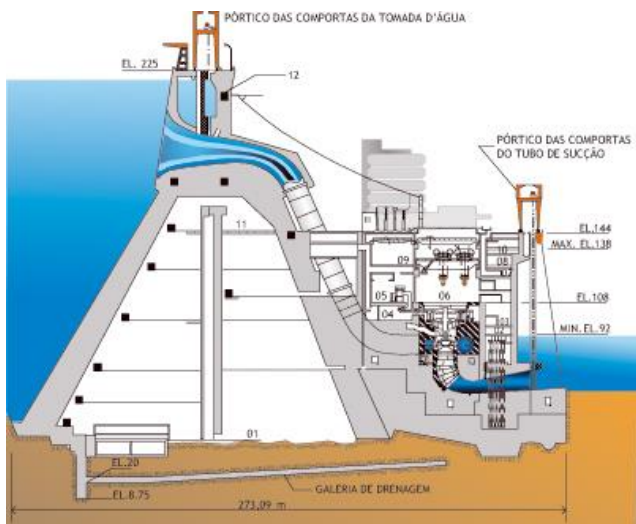
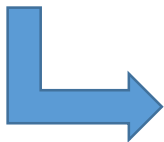
# Efeito da posição da tomada d'água na variação do transporte em suspensão

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 |

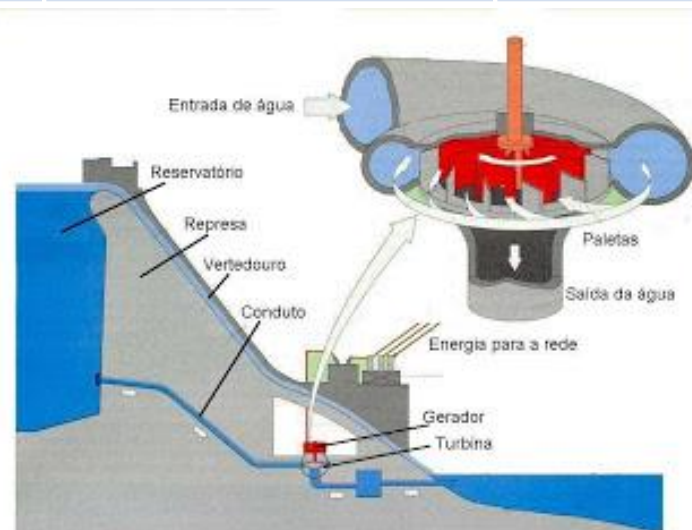
## EXEMPLOS:

# 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.

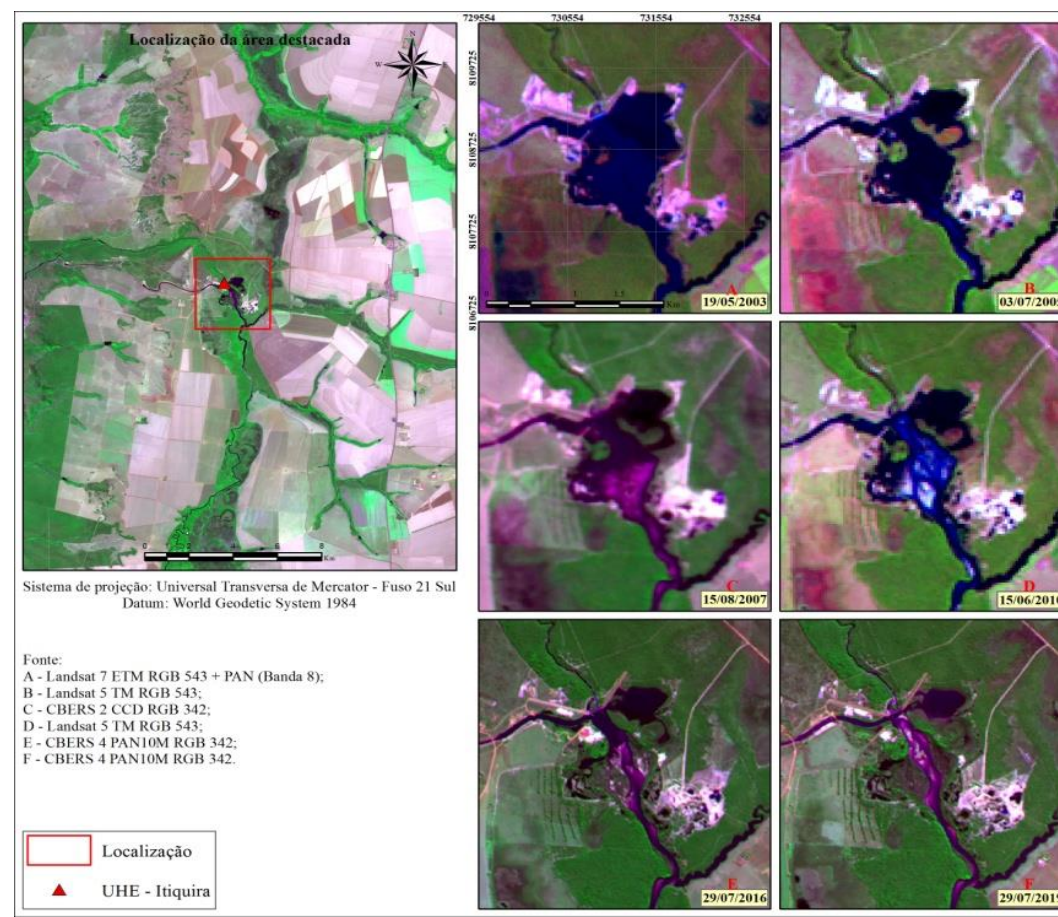
# Resultados

## Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

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

Destaque:

UHE ITIQUIRA





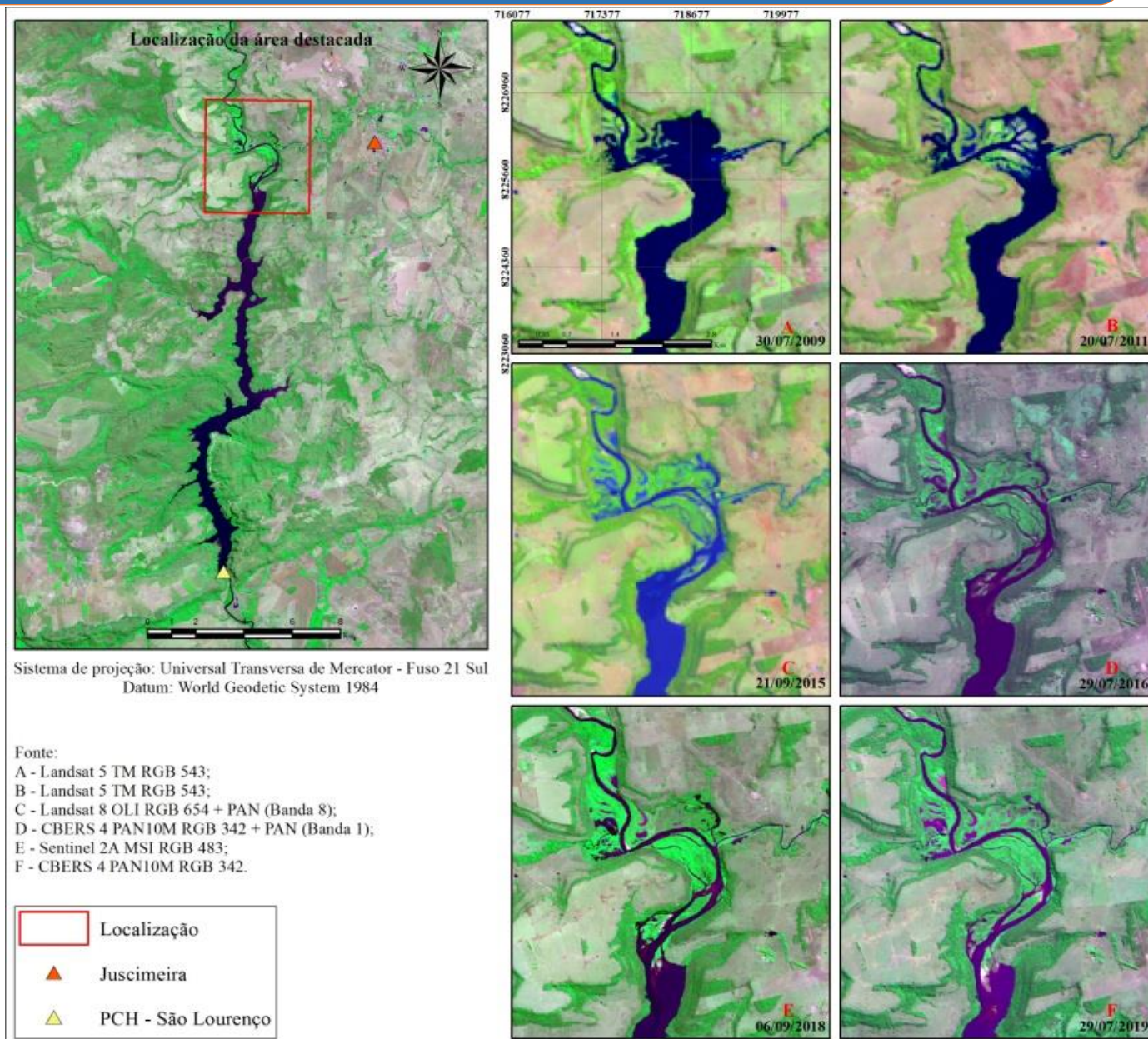
# Resultados

## Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

Destaque:

### PCH SÃO LOURENÇO

Rio São Lourenço





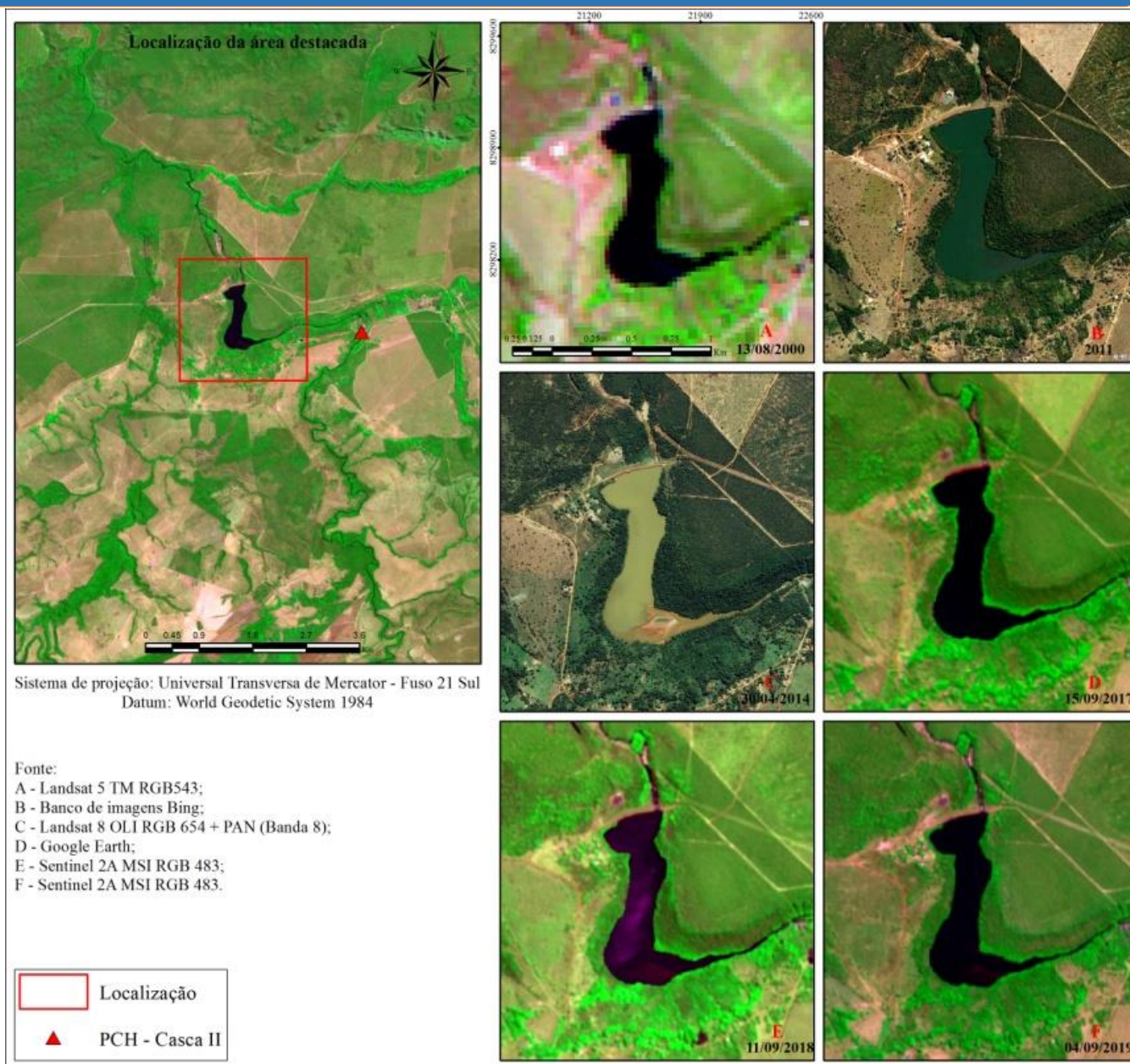
# Resultados

## Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

Destaque:

PCH Casca II

Rio Casca





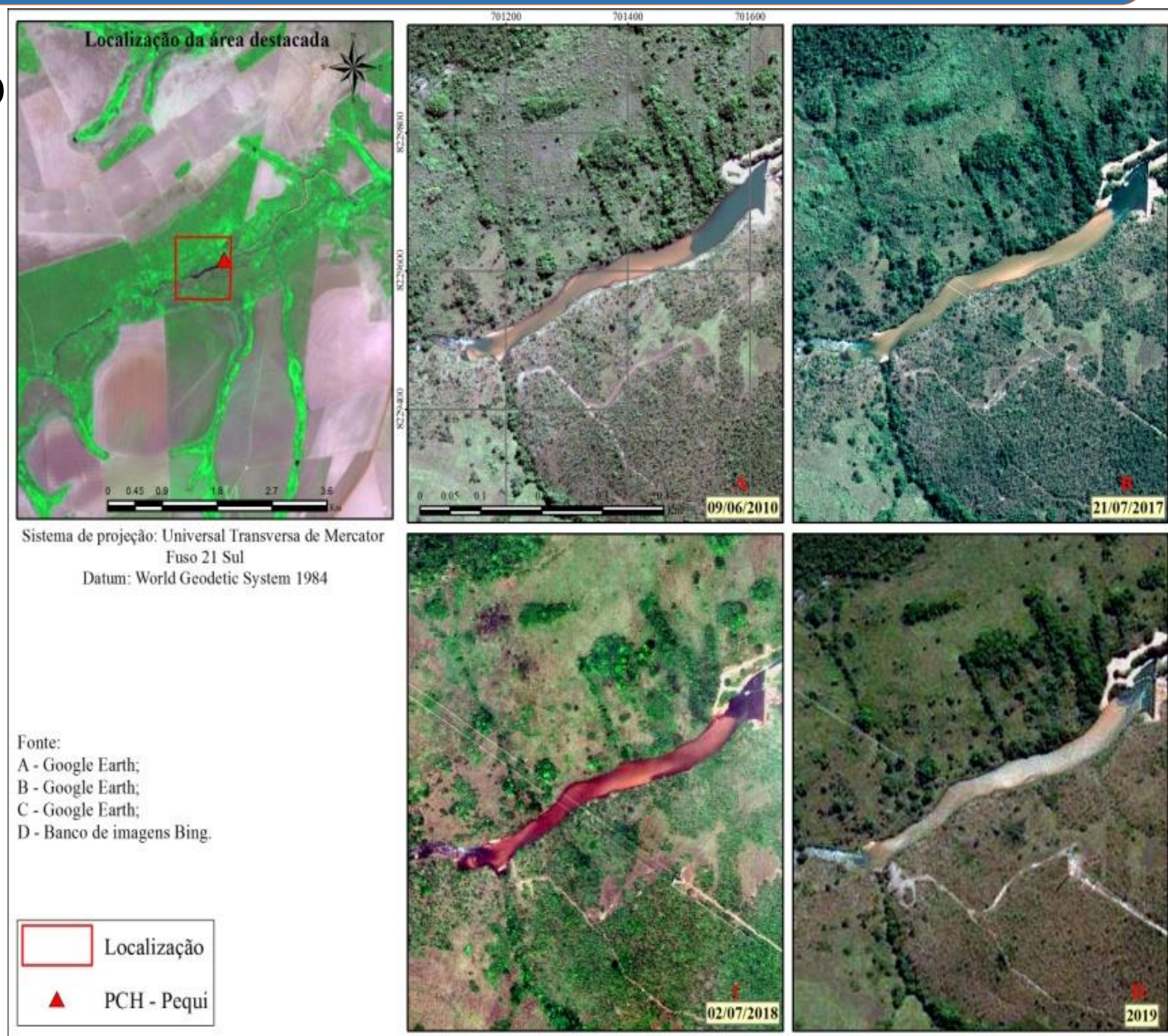
# Resultados

## Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

**Destaque:**

**PCH Pequi**

Córrego Saia Branca





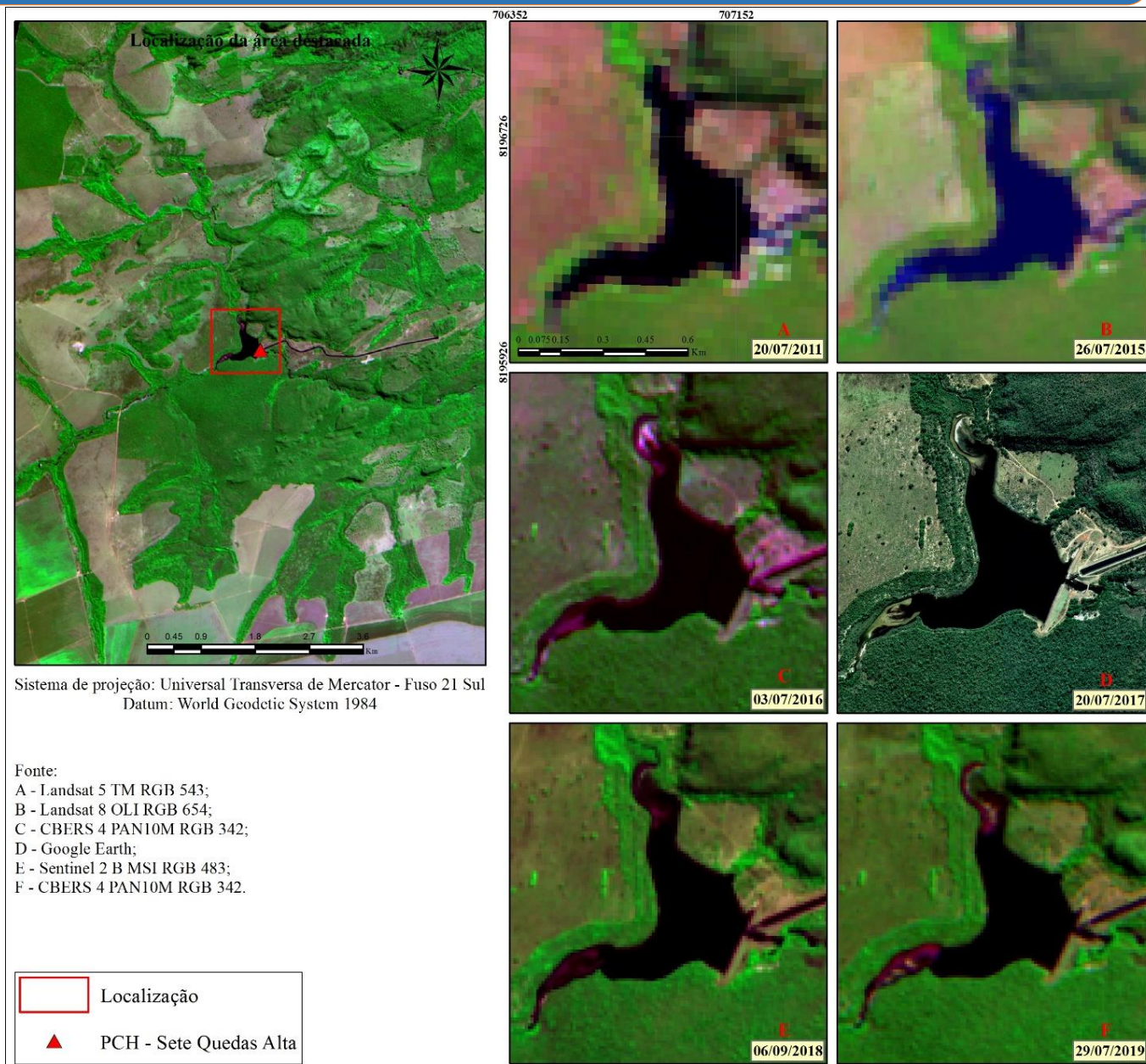
# Resultados

## Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

### Destaque:

## PCH Sete Quedas Altas

Córregos Ibo e Dois Córregos





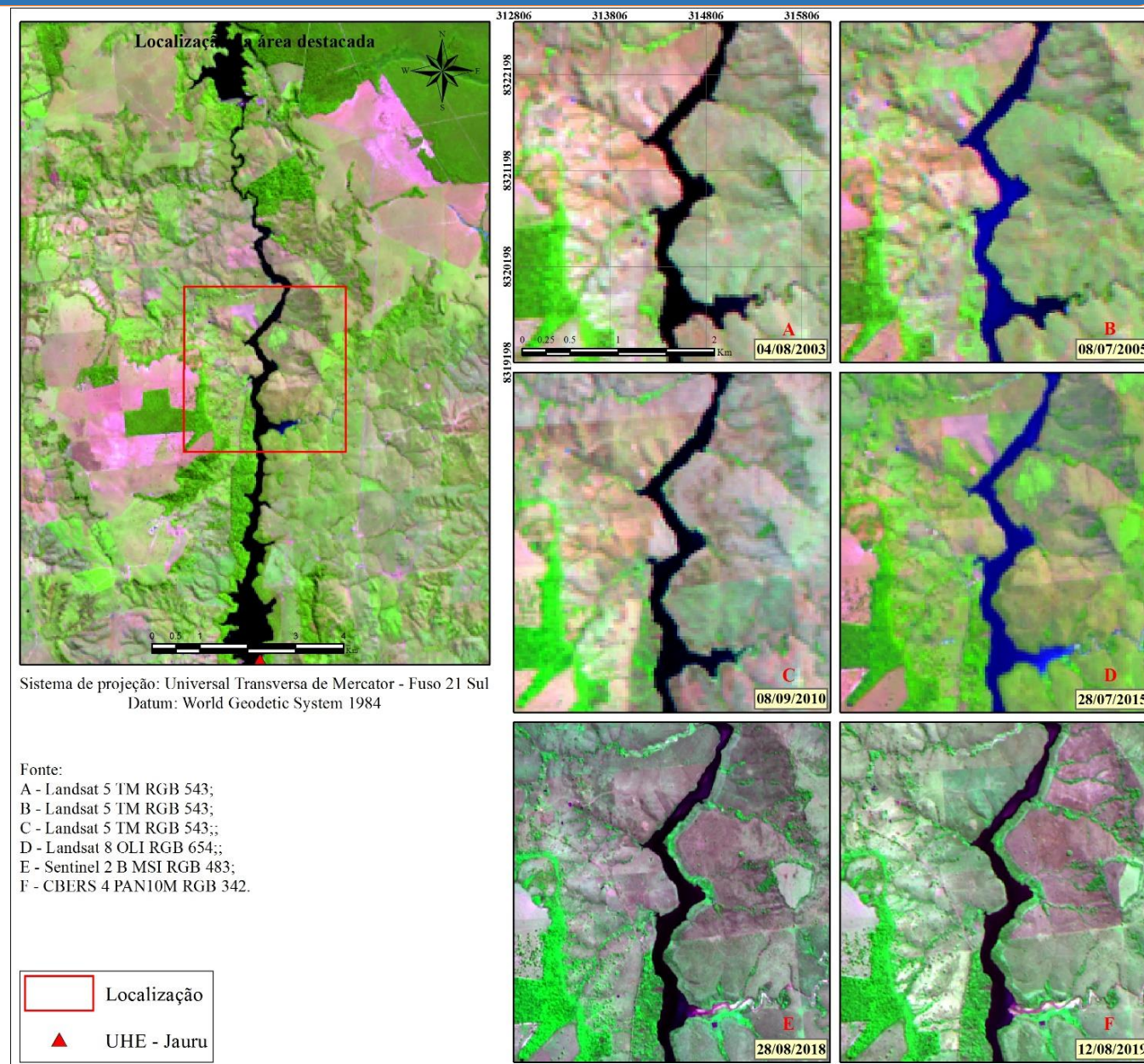
# Resultados

## Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

**Destaque:**

**UHE Jaurú**

Córrego Pé de Serra (afluente do rio Jauru)





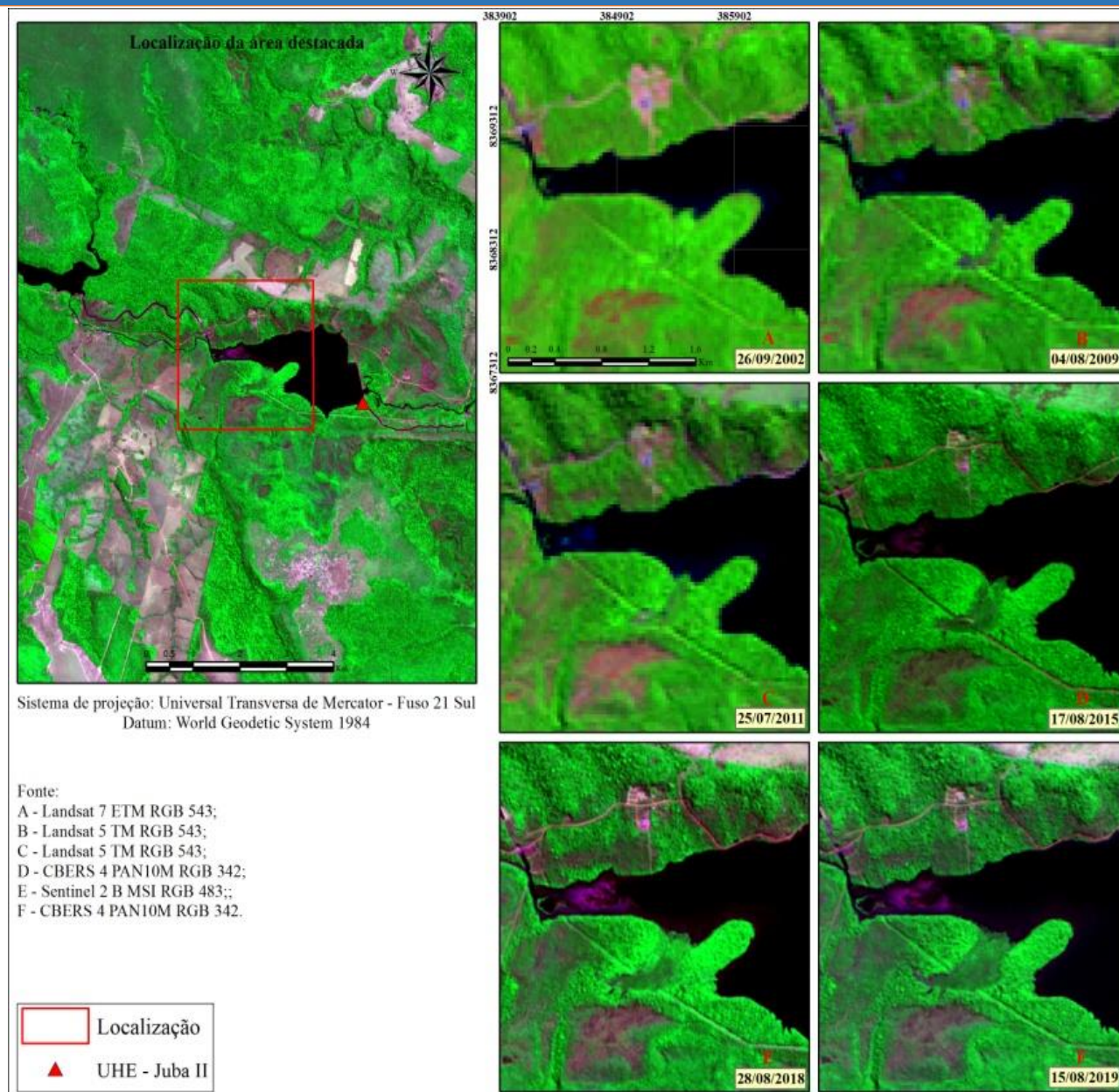
# Resultados

## Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

### Destaque

### UHE Juba II

Córrego Toco (afluente do rio Juba)



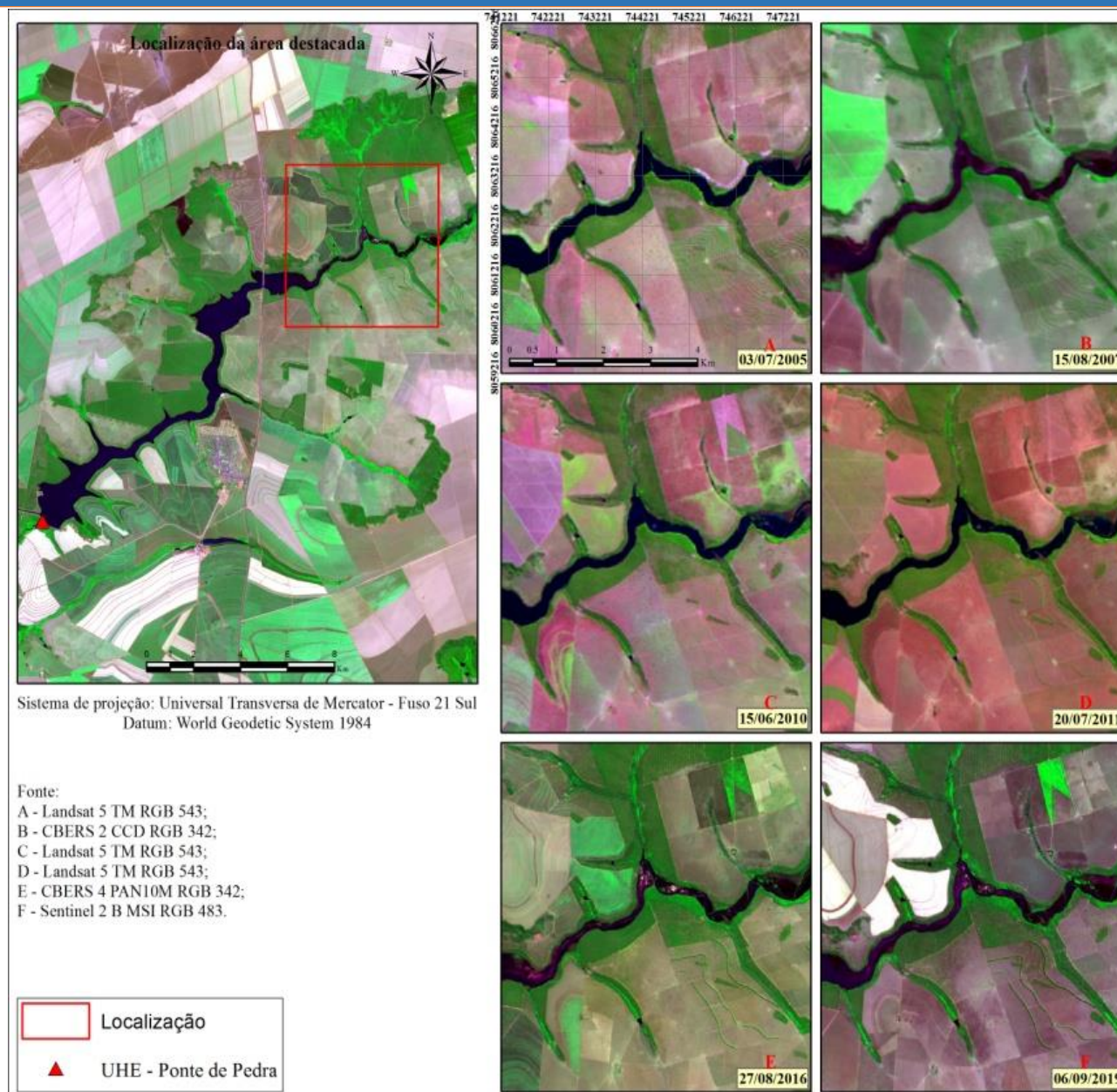
# Resultados

## Avaliação visual do assoreamento nos reservatórios

### Destaque:

## UHE Ponte de Pedra

Rio Correntes

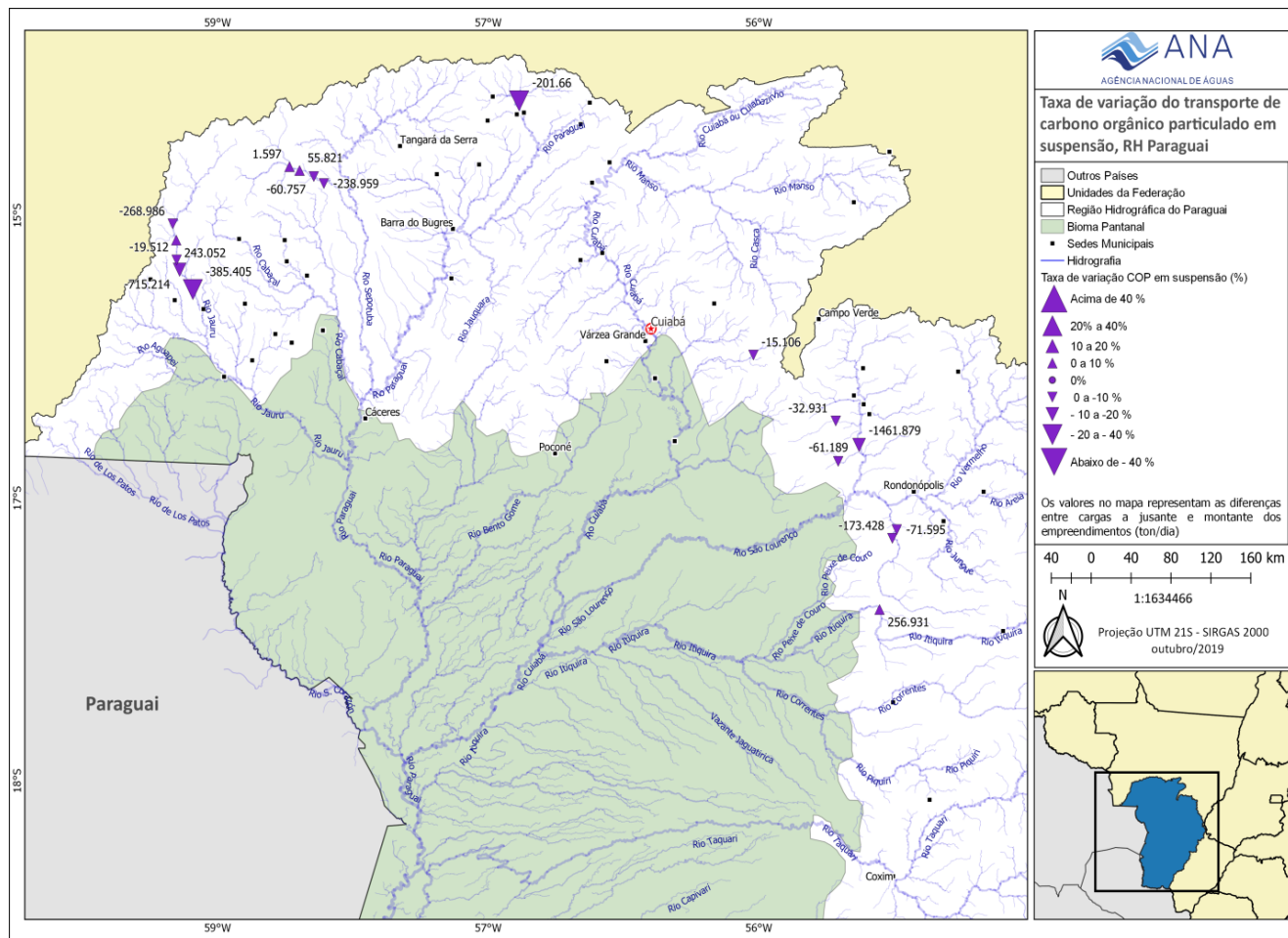




## Resultados

## Efeito dos empreendimentos em Operação

# Carbôno Orgânico Particulado em Suspensão



## Destques:

→ PCH Figueirópolis -23%

→PCHs Diamante + Santana -20%

## Classificação da alteração:

⇒ Baixo: 76% dos empreendimentos;

⇒ **Alto: 12% dos empreendimentos;**

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