

# Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos - PMQQS

Recomendações para  
revisão do PMQQS

Junho 2019

# **Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos - PMQQS**

Recomendações para  
revisão do PMQQS

Junho 2019

Apoio:

## SUMÁRIO

<b>1 - Apresentação .....</b>	<b>1</b>
<b>2 - Equipe Técnica .....</b>	<b>2</b>
<b>3 - Objetivo.....</b>	<b>3</b>
<b>4 - Recomendações para revisão do PMQQS.....</b>	<b>4</b>
<b>4.1 - Recomendações gerais para revisão do PMQQS .....</b>	<b>4</b>
<b>4.2 - Garantia e controle da qualidade (QA/QC) .....</b>	<b>8</b>
<b>4.3 - Rio Doce e tributários .....</b>	<b>9</b>
4.3.1 - Água superficial .....	9
4.3.2 - MPS e descarga sólida .....	9
4.3.3 - Sedimentos.....	10
4.3.4 - Testemunho.....	10
4.3.5 - Comunidades aquáticas.....	11
4.3.5.1 - Fitoplâncton .....	11
4.3.5.2 - Perifíton .....	12
4.3.5.3 - Macroinvertebrados dulcícolas .....	12
4.3.6 - Ensaio ecotoxicológicos .....	13
4.3.7 - Estações automáticas .....	13
<b>4.4 - Lagoas .....</b>	<b>14</b>
4.4.1 - Águas .....	14
4.4.2 - Sedimentos.....	15
4.4.3 - Testemunho.....	15
4.4.4 - Comunidades aquáticas.....	16
4.4.5 - Ensaio ecotoxicológicos .....	16
<b>4.5 - Zona costeira e estuários .....</b>	<b>17</b>
4.5.1 - Águas .....	17
4.5.2 - Sedimentos.....	18
4.5.3 - Comunidades aquáticas.....	18
<b>5 - Considerações finais.....</b>	<b>19</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1 - Equipe técnica.....	2
Quadro 4-1 – Recomendações de ajustes espaciais dos pontos e suas respectivas justificativas.....	5
Quadro 4-2 – Recomendações de exclusão de parâmetros analisados em água e sedimentos no PMQQS, com suas respectivas justificativas.....	7

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1 Anotação de responsabilidade técnica do coordenador
- Anexo 2 Mapa de localização das estações de amostragem de água e sedimentos no trecho 01
- Anexo 3 Mapa de Localização das Estações de Amostragem de Água e Sedimentos no trecho 02
- Anexo 4 Mapa de localização das estações de amostragem de água e sedimentos no trecho 03
- Anexo 5 Mapa de localização das estações de amostragem de água e sedimentos no trecho 04
- Anexo 6 Estimativas de datação por atividade de  $^{210}\text{Pb}$

## 1 - APRESENTAÇÃO

Em 4 de novembro de 2016, a Câmara Técnica de Segurança Hídrica e Qualidade de Água (CTSHQA) emitiu o Ofício nº 38/2016/AP-GF-ANA (parte do anexo da Deliberação do Comitê Interfederativo – CIF nº 17, de 18 de agosto de 2016), onde consta a Proposta de Conteúdo Mínimo para o Programa de Monitoramento Quali-quantitativo da Água e dos Sedimentos (PMQQS) do Rio Doce. E ainda, o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) do Espírito Santo também apresentou a Nota Técnica DT/Monitoramento Marinho n.º 016/2016 (anexo da Deliberação CIF nº17), com a Proposta de Conteúdo Mínimo para o Programa de Monitoramento das Águas e Sedimentos da Zona Costeira e Estuários.

A partir destas orientações, a Fundação Renova protocolou a primeira versão do PMQQS em 23 dezembro de 2016. Com isso, a CT-SHQA emitiu as Notas Técnicas nº 07 e 08 em fevereiro de 2017, que continham as manifestações dos órgãos de gestão de recursos hídricos e órgãos ambientais competentes (conforme Cláusula 177 do TTAC) sobre a complementação à proposta apresentada pela Fundação para o PMQQS. Desta forma, obteve-se a segunda versão do documento descrevendo o Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos do Rio Doce, Zona Costeira e Estuários que foi aprovado pela Deliberação do CIF nº 53, de 31 de março de 2017. Mais tarde, esta versão foi atualizada por meio da Deliberação do CIF nº 125, de 20 de novembro de 2017. A versão final do PMQQS encontra-se disponível no link: [https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2017/07/rt-029\\_159-515-2282\\_07.pdf](https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2017/07/rt-029_159-515-2282_07.pdf).

Com início das atividades de monitoramento em agosto de 2017, a implementação e aplicação das diretrizes trazidas pelo PMQQS vem sendo reavaliadas conforme surgem as limitações e aprendizados diários. Portanto, em paralelo à apresentação do Primeiro Relatório Anual do PMQQS (protocolado em 03/06/2019), a Fundação vem também apresentar este documento que contém recomendações visando ajustes e otimização do programa. Assim, abaixo serão descritas as alterações sugeridas para cada item do PMQQS, para avaliação pelo Grupo Técnico de Acompanhamento do PMQQS (GTA-PMQQS).

## 2 - EQUIPE TÉCNICA

A seguir é apresentado o **Quadro 2-1** da equipe técnica da Ecology Brasil, responsável pela elaboração do relatório anual do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos da Fundação Renova – PMQQS.

O **Anexo 1** apresenta a notação de Responsabilidade Técnica do responsável técnico.

**Quadro 2-1 - Equipe técnica.**

PROFISSIONAL DA ECOLOGY BRASIL E E&E	FORMAÇÃO	FUNÇÃO	REGISTRO GERAL/CTF IBAMA
Gina Luísa Carvalho Boemer	Bióloga (UFSCar), mestre e doutora em Engenharia Ambiental (USP)	Coordenação Geral	CRBio 35253/04 CTF 590812
Carolina Davila Domingues	Bióloga (UNISINOS/RS), mestre em Botânica (UFRGS) e doutora em Botânica (UFRJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 53691/03 CTF 3312907
Déborah Regina de Oliveira e Silva	Bióloga, mestre e doutora em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (UFMG)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 87804/04 CTF 5810376
Jefferson Rocha da Silva	Oceanógrafo (UERJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CTF 7157608
Maria Isabel de Almeida Rocha	Bióloga (UNIRIO), mestre e doutora em Biofísica (UFRJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 29943/02 CTF 7176839
Michele Lima	Bióloga, mestre em Ecologia (UFJF)	Revisão	CRBio 62141/04 CTF 4905761
Petrus Magnus Amaral Galvão	Biólogo, mestre em Ecologia e doutor em Biofísica (UFRJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 115214/02 CTF 499671
Rafael Azevedo	Biólogo (UNIGRANRIO), mestre em Ecologia (UFJF) e doutor em Ecologia e Evolução (UERJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 65746/02 CTF 2978596I
Vinicius de Paiva Andrade	Engenheiro Ambiental	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CREA 2019102299-RJ
Vanessa Souza Romão	Analista de sistemas	Editoração	IFP 104.169.94-1

### 3 - OBJETIVO

Apresentar ao GTA-PMQQS, de forma pontual e justificada, as recomendações de ajustes e otimização para o PMQQS, visando adequar as metodologias atualmente implementadas pelo programa, para atender aos objetivos do mesmo.

## 4 - RECOMENDAÇÕES PARA REVISÃO DO PMQQS

Para facilitar a avaliação do GTA-PMQQS sobre os pontos abordados nesta proposta, as sugestões de alteração ao PMQQS estão apresentadas divididas por ambientes (rio Doce e tributários, lagoas e zona costeira e estuarina) e por matriz ambiental (água, sedimento, testemunho e comunidades aquáticas).

### 4.1 - Recomendações gerais para revisão do PMQQS

A primeira abordagem foi a partir de um panorama mais amplo do PMQQS, fazendo-se recomendações gerais que estão apresentadas a seguir. As demais recomendações são apresentadas conforme itemização dos resultados do Relatório Anual.

Em relação a malha amostral sugere-se alguns ajustes conforme indicado no **Quadro 4-1**. Para estruturação destas sugestões, foi considerado alinhamento aos trechos do Plano de Manejo de Rejeitos (PMR), de forma a atender minimamente um ponto de monitoramento em cada trecho, para melhoria da abrangência espacial do monitoramento nos cursos hídricos e da caracterização dos aportes das bacias nos pontos afluentes.

PROGRAMA DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO SISTEMÁTICO DE ÁGUA E SEDIMENTOS - PMQQS

Recomendações para Revisão do PMQQS

3463-00-QSR-RL-0001-00

**Quadro 4-1 – Recomendações de ajustes espaciais dos pontos e suas respectivas justificativas.**

RIO	CÓDIGO ANTIGO	CÓDIGO ATUAL	DESCRIÇÃO	JUSTIFICATIVA
Córrego Mirandinha	-	RMD01	Em local prístino, próximo aos Diques S3 e S4	Melhorar a abrangência dos pontos em área não atingida.
RGN (Rio Gualaxo do Norte)	RGN02	RGN02M	Final do Trecho 07 do PMR	Melhorar a abrangência espacial do Gualaxo pois os pontos RGN02, 03, 04 e 05 estão muito próximos. Atender Trecho 07 do PMR
	-	RGN03M	Meio do Trecho 08 do PMR	Melhorar a abrangência espacial do Gualaxo pois os pontos RGN02, 03, 04 e 05 estão muito próximos. Atender Trecho 08 do PMR
	RGN05	RGN05M	Início trecho 09 do PMR	Melhorar a abrangência espacial do Gualaxo pois os pontos RGN02, 03, 04 e 05 estão muito próximos. Atender Trecho 09 do PMR
	RGN07	RGN07M	Trecho 09 do PMR, entre Barretos e Gesteira	Melhorar a abrangência espacial do Gualaxo pois os pontos RGN07 e 06 estão muito próximos. Atender Trecho 09 do PMR
RCA (Rio do Carmo)	-	RCA00	Em local não atingido, no ponto coincidente do RD009 IGAM em Mariana	Melhorar a abrangência dos pontos em área não atingida.
	RCA03	EXCLUIR	Ponto atual do PMQQS	Ponto muito próximo do RCA02.
	RCA05	RCA05J	Próximo à confluência com Piranga	Melhorar a abrangência espacial do Carmo pois os pontos RCA03, 04 e 05 estão muito próximos.
RDO (Rio Doce)	RDO02	RDO02J	8km a jusante do RDO02	Este ponto não conta com amostragem manual. Para melhor representatividade, deve ser deslocado para jusante, após local de lançamento de efluentes da Fazenda Floresta.
RPC (Rio Piracicaba)	RPC01	EXCLUIR	Ponto atual do PMQQS	Não é ponto de interesse de avaliação para o PMQQS. Já existe o ponto RPC03 na foz do Piracicaba.
	RPC02	EXCLUIR	Ponto atual do PMQQS	Não é ponto de interesse de avaliação para o PMQQS. Já existe o ponto RPC03 na foz do Piracicaba.
	RPC03	RPC03J	Deslocar ponto para próximo a foz no Doce	Caracterizar a contribuição do rio Piracicaba no Doce, com influência da cidade de Ipatinga e da Usiminas
RMA (RioMatipó)	RMA01	RMA01J	Deslocar ponto para próximo a foz no Doce	Caracterizar a influência do aporte de cargas poluidoras para o rio Doce
RCG (Rio Corrente Grande)	INCLUIR	RCG01	Próximo a foz com o Doce	Caracterizar a influência do aporte de cargas poluidoras para o rio Doce e monitorar água bruta da captação alternativa de abastecimento de GV (Aduora)
RGU (Rio Guandu)	RGU01	RGU01J	Deslocar ponto para próximo a foz no Doce	Caracterizar a influência do aporte de cargas poluidoras para o rio Doce, sem interferência direta da cachoeira nos parâmetros oxigênio dissolvido, turbidez e sólidos dissolvidos em suspensão

Os mapas dos trechos 1 a 4, com os pontos de amostragem atuais e com os reposicionados, estão apresentados no **Anexo 2**, **Anexo 3**, **Anexo 4** e **Anexo 5**, respectivamente.

Em relação a pertinência da amostragem de diversos parâmetros, recomenda-se a inclusão de análises de ortofosfato em rios e lagoas conforme justificado no **item 4.3.5.1 - Fitoplâncton** a seguir, além de uma série de exclusões apresentadas no **Quadro 4-2**, com as respectivas justificativas .

**Quadro 4-2 – Recomendações de exclusão de parâmetros analisados em água e sedimentos no PMQQS, com suas respectivas justificativas.**

PARÂMETRO	UNIDADE	RIO DOCE E TRIBUTÁRIOS		LAGOAS		ZONA COSTEIRA E ESTUARINA		JUSTIFICATIVA	
		PARÂMETROS A SEREM EXCLUÍDOS (X)	% AMOSTRAS ABAIXO DO LQ	PARÂMETROS A SEREM EXCLUÍDOS (X)	% AMOSTRAS ABAIXO DO LQ	PARÂMETROS A SEREM EXCLUÍDOS (X)	% AMOSTRAS ABAIXO DO LQ		
antimônio dissolvido	mg/L	x	98	x	100	x	100	Alto percentual de análises com concentrações abaixo do LQ nas campanhas do 1º relatório anual, não possuem valor de referência na legislação e não foram previstos pelo documento de bases mínimas do PMQQS.	
cádmio dissolvido	mg/L	x	100	x	100	x	100		
berílio dissolvido	mg/L	x	100	x	100	x	97		
boro dissolvido	mg/L	x	100	x	75	x	4		
chumbo dissolvido	mg/L	x	100	x	100	x	100		
cromo dissolvido	mg/L	x	100	x	100	x	100		
cobalto dissolvido	mg/L	x	99	x	99	x	92		
mercúrio dissolvido	mg/L	x	100	x	100	x	100		
molibdênio dissolvido	mg/L	x	100	x	100	x	94		
níquel dissolvido	mg/L	x	100	x	100	x	95		
prata dissolvida	mg/L	x	100	x	100	x	100		
selênio dissolvido	mg/L	x	99	x	100	x	96		
vanádio dissolvido	mg/L	x	100	x	100	x	100		
especação metil e dimetil mercúrio	mg/L	x	18	x	43	-	-		Formalizada a exclusão do PMQQS por meio do Ofício SEMAD/CT-SHQA nº. 16/2018 em 24/09/18.
selênio total	mg/L	x	93	x	100	x	92		Alto percentual de análises com concentrações abaixo do LQ nas campanhas do 1º relatório anual e não foram previstos pelo documento de bases mínimas do PMQQS.
antimônio total	mg/L	x	92	x	100	x	99		
berílio total	mg/L	x	97	x	100	x	100		
cobalto total	mg/L	x	78	x	99	x	90		
prata total	mg/L	x	100	x	100	x	10		
alfa-clordano	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
antimônio	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
boro	mg/kg	x	100	x	99	x	48		
fenóis totais	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
gama-chlordano	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
lindano	mg/kg	x	100	x	100	x	100	Alto percentual de análises com concentrações abaixo do LQ nas campanhas do 1º relatório anual e não possuem valor de referência na legislação.	
molibdênio	mg/kg	x	98	x	95	x	94		
prata	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
selênio	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
TPH total	mg/kg	x	99	x	100	x	100		
DDD	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
DDE	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
DDT	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
dieldrin	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
endrin	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
alfa-HCH	mg/kg	x	100	x	100	x	100	Alto percentual de análises com concentrações abaixo do LQ nas campanhas do 1º relatório anual. Apesar do uso adaptado da Resolução CONAMA 454/12 que dispõe sobre procedimentos para dragagem, esses parâmetros também não possuem valores de referência em uma legislação específica.	
beta-HCH	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
delta-HCH	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
gama-HCH	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
somatório PCB's	mg/kg	x	100	x	100	x	100		
somatório HPA's	mg/kg	x	97	x	100	x	100		
avaliação visual dos sedimentos	-	x	-	x	-	-	-		
teor de carbonatos	mg/kg	-	-	-	-	x	-		
pH em laboratório	-	x	-	x	-	-	-		
argilominerais	-	-	-	-	-	x	-		Formalizada a exclusão do PMQQS por meio da Nota Técnica nº 11 do GTA-PMQQS em 24/06/18.

## 4.2 - Garantia e controle da qualidade (QA/QC)

Com base nos dados analisados do Programa de Garantia e Controle de Qualidade (QA/QC) são feitas a seguir as seguintes recomendações:

- Definir quais parâmetros deverão ser marcados com referência ao qualificador 4 – balanço iônico, visto que existe diferença entre aplicar a fórmula considerando-se o módulo da equação ou considerando-se os valores negativos. Como são muitos parâmetros envolvidos, serão necessárias maiores informações para que sejam marcados os valores não qualificados.
- Alterar a frequência da rotina de análise das duplicatas para semanal. A rotina diária de duplicatas, ao longo de um ano de monitoramento, apresentou resultados compatíveis com as respectivas análises, o que indica que as coletas e as análises estão sendo realizadas com a cautela necessária, garantindo, com isso, resultados equivalentes. A redução da frequência agilizaria o procedimento diário de coletas, podendo-se realizar mais amostragens no mesmo dia, garantindo a integração dos resultados.
- Ajustar a rotina de brancos da seguinte forma:
  - ▶ Branco de campo e de viagem: como ambas análises são feitas para avaliar perdas dos compostos voláteis, estas deverão ser incluídas na mesma amostragem para os parâmetros orgânicos clorados e o mercúrio, passíveis de volatilização. Esta rotina deve ser feita pelo menos uma vez por semana, para cada matriz (água e sedimento). As amostras para brancos deverão ser coletadas e transportadas conforme orientação do PMQQS;
  - ▶ Branco de temperatura: essa amostragem é necessária para verificação se as amostras estão chegando ao laboratório em temperatura adequada, salvo raras exceções, que não prejudicarem os resultados analíticos. Além disso, deve-se avaliar o risco em se perder temperatura pela abertura rotineira das caixas com amostras enquanto estiver em transporte;

- ▶ Branco de equipamento: manter a rotina diária de um branco de equipamento por matriz, para todos os parâmetros;
- ▶ Para os parâmetros biológicos e ecotoxicológicos não é necessária a realização de nenhuma rotina de branco.

## **4.3 - Rio Doce e tributários**

### **4.3.1 - Água superficial**

Com base nas análises dos parâmetros de qualidade da água do rio Doce e dos seus tributários e da elaboração do Primeiro Relatório Anual, recomenda-se a suspensão da atividade de medição da condutividade da seção transversal para definição de amostragem simples ou composta. A amostragem composta deverá ser mantida apenas no ponto RDO 16, onde a variação da condutividade na seção transversal é frequentemente observada. Nos demais pontos, proceder com a amostragem simples.

### **4.3.2 - MPS e descarga sólida**

Nesta primeira etapa do PMQQS, foram reportadas diversas dificuldades para a amostragem do MPS, principalmente com relação à reduzida massa de amostra obtida com o método de filtração atualmente empregado. Em decorrência desses problemas, há diversas interrupções na série de resultados e por esses motivos é recomendado:

- Alterar a metodologia de amostragem do MPS, utilizando três armadilhas (análise em triplicata) de material particulado em suspensão durante 30 dias. Recomenda-se o uso de armadilhas de tubo PVC cilíndrico, medindo 75 milímetros de diâmetro e 40 centímetros de altura. A razão altura/diâmetro dos tubos coletores poderia ser de 5,3, valor acima do sugerido (2,3) por Gardner (1980), garantindo que a turbulência gerada na boca do tubo (local de entrada do MPS) retire o material já decantado. Essas armadilhas informam sobre a mobilização de metais no eixo longitudinal do rio.

- Aumentar a malha amostral, incluindo pontos atingidos e não atingidos, visto que a malha atual não é representativa. Sugestão de pontos adicionais: RGN01, RGN06, RCA01, RCA05J, RPG01, RPC03, RSG01, RSA01, RCR01, RMH01 e RGU01.

Com relação a descarga sólida, como diferentes métodos indiretos (Einstein, Colby, etc), resultam em diferentes estimativas de transporte de sedimentos em rios e em função do método proposto por Einstein necessitar de pelo menos uma faixa granulométrica para as descargas de fundo e suspensão, enquanto o método adaptado de Lara requer pelo menos 3, têm se como recomendações:

- Alterar a metodologia de análise da descarga sólida, substituindo o método de Einstein modificado (1955) pelo adaptado por Lara (1966).
- Aumentar a malha amostral, incluindo pontos atingidos e não atingidos, visto que a malha atual não é representativa. Sugestão de pontos adicionais: RGN01, RGN06, RCA01, RCA05J, RPG01, RPC03, RSG01, RSA01, RCR01, RMH01 e RGU01.

#### 4.3.3 - Sedimentos

Até o Primeiro Relatório Anual do PMQQS foram realizadas quatro campanhas para coletas de sedimentos no rio Doce e tributários. Visando otimização no monitoramento dos parâmetros de sedimentos, as recomendações são apresentadas no **Quadro 4-2**.

#### 4.3.4 - Testemunho

A dinâmica do ambiente (rios e tributários) não permite a preservação do perfil sedimentar, impossibilitando o enquadramento dos resultados nos modelos utilizados para estimar a datação dos sedimentos. Com base nessas informações e nos demais resultados de testemunhos é recomendado:

- Retirar da lista de parâmetros avaliados no testemunho de rios a atividade de datação por  $^{210}\text{Pb}$ , devido à dificuldade de encontrar laboratórios certificados para realização das análises. Outras justificativas que subsidiam essa recomendação foram apresentadas no Relatório de Estimativas de datação por atividade de  $^{210}\text{Pb}$  (**Anexo 6**).

- Alterar a frequência amostral do testemunho de semestral para anual, sendo realizada no período seco. Como apontado no **Anexo 6**, em ambientes com uma dinâmica mais lótica como a que se observa para o rio Doce e os tributários monitorados, a energia do sistema leva a uma reduzida taxa de sedimentação das partículas carregadas pela coluna d'água. Eventos de picos hidrológicos nos períodos de alta pluviosidade favorecem a ressuspensão do material sedimentado. Desta forma, foi recomendado uma amostragem com menor frequência visando a integrar a variação temporal em escala mais adequada para o parâmetro avaliado.

#### **4.3.5 - Comunidades aquáticas**

##### **4.3.5.1 - Fitoplâncton**

As relações da comunidade fitoplanctônica e os dados abióticos ao longo deste ano de monitoramento tiveram que ser avaliados com cautela, pois muitos destes dados abióticos foram registrados abaixo do limite de detecção do método, os quais variaram amplamente nas diferentes campanhas do monitoramento. Os dados de fósforo total, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total Kjeldahl, que poderiam ser utilizados como variáveis importantes para a dinâmica da comunidade fitoplanctônica também não puderam ser devidamente utilizados, pois, em sua grande extensão, estiveram com valores abaixo do limite de quantificação do método, apesar de acima dos limites da legislação de referência. Por esse motivo, recomenda-se:

- Adicionar a estimativa, através de métodos analíticos, da concentração de nitrogênio total, a fim de obter uma variável mais adequada para definir o estado trófico de um sistema aquático, os impactos sobre a comunidade fitoplanctônica em razão de processos de eutrofização e comparações com mais estudos ambientais,
- Adicionar a análise de fósforo solúvel reativo (ortofosfato), por esta ser a principal variável para estimar fatores limitantes ao desenvolvimento fitoplanctônico.

#### 4.3.5.2 - Perifíton

A comunidade perifítica é uma importante comunidade para o monitoramento em ambientes impactados, devido à sua característica sésil e curto ciclo de vida, com respostas rápidas às alterações ambientais e da qualidade da água e substrato associado. No entanto, o monitoramento desta comunidade pelo programa PMQQS contempla apenas três pontos de amostragem e frequência trimestral, gerando pouca informação para análises e inferências. Visando um melhor aproveitamento sobre as informações que esta comunidade pode prover para o monitoramento da qualidade das águas do rio Doce, recomenda-se:

- Que o monitoramento da comunidade perifítica seja executado pelo Programa de Biodiversidade da Fundação Renova, uma vez que este programa possui o objetivo fim voltado para o monitoramento da biodiversidade aquática em toda a cadeia trófica. Vale destacar que a coleta do perifíton requer uma equipe de profissionais bem treinados para a identificação dos substratos adequados, considerando que em muitos pontos estes substratos não serão encontrados. Além disto, o PMQQS contempla o fitoplâncton que, apesar de não ser tão bom indicador quanto o perifíton, consiste em uma comunidade de interesse, a exemplo do histórico de florações de cianobactérias na bacia do rio Doce.

#### 4.3.5.3 - Macroinvertebrados dulcícolas

No que diz respeito à metodologia da comunidade bentônica, boa parte das sugestões de melhorias, otimização e aprimoramento foram implementadas no segundo ano de monitoramento a partir de agosto de 2018, a partir das diretrizes da Nota Técnica nº07 do GTA-PMQQS. Estas diziam respeito principalmente à redução do número de amostras (réplicas), de 20 amostras para 9, e aumento do número de pontos amostrados, de 17 pontos para 30 pontos, equivalendo com a malha da amostragem de sedimentos em rios. Essa recomendação permitirá avaliar com maior precisão a comunidade aquática por trechos, o que não vinha ocorrendo no desenho amostral do PMQQS. No trecho 1, por exemplo só havia um ponto de amostragem da comunidade bentônica. Além disso, a fauna bentônica também passou a ser monitorada semestralmente em pontos localizados nas lagoas. Outra

recomendação sugerida foi a utilização do amostrador surber em rios, em pontos que permitiam seu uso, adequando assim a amostragem conforme sugere o PMQQS. Seguem abaixo outras recomendações para o monitoramento de macroinvertebrados dulcícolas que poderiam ser adotados após 2 anos de monitoramento:

- Alterar a frequência de amostragem de mensal para trimestral, incorporando período de seca e chuva.
- Aplicar o índice BMWP, conforme recentemente publicado por Junqueira e colaboradores (2018), desenvolvido para a região do alto rio Doce, em que é apresentada lista atualizada de escores para comunidade bentônica daquela região. Além disso, o artigo publicado apresenta dados obtidos em áreas menos impactadas da bacia do rio Doce, podendo subsidiar modelos de referência para este monitoramento.

#### **4.3.6 - Ensaios ecotoxicológicos**

Identificar se as amostras apresentam resultados semelhantes em diferentes matrizes é um passo importante para entender a dinâmica de contaminação desses pontos, então recomenda-se:

- Em atendimento a Nota Técnica nº22 do GTA-PMQQS, manter as amostragens para os testes de toxicidade na água e no sedimento no mesmo momento, para facilitar assim a integração e discussão dos resultados.

#### **4.3.7 - Estações automáticas**

Como as estações automáticas funcionam como um sistema de vigilância e alerta de acompanhamento em tempo real buscando subsidiar o planejamento preventivo dos principais sistemas de abastecimento público de água e direcionar ações de acompanhamento da qualidade da água do rio Doce, é recomendado:

- Realizar uma padronização de todas as medições para o intervalo de 60 minutos de forma a reduzir o esforço atual do banco de dados em função de algumas estações o intervalo estar de 30 em 30 minutos. Com as medições de 60 em 60 minutos, ou seja, de hora em hora, é possível manter a funcionalidade do sistema de alerta bem como o envio dos alertas, que seguem uma rotina de envio a cada três horas de registro do nível de alerta.
- Recomenda-se a instalação das sondas de turbidez em equipamentos flutuadores nos pontos RGN06 e RGN08 para minimizar a interferência do material do fundo que se deposita na sonda.

## 4.4 - Lagoas

### 4.4.1 - Águas

Com base nas análises do Primeiro Relatório Anual de monitoramento das lagoas têm se como recomendação a revisão dos critérios de definição das profundidades de coleta. A determinação das profundidades amostradas através do PMQQS se dá de forma diferente da usual, quando: i) **profundidade 1** é a profundidade de secchi multiplicado por 0,54 ( $Z_{ds} \times 0,54$ ), ii) **profundidade 2** é a  $(\text{zona eufótica} \times \text{profundidade máxima})/2$  e iii) **profundidade 3** é a profundidade máxima. O principal ponto questionável neste método é o fator de 0,54 utilizado para determinação da profundidade 1 e, por consequência, a profundidade 2. Estas questões já foram previamente pontuadas no relatório de “Garantia de controle e qualidade (QA/QC)”, item “6.1.4 – Outras considerações”, do relatório semestral do PMQQS. A fim de aprimorar a compreensão do monitoramento nas lagoas e interpretação dos resultados obtidos, e tendo como base o exposto, são recomendadas:

- Alteração na amostragem de profundidade, sendo estas: i) sub-superfície (indicar como **S** no banco de dados), a aproximadamente 30 cm da superfície da água, representando a zona eufótica, onde a produtividade primária tende a ser maior que a respiração; ii) limite da zona eufótica (indicar como “M” no banco de dados), calculada através da profundidade do secchi multiplicada por 3, o que equivale a 1% da incidência solar e onde a fotossíntese tende a se igualar à respiração (zona de compensação); e iii) fundo (indicar como “F” no banco de dados), monitorar a região onde a respiração tende a superar a

fotossíntese (zona de decomposição), aproximadamente 50 cm do fundo, evitando que se pegue sedimento.

- Avaliar, através de análises dos perfis realizados até o momento, a possibilidade de alteração das amostragens de perfil de 50 cm em 50 cm para 1 metro em 1 metro na coluna d'água.
- Ajustar a malha amostral priorizando a coleta em pontos de maior profundidade nas lagoas onde há o depósito de partículas mais finas, visando evitar a interferências de processos associados às margens (erosão, lançamento de efluentes, dentre outros) e do sedimentos nas amostragens.

#### 4.4.2 - Sedimentos

Levando-se em consideração que a malha amostral é a mesma para águas e sedimentos, somente haverá necessidade de alteração se for feita em todos os compartimentos. O monitoramento deve ser mantido e a periodicidade trimestral é suficiente para a avaliação do item.

#### 4.4.3 - Testemunho

No caso de testemunho de lagoas, baseado na justificativa da taxa de sedimentação já mencionada nas recomendações do testemunho de rios, é recomendado:

- Alterar a frequência amostral do testemunho de semestral para anual.
- Retirar da lista de parâmetros avaliados no testemunho de lagoas a atividade de datação por  $^{210}\text{Pb}$ , devido à dificuldade de encontrar laboratórios certificados para realização das análises.

#### 4.4.4 - Comunidades aquáticas

Considerando que as lagoas monitoradas apresentam grupos taxonômicos que são capazes de regular ativamente a sua posição na coluna d'água (cianobactérias, crisofíceas, dinoflagelados, criptofíceas, euglenóides), é importante a realização das amostragens em diferentes profundidades, mesmo quando em estado de mistura (ausência de termoclina) e, especialmente, quando estratificadas (presença de termoclina). Essa capacidade de regulação dos organismos na coluna d'água pode influenciar os processos do metabolismo planctônico (Huszar & Giani, 2007). O número de amostragens considerando o perfil vertical é variável e depende dos objetivos do estudo/monitoramento. Vale destacar que a coleta qualitativa para cada uma das profundidades vem sendo realizada com passagem de rede na superfície da água, não representando uma amostragem de profundidade. Tendo como base o exposto, recomenda-se:

- Realizar as amostragens em profundidades conforme descrito no **item 4.4.1 - Águas**.
- Reavaliar a amostragem qualitativa a partir de um arrasto vertical da coluna d'água, gerando uma amostra qualitativa do ponto.

#### 4.4.5 - Ensaios ecotoxicológicos

Uma vez que as lagoas monitoradas não apresentaram estratificação da coluna água, indicando uma constante homogeneização das massas d'água, recomenda-se:

- Remover as amostragens para testes de toxicidade nas profundidades II e III e manter apenas os testes em superfície. Além da questão da homogeneização da coluna d'água, essa recomendação pode ser justificada pela falta de resultados em diversas amostragens de lagoas, não sendo mantido um padrão de amostragem.
- Em atendimento a Nota Técnica nº22 do GTA-PMQQS, deve-se continuar os testes de toxicidade na água e no sedimento no mesmo período, para facilitar assim a integração e discussão dos resultados.

## 4.5 - Zona costeira e estuários

### 4.5.1 - Águas

Alguns estudos (Rosmann, 2018; Quaresma *et al*, 2015) delimitam a área de abrangência dos potenciais efeitos da pluma do rio Doce para uma região mais ao Sul do que para Norte, considerando a capacidade de diluição. Essa e outras informações obtidas no período de um ano de monitoramento (agosto/2017 – julho/2018), servem como base para nortear as seguintes recomendações:

- Reavaliar a malha amostral dos pontos de monitoramento da zona costeira e estuarina, incluindo mais pontos próximos à foz do rio Doce, além de integrar os resultados com outros programas da Fundação, em especial o Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, atualmente conduzido pela Rede Rio Doce Mar.
- Alterar a metodologia de coleta para apenas uma profundidade, permanecendo a amostragem de fundo, uma vez que as diferenças nas concentrações dos parâmetros monitorados nas profundidades P15 e P50 da zona costeira e estuarina não foram significativas, e as amostragens de fundo poderiam capturar melhor as alterações provocadas pelos efeitos de ressuspensão de sedimentos contendo rejeitos por exemplo.
- Deslocar o ponto de montante dos estuários para mais longe da foz do rio, permitindo assim uma melhor avaliação da contribuição do rio, sem interferência das marés, nas características da água. Com exceção dos estuários Cricaré, Itaunas e Reis Magos, os demais estuários monitorados não apresentaram diferenças significativas entre a condutividade dos pontos de montante e jusante, indicando uma homogeneidade da água entre estes pontos. Além disto, na redefinição dos pontos dos estuários, considerar que o ponto ERD 01 não está representando o estuário em si, e neste caso, seria melhor considerar o ponto RDO 16 como representativo desta região.

#### 4.5.2 - Sedimentos

Com base nas informações obtidas ao longo das doze campanhas do monitoramento de sedimentos da zona costeira e estuarina, é recomendado:

- Alterar a frequência amostral de mensal para trimestral. A matriz ambiental “sedimento” tem como característica oferecer uma abordagem integradora da variação temporal. Ao contrário da matriz “água” que apresenta variações em função do regime de maré e de correntes marinhas, a resposta oferecida pelo sedimento é reflexo da dinâmica de sedimentação de partículas e adsorção/desorção de contaminantes. Portanto, esses processos no sedimento se alteram com uma velocidade menor que os observados na água.

#### 4.5.3 - Comunidades aquáticas

A amostragem da meiofauna bentônica é feita através da retirada de uma amostra de cada uma das réplicas da amostragem da macrofauna bentônica. Muitas vezes o sedimento arenoso em que se é realizada a coleta é muito instável ocasionando em desmobilização da meiofauna quando a amostra é colocada na bandeja. Dessa forma, recomenda-se:

- Utilizar um amostrador adaptado com uma portinhola superior que permita a amostragem da meiofauna com tubo específico e de área conhecida antes que a draga seja aberta na bandeja. Esse procedimento visa reduzir a perturbação inerente ao processo de amostragem de macrofauna e meiofauna.
- Aumentar o esforço amostral, alterando de três para nove réplicas, visando melhorar caracterizar os pontos de amostragem, dado a elevada quantidade de amostras com ausência total de organismo.
- Reduzir a frequência amostral, passando de mensal para trimestral, mantendo duas amostragens em cada estação seca e chuvosa.

## 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do primeiro ano de vigência de PMQQS, acumulou-se experiência e aprendizado com a execução das diretrizes estabelecidas inicialmente. De forma natural e em decorrência da experimentação dos postulados teóricos, percebeu-se a oportunidade de consolidar o conhecimento adquirido de forma empírica com a revisão do PMQQS. Dessa forma, visando melhor adequar as metodologias atualmente empregadas no PMQQS, aos objetivos definidos por este programa, as recomendações acima expostas visam não só aprimorar a aquisição dos dados primários, com a adequação das metodologias, como também alteração da malha e frequência amostral. Portanto, espera-se desta forma condensar essas informações neste documento para que sejam avaliadas pelo GTA-PMQQS para que sejam incorporadas ao PMQQS.

**Lista de Anexos para Referência e Índice – Uso do NE**

Anexo 1	Anotação de responsabilidade técnica do coordenador
Anexo 2	Mapa de localização das estações de amostragem de água e sedimentos no trecho 01
Anexo 3	Mapa de Localização das Estações de Amostragem de Água e Sedimentos no trecho 02
Anexo 4	Mapa de localização das estações de amostragem de água e sedimentos no trecho 03
Anexo 5	Mapa de localização das estações de amostragem de água e sedimentos no trecho 04
Anexo 6	Estimativas de datação por atividade de $^{210}\text{Pb}$

**Anexo 1 - Anotação de responsabilidade técnica do coordenador**



**Serviço Público Federal**  
**CONSELHO FEDERAL/CONSELHO REGIONAL DE BIOLOGIA -**  
**4ª REGIÃO**

Situação: TRABALHO EM ANDAMENTO		Data: 12/02/2019 7:10:17 PM	
<b>ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART</b>		Nº: 2018/06130	
<b>CONTRATADO</b>			
Nome: GINA LUISA CARVALHO BOEMER		Registro CRBio: 035253/RS	
CPF: 17183811824		Tel: 21088782	
E-mail: gina_boemer@hotmail.com			
Endereço: R PEREIRA DA SILVA - 197/301 - BL. 1			
Cidade: RIO DE JANEIRO		Bairro: LARANJEIRAS	
CEP: 22221-140		UF: RJ	
<b>CONTRATANTE</b>			
Nome: ECOLOGY BRASIL - ECOLOGY AND ENVIROMENT DO BRASIL LTDA			
Registro profissional:		CPF/CGC/CNPJ: 01.766.605/0001-50	
Endereço: RUA DA ASSEMBLEIA n.º 100			
Cidade: RIO DE JANEIRO		Bairro: CENTRO	
CEP: 20011-904		UF: RJ	
Site:			
<b>DADOS DA ATIVIDADE PROFISSIONAL</b>			
Natureza: Prestação de Serviços - Execução de estudos, projetos de pesquisa e/ou serviços			
Identificação: Prestação de serviços de consultoria técnica especializada			
Município do trabalho: Belo Horizonte		UF: MG	Município da sede: Rio de Janeiro
			UF: RJ
Forma de participação: Equipe		Perfil da equipe: Multidisciplinar	
Área do conhecimento: Ecologia		Campo de atuação: Meio ambiente	
Descrição sumária da atividade: COORDENAÇÃO GERAL - AVALIAÇÃO DE DADOS E ELABORAÇÃO DE RELATÓRIOS TÉCNICOS (PARCIAL, TRIMESTRAL E ANUAL), REFERENTES AO PROGRAMA DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO SISTEMÁTICO DE ÁGUA E SEDIMENTO DA BACIA DO RIO DOCE, QUE INCLUI O MONITORAMENTO DO RIO DOCE, TRIBUTÁRIOS, LAGOAS, ESTUÁRIOS E A ZONA COSTEIRA. ESTE PROGRAMA TEM O OBJETIVO DE AVALIAR OS IMPACTOS DECORRENTES DOS REJEITOS LANÇADOS NESTES AMBIENTES COM O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO, BEM COMO A RECUPERAÇÃO DESTES AMBIENTES, CONTEMPLANDO A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E SEDIMENTOS A PARTIR DE DIVERSAS CONFIGURAÇÕES, EM TERMOS DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO, PERIODICIDADE E TIPO DE PARÂMETROS MONITORADOS NA BACIA DO RIO DOCE E ZONA COSTEIRA. A CONTRATANTE RESPONSÁVEL POR ESTE MONITORAMENTO É A FUNDAÇÃO RENOVA. DATA DE TERMINO: 04/04/2020			
Valor: R\$ 108023,12		Total de horas: 1168	
Início: 05/04/2018		Término:	

**ASSINATURAS**

**Declaro serem verdadeiras as informações acima**

Data: 12/02/2019

Assinatura do profissional

Data: 12/02/2019

Assinatura e carimbo do contratante

Para verificar a autenticidade desta ART acesse o **CRBio-04 Online** em nosso site e depois o serviço **Conferência de ART**

**Solicitação de baixa por distrato**

Data: / /

Assinatura do profissional

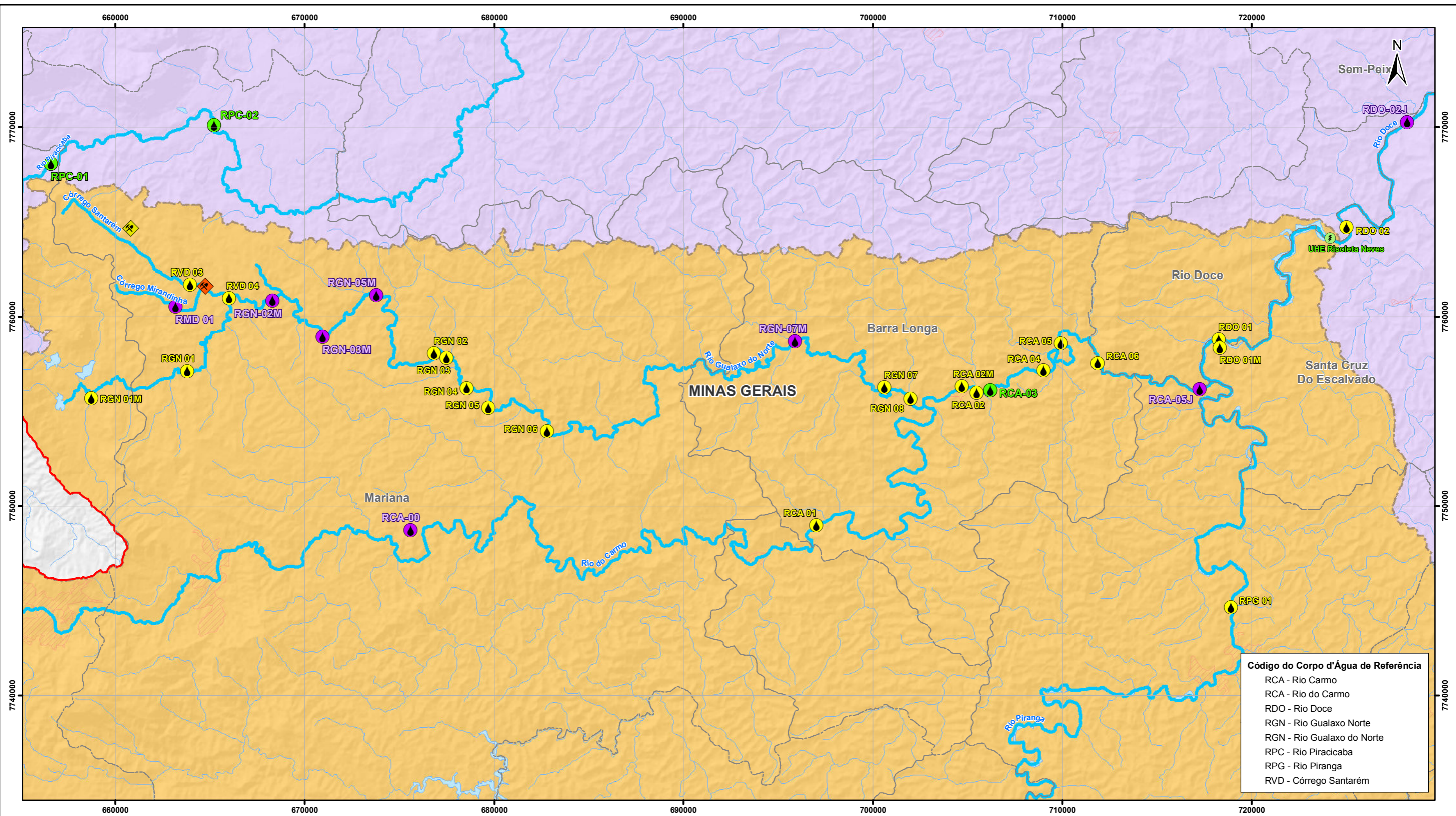
**Solicitação de baixa por conclusão**

Declaramos a conclusão do trabalho anotado na presente ART, razão pela qual solicitamos a devida BAIXA junto aos arquivos desse CRBio.

Nº do protocolo: **36491/NET**

Data: / / Assinatura do profissional

**Anexo 2 - Mapa de localização das estações de amostragem de  
água e sedimentos no trecho 01**



Código do Corpo d'Água de Referência	
RCA	- Rio Carmo
RCA	- Rio do Carmo
RDO	- Rio Doce
RGN	- Rio Gualaxo Norte
RGN	- Rio Gualaxo do Norte
RPC	- Rio Piracicaba
RPG	- Rio Piranga
RVD	- Córrego Santarém

Convenções Cartográficas	
	Limite Municipal
	Curso d'Água Intermitente
	Curso d'Água Permanente
	Corpo d'Água
	Área Urbana

Legenda	
	Barragem de Fundão
	Barragem de Santarém
	Usina Hidrelétrica
	Rios Monitorados
	Limite da Bacia Hidrográfica do Rio Doce
	Pontos de Monitoramento de Água e Sedimentos Reavaliados
	Pontos de Monitoramento de Água e Sedimentos Atuais
	Pontos de Monitoramento de Água e Sedimentos Atuais (excluídos)

Divisão de Trechos da Bacia do Rio Doce	
	Trecho 01
	Trecho 02

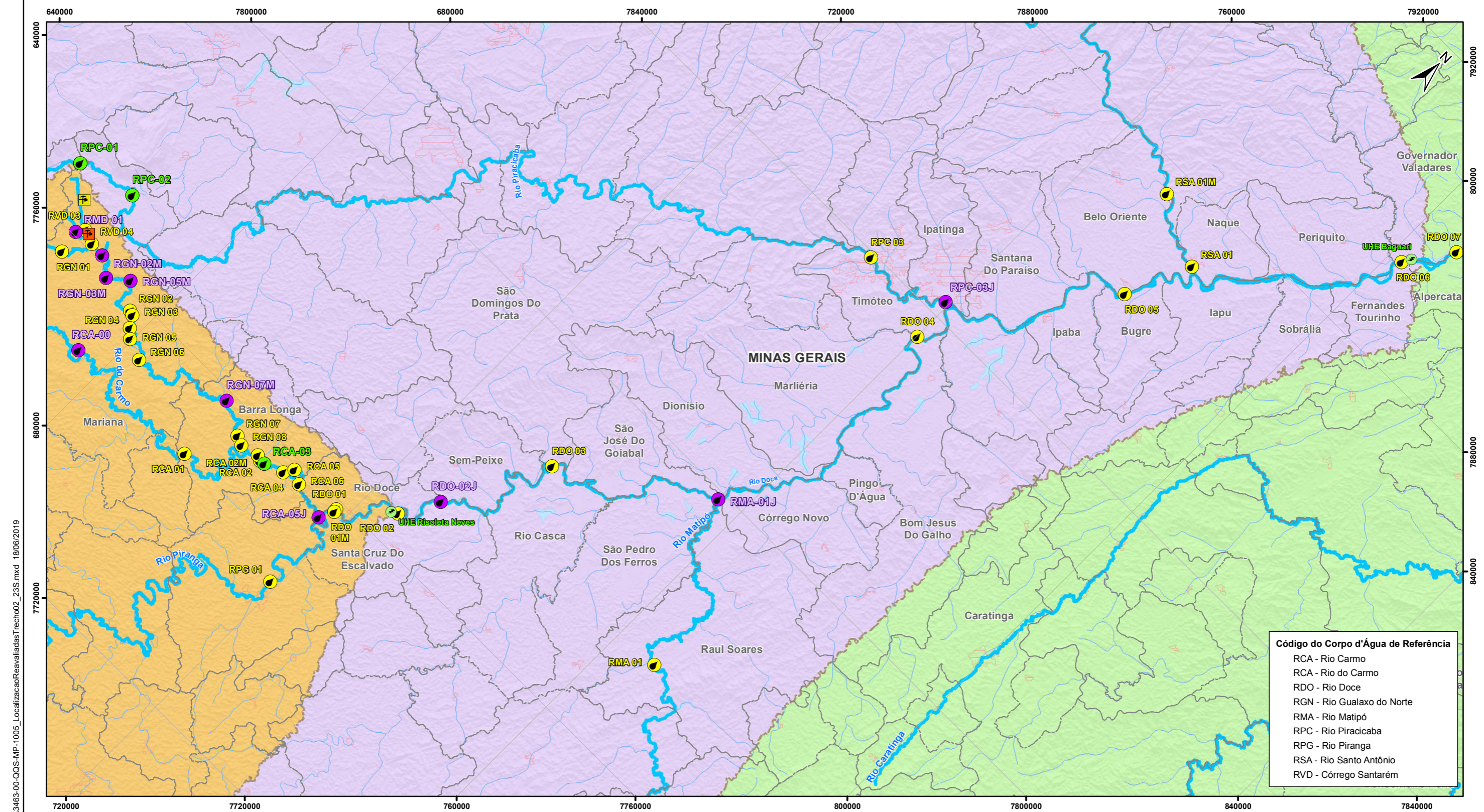


Escala Gráfica	
Escala 1:200.000	
3 1,5 0 3 6 Quilômetros	
Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Origem da quilometragem: Equador e Meridianos -45° de Gr. acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.	
Referência	
- Base Contínua Vetorial ao Milionésimo - IBGE, 2016; - Malha Municipal Digital - IBGE, 2018; - Relevo Sombreado (Topodata) - INPE, 2011.	

Cliente	
Projeto	
PROGRAMA DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO SISTEMÁTICO DE ÁGUA E SEDIMENTOS DA BACIA DO RIO DOCE (PMQQS)	
Título	
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA E SEDIMENTOS ATUAIS E REAVALIADAS NO TRECHO 1	
Elaboração: Danielle Vilela	Visto:
Responsável Técnico: Gina Boemer	Aprovado:
Mapa n°: 3463-00-QQS-MP-1005	Data: junho de 2019
	Revisão: 00

Execução	

**Anexo 3 - Mapa de localização das estações de amostragem de água e sedimentos no trecho 02**



**Código do Corpo d'Água de Referência**

- RCA - Rio Carmo
- RCA - Rio do Carmo
- RDO - Rio Doce
- RGN - Rio Gualaxo do Norte
- RMA - Rio Matipó
- RPC - Rio Piracicaba
- RPG - Rio Piranga
- RSA - Rio Santo Antônio
- RVD - Córrego Santarém

© Ecology & Environment do Brasil GIS Department  
L:\3463\_Monitoramento\_Bacia\_Rio\_Doce\2019\_05\_PMQQS\Mapas\3463-00-QQS-MP-1005\_LocalizacaoReavaliadasTrecho2\_235.mxd 18/06/2019

**Convenções Cartográficas**

- Limite Municipal
- Curso d'Água Permanente
- Corpo d'Água
- Área Urbana

**Legenda**

- Barragem de Fundão
- Barragem de Santarém
- Usina Hidrelétrica
- Rios Monitorados
- Limite da Bacia Hidrográfica do Rio Doce
- Pontos de Monitoramento de Água e Sedimentos Reavaliados
- Pontos de Monitoramento de Água e Sedimentos Atuais (excluídos)
- Pontos de Monitoramento de Água e Sedimentos Atuais

**Divisão de Trechos da Bacia do Rio Doce**

- Trecho 01
- Trecho 02
- Trecho 03



**Escala Gráfica**

Escala 1:550.000

0 3 6 12  
Quilômetros

Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000  
Origem da quilometragem: Equador e Meridianos -45° de Gr.  
acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.

**Referência**

- Base Contínua Vetorial ao Milionésimo - IBGE, 2016;
- Malha Municipal Digital - IBGE, 2018;
- Relevo Sombreado (Topodata) - INPE, 2011.

**Ciente**

**Projeto**

PROGRAMA DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO SISTEMÁTICO DE ÁGUA E SEDIMENTOS DA BACIA DO RIO DOCE (PMQQS)

**Título**

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA E SEDIMENTOS ATUAIS E REAVALIADAS NO TRECHO 2

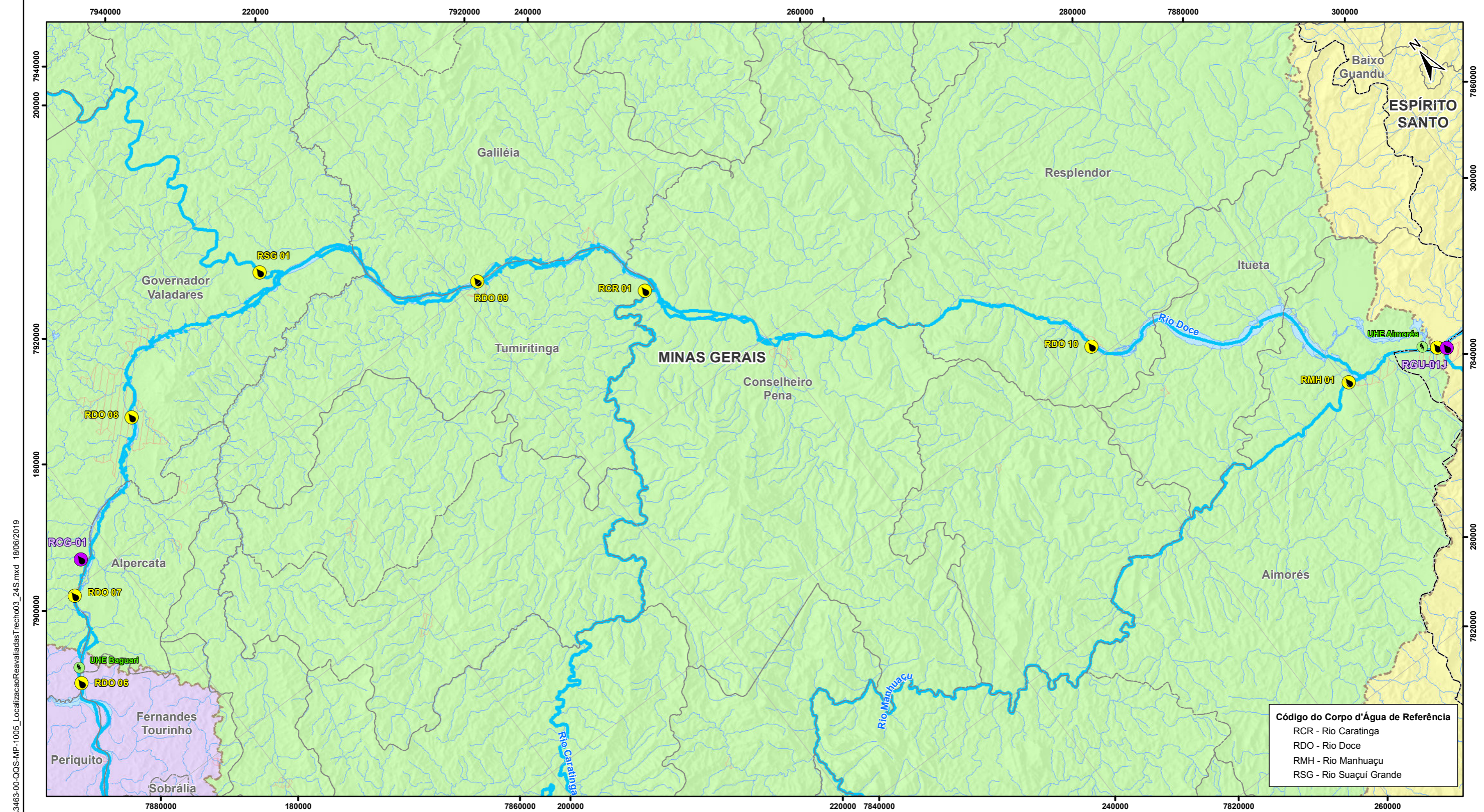
Elaboração: Danielle Vilela      Visto:      Aprovado:

Responsável Técnico: Gina Boemer      Data: junho de 2019

Mapa n°: 3463-00-QQS-MP-1005      Revisão: 00

**Execução**

**Anexo 4 - Mapa de localização das estações de amostragem de água e sedimentos no trecho 02**



**Código do Corpo d'Água de Referência**

RCR	- Rio Caratinga
RDO	- Rio Doce
RMH	- Rio Manhuaçu
RSG	- Rio Suaçuí Grande

© Ecology & Environment do Brasil GIS Department  
L:\3463\_Monitoramento\_Bacia\_Rio\_Doce\2019\_05\_PMQQS\MXD\3463-00-QQS-MP-1005\_LocalizacaoReavaliadasTrecho03\_24S.mxd 18/06/2019

**Convenções Cartográficas**

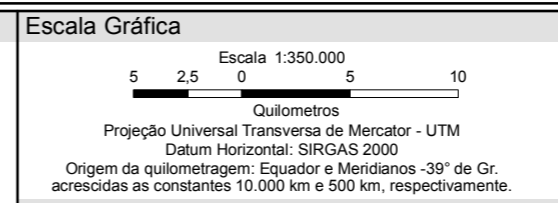
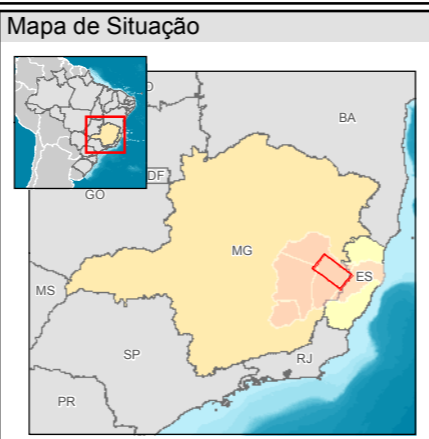
---	Limite Estadual
---	Limite Municipal
—	Curso d'Água Permanente
—	Corpo d'Água
■	Área Urbana

**Legenda**

⚡	Usina Hidrelétrica
—	Rios Monitorados
⬭	Limite da Bacia Hidrográfica do Rio Doce
●	Pontos de Monitoramento de Água e Sedimentos Reavaliados
●	Pontos de Monitoramento de Água e Sedimentos Atuais

**Divisão de Trechos da Bacia do Rio Doce**

■	Trecho 02
■	Trecho 03
■	Trecho 04



**Referência**

- Base Contínua Vetorial ao Milionésimo - IBGE, 2016;
- Malha Municipal Digital - IBGE, 2018;
- Relevo Sombreado (Topodata) - INPE, 2011.

**Ciente**

**Execução**

**Projeto**

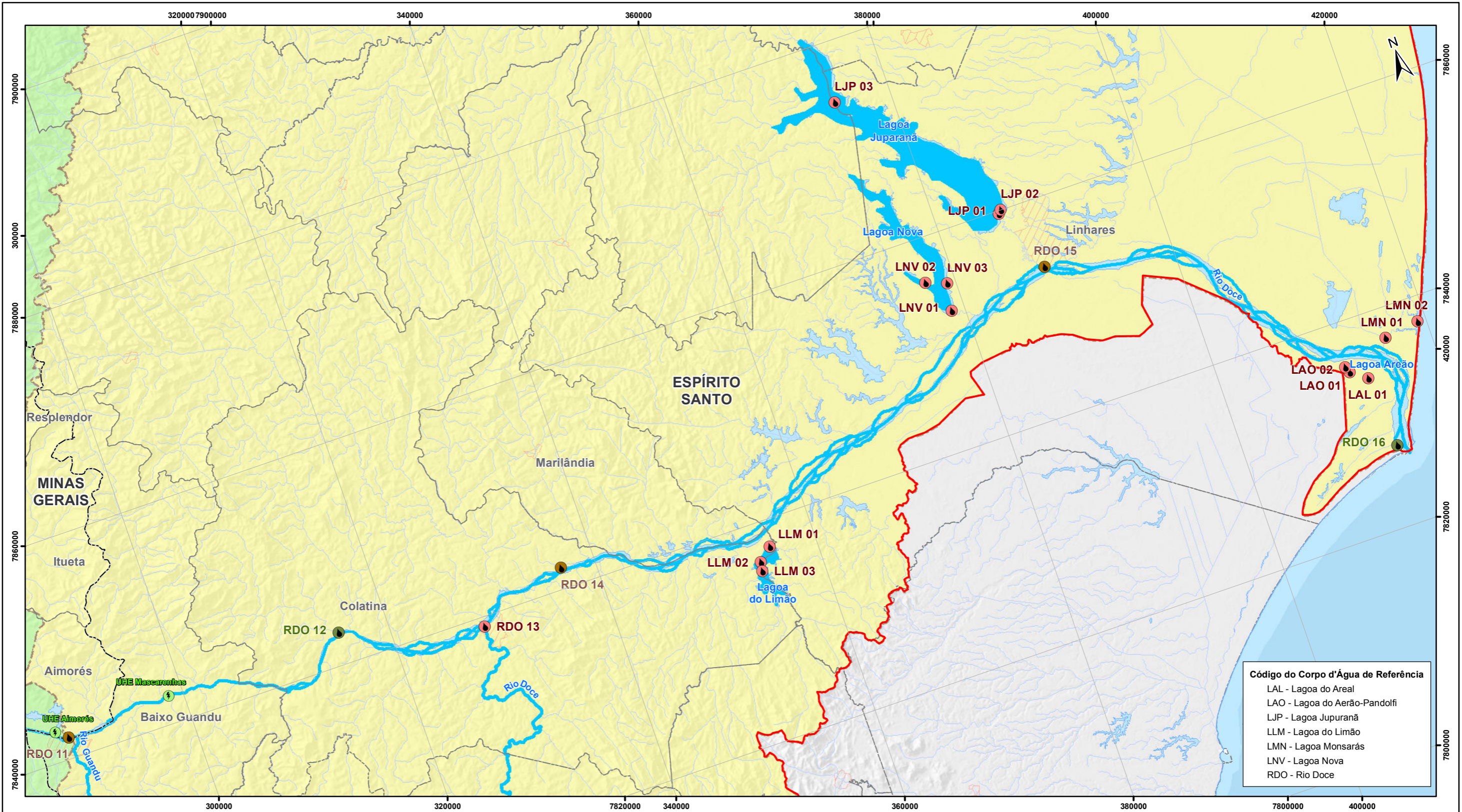
PROGRAMA DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO SISTEMÁTICO DE ÁGUA E SEDIMENTOS DA BACIA DO RIO DOCE (PMQQS)

**Título**

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA E SEDIMENTOS ATUAIS E REAVALIADAS NO TRECHO 3

Elaboração: Danielle Vilela	Visto:	Aprovado:
Responsável Técnico: Gina Boemer		Data: junho de 2019
Mapa n°: 3463-00-QQS-MP-1005		Revisão: 00

**Anexo 5 - Mapa de localização das estações de amostragem de  
água e sedimentos no trecho 04**



**Código do Corpo d'Água de Referência**

LAL	- Lagoa do Areal
LAO	- Lagoa do Aarão-Pandolfi
LJP	- Lagoa Juparanã
LLM	- Lagoa do Limão
LMN	- Lagoa Monsarás
LNV	- Lagoa Nova
RDO	- Rio Doce

© Ecology & Environment do Brasil GIS Department  
 L:\3463\_Monitoramento\_Bacia\_Rio\_Doce\2019\_05\_PMOQSMXD\3463-00-QQS-MP-1003\_LocalizacaoTrecho04\_24S.mxd\_30/05/2019

**Convenções Cartográficas**

---	Limite Estadual
---	Limite Municipal
---	Curso d'Água Permanente
---	Corpo d'Água
---	Área Urbana

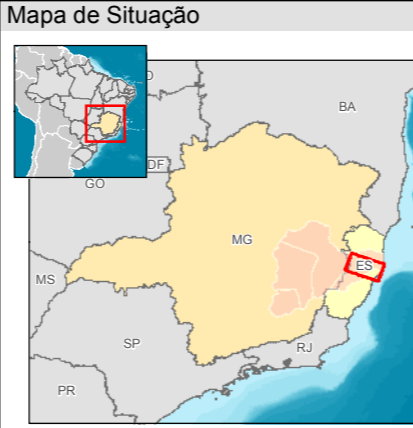
**Legenda**

	Usina Hidrelétrica
	Rios Monitorados
	Limite da Bacia Hidrográfica do Rio Doce
	Estação Automática Tipo I e Estação de Amostragem Manual
	Estação Automática Tipo II e Estação de Amostragem Manual
	Estação de Amostragem Manual

**Divisão de Trechos da Bacia do Rio Doce**

	Trecho 03
	Trecho 04

**Pontos de Monitoramento de Água e Sedimentos**



**Escala Gráfica**

Escala 1:350.000

Quilômetros

Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000  
Origem da quilometragem: Equador e Meridianos -39° de Gr. acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.

**Referência**

- Base Contínua Vetorial ao Milionésimo - IBGE, 2016;
- Malha Municipal Digital - IBGE, 2018;
- Relevo Sombreado (Topodata) - INPE, 2011.

**Ciente**

**Execução**

**Projeto**

PROGRAMA DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO SISTEMÁTICO DE ÁGUA E SEDIMENTOS DA BACIA DO RIO DOCE (PMQQS)

**Título**

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA E SEDIMENTOS NO TRECHO 4

Elaboração: Danielle Vilela	Visto:	Aprovado:
Responsável Técnico: Gina Boemer		Data: maio de 2019
Mapa n°: 3463-00-QQS-MP-1003		Revisão: 00

**Anexo 6 - Estimativas de datação por atividade de  $^{210}\text{Pb}$**

# Programa de Monitoramento Quali-quantitativo de Água e Sedimentos da Fundação Renova

Estimativas de datação por  
atividade de  $^{210}\text{Pb}$  para  
Perfis de Testemunhos de  
Sedimento Fluvial

Março 2019

## SUMÁRIO EXECUTIVO

Foram disponibilizados 44 perfis (testemunhos) sedimentares para a presente avaliação das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  e da composição granulométrica, visando identificar casos passíveis de datação. Também avaliados resultados de alumínio (Al) e carbono (C). Duas limitações ocorreram para estimar datações: (1) a metodologia utilizada determinou atividades totais de  $^{210}\text{Pb}$ , e não as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso”, e (2) existem várias evidências de eventos erosivos e/ou outros distúrbios por perfil, especialmente nos ambientes fluviais, onde datações costumam não ser viáveis. Treze perfis apresentaram sequências contínuas de  $^{210}\text{Pb}$  detectadas pelo método usado. Após avaliar efeitos da composição sedimentar e de aplicar normalização pelo Al (razões  $^{210}\text{Pb}/\text{Al}$ ) para atenuar efeitos desta composição, foram identificados dois casos, ambos em lagoas, nos quais a variação das atividades totais de  $^{210}\text{Pb}$  normalizadas pelo Al sugerem preservação do registro sedimentar em algumas camadas superficiais. Estes pontos seriam passíveis de serem datados, até cerca de 10 a 20 cm, pelo método *Constant Initial Concentration* (CIC). O método *Constant Rate of Supply* (CRS) geralmente não se mostrou aplicável, devido à (1) heterogeneidade dos resultados ser acentuada demais para atender às premissas de uso do método e (2) falta de dados de porosidade para correção da compactação e heterogeneidade sedimentar. Os dados para os quais o CRS poderia ser considerado se ajustaram melhor ao uso do CIC. Datações passíveis de serem estimadas para estas amostras coletadas no primeiro semestre de 2018 poderão ser também balizadas ao se obter os resultados referentes ao segundo semestre de 2018.

## SUMÁRIO

1 - EQUIPE TÉCNICA .....	2
2 - MÉTODOS DE DATAÇÃO UTILIZANDO O $^{210}\text{Pb}$ .....	3
3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DA ATIVIDADE DE $^{210}\text{Pb}$ .....	10
4 - PROCEDIMENTOS USADOS PARA AS DATAÇÕES .....	27
5 - ESTIMATIVA DE DATAÇÃO .....	29
6 - CONCLUSÕES .....	35
REFERÊNCIAS .....	36

## 1 - EQUIPE TÉCNICA

A seguir é apresentado o quadro **Quadro 1-1** da equipe técnica da Ecology Brasil, responsável pela elaboração do presente relatório.

**Quadro 1-1 - Equipe técnica da Ecology Brasil, responsável pela elaboração do presente relatório.**

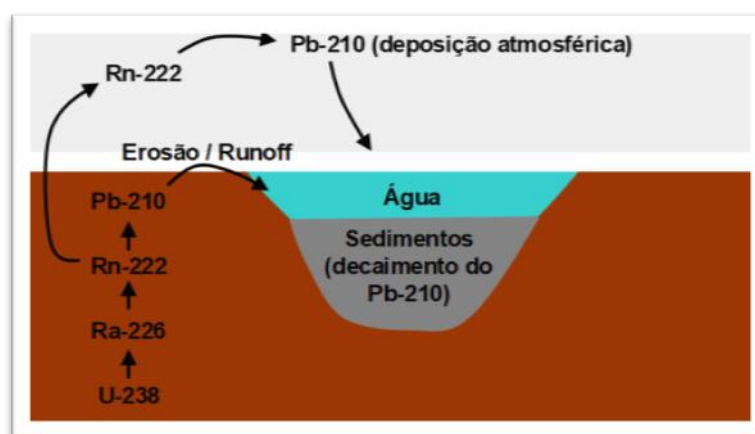
PROFISSIONAL DA ECOLOGY BRASIL E E&E	FORMAÇÃO	FUNÇÃO	REGISTRO GERAL/CTF IBAMA
Gina Luísa Carvalho Boemer	Bióloga (UFSCar), mestre e doutora em Engenharia Ambiental (USP)	Coordenação Geral	CRBio 35253/04 CTF 590812
Petrus Magnus Amaral Galvão	Biólogo, mestre em Ecologia e doutor em Biofísica (UFRJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 115214/02 CTF 499671
Wilson Thadeu Valle Machado	Biólogo, Mestre e Doutor em Geoquímica (UFF)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 32577/02
Vinicius Neres de Lima	Biólogo (UERJ), mestre e doutor em Ecologia e Evolução (UERJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 71212/02 CTF 2468873
Vanessa Souza Romão	Analista de sistemas	Editores	IFP 104.169.94-1

## 2 - MÉTODOS DE DATAÇÃO UTILIZANDO O $^{210}\text{Pb}$

Datações de sedimentos de ambientes aquáticos vêm sendo amplamente realizadas utilizando as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  (um radioisótopo natural, com meia-vida de 22,26 anos), pertencente à serie de decaimento do  $^{238}\text{U}$  (Appleby, 2001; Swarzenski, 2014). As atividades totais do  $^{210}\text{Pb}$  nos sedimentos constituem uma mistura de duas fontes. Uma fonte associada ao material sedimentar originado da drenagem do sistema aquático (fração do  $^{210}\text{Pb}$  total denominada como  $^{210}\text{Pb}$  “suportado” por este aporte originado da área de drenagem) e outra fonte associada à deposição atmosférica (fração do  $^{210}\text{Pb}$  total denominada como  $^{210}\text{Pb}$  “não-suportado” ou “em excesso” ao aporte originado da área de drenagem).

Para a estimativa de datações, empregam-se métodos que usam as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso”, calculada pela diferença ente a atividade total e a atividade “suportada” (Appleby, 2000). A **Figura 2-1** apresenta uma ilustração simplificada das fontes e vias de transporte do  $^{210}\text{Pb}$  para sedimentos aquáticos.

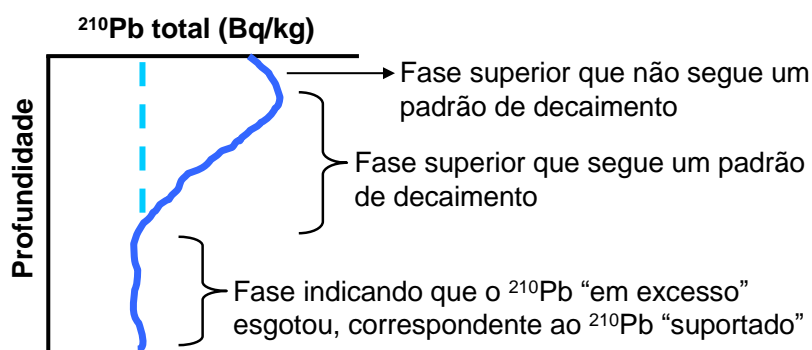
**Figura 2-1 - Representação simplificada de fontes e vias de aporte de  $^{210}\text{Pb}$  para sedimentos. O  $^{210}\text{Pb}$  denominado “suportado” vem com a erosão e o transporte superficial (“runoff”) de partículas originadas da área de drenagem. O material transportado contém radioisótopos naturais da série de decaimento do  $^{238}\text{U}$  (uma simplificação da série é representada, até o decaimento radioativo a  $^{210}\text{Pb}$ ). O  $^{210}\text{Pb}$  denominado “em excesso” chega via deposição atmosférica (direta no ambiente aquático ou via deposição na bacia de drenagem e posterior transporte), devido a parte do gás  $^{222}\text{Rn}$  escapar do meio terrestre e decair até  $^{210}\text{Pb}$  na atmosfera.**



Considerando a série de decaimento simplificada mostrada na **Figura 2-1** e que o  $^{226}\text{Ra}$  encontra-se em equilíbrio secular com seu “filho”  $^{210}\text{Pb}$ , isto permite a obtenção da atividade do  $^{210}\text{Pb}$  “suportado” ao ser determinada a atividade do  $^{226}\text{Ra}$  nos sedimentos (isto é, atividade do  $^{226}\text{Ra}$  = atividade do  $^{210}\text{Pb}$  “suportado”). O cálculo da atividade de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” é realizado pela diferença entre atividades de  $^{210}\text{Pb}$  total e  $^{226}\text{Ra}$  total (Appleby and Oldfield, 1978).

A **Figura 2-2** representa esquematicamente a forma de interpretação de um perfil de  $^{210}\text{Pb}$  para um posterior uso para datação. Destaca-se a ocorrência de camadas superficiais que não seguem o padrão teoricamente esperado de diminuição das atividades com a profundidade, por heterogeneidade dos sedimentos e/ou ocorrência de “zonas de mistura”.

**Figura 2-2 - Representação idealizada de um perfil de atividade de  $^{210}\text{Pb}$  total configurado por camadas superiores que predominantemente indicam seguir uma diminuição da atividade com a profundidade, até que ocorre fase com valores comparativamente baixos e constantes, correspondentes ao  $^{210}\text{Pb}$  “suportado”. A linha tracejada representa uma projeção da atividade “suportada” até o topo, acima da qual as atividades correspondem ao  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso”. Note que há resultados mais superficiais que não seguem a tendência de diminuição com a profundidade.**



A variabilidade na composição sedimentar pode atuar, por exemplo, com um maior conteúdo de matéria orgânica ou de areia estar diluindo a atividade do  $^{210}\text{Pb}$  no topo. Zonas de mistura são camadas afetadas por distúrbios físicos ou biológicos naturais e/ou por atividade humana, que desviam de uma tendência de diminuição exponencial com a profundidade, por sofrerem alguma alteração da distribuição das atividades do  $^{210}\text{Pb}$ . Estas camadas não são incluídas no método de datação, por estarem alteradas.

Como a atividade de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” decai ao longo do tempo de acúmulo nas camadas sedimentares, o perfil de atividade versus profundidade fornece informações sobre a preservação ou não do histórico de deposição destas camadas, que é interpretado para a definição do método de datação. Diferentes métodos dependem de premissas que possibilitam o uso de equações de cálculo de idades das camadas sedimentares. Estes métodos são aplicados com base em regressões, que podem ser derivadas (1) diretamente dos dados de atividades em função da profundidade, (2) de integrações de atividades com a profundidade ou (3) de massas acumuladas por área, em relação à

atividade do  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso”, para cada perfil sedimentar. Dependendo da variabilidade do perfil de  $^{210}\text{Pb}$ , datações podem ser realizadas até aproximadamente 150 anos (considerando a meia-vida do radioisótopo).

Ambientes que possuem sedimentação constante e não possuem variação brusca da sua composição, geralmente apresentam decaimento radioativo exponencial do  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso”. Neste caso, o método mais recomendável para estimar a datação seria o *Constant Initial Concentration* (CIC). Neste método as idades (t) das camadas sedimentares são calculadas conforme a equação abaixo (Appleby, 2001):

$$A_x = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (\text{Eq. 1})$$

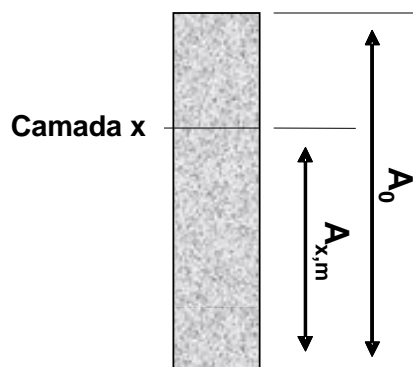
Na Equação 1,  $A_x$  é a atividade do  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” na camada sedimentar de profundidade x,  $A_0$  é a atividade inicial do  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso”,  $\lambda$  é a constante de decaimento do  $^{210}\text{Pb}$  e t representa tempo. Com base neste método, os casos nos quais o logaritmo natural (Ln) das atividades “em excesso” varie decaindo linearmente com a profundidade permitem o uso do coeficiente de inclinação da equação da reta obtida para a regressão linear do Ln  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” contra a profundidade para calcular a taxa de sedimentação. Com a estimativa da taxa de sedimentação, calculam-se as idades de cada camada usada para a regressão.

Se a atividade do  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” não seguir uma tendência exponencial de diminuição com a profundidade, resultando numa taxa de sedimentação não uniforme, o método recomendado é o *Constant Rate of Supply* (CRS). Este método assume que a deposição atmosférica é o fator dominante que controla o aporte de  $^{210}\text{Pb}$  e que ocorre um fluxo constante de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” na interface água-sedimento, independente da variação da taxa de sedimentação (Appleby and Oldfield, 1978; Appleby, 2001). Uma vez que os dados se enquadram nestas condições, o método CRS pode ser aplicado, as idades das camadas (t) do perfil sedimentar são calculadas pela seguinte equação (Swarzenski, 2014):

$$t = (1/\lambda) \cdot \text{Ln}(A_0/A_{x,m}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Na Equação 2,  $A_0$  representa a atividade “em excesso” acumulada em todo o perfil e  $A_{x,m}$  corresponde à atividade de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” acumulada abaixo de uma profundidade  $x$  ou numa massa sedimentar acumulada  $m$ , enquanto  $\lambda$  é a constante de decaimento do  $^{210}\text{Pb}$  e  $t$  representa tempo. A **Figura 2-3** representa um testemunho sedimentar ilustrando as camadas usadas para o cálculo acima.

**Figura 2-3 - Representação das camadas sedimentares utilizadas para cálculos de  $A_0$  e  $A_{x,m}$  para o método CRS (Equação 2).**



Frequentemente a pressão das camadas sedimentares superiores sobre as camadas inferiores resulta em algum grau de compactação dos sedimentos, o que pode afetar a datação baseada nos intervalos de profundidade dos perfis. O uso da massa acumulada é recomendado quando há necessidade de (1) correção de compactação dos sedimentos (que pode ser evidenciada, por exemplo, ao haver aumento da densidade aparente dos sedimentos com o aumento da profundidade) e (2) de correção de heterogeneidades na granulometria e no conteúdo de matéria orgânica, que afetem a variabilidade dos dados de  $^{210}\text{Pb}$  (ambas podem afetar a porosidade e a densidade aparente, que também servem como indicadores destes efeitos). Difícilmente há segurança de que não há alguma compactação afetando os resultados, sendo comum o uso de “correções” dos dados pela porosidade e o uso de massas acumuladas. Porém, no caso dos perfis avaliados neste documento,

não houve avaliação destes dois parâmetros para subsidiar uma interpretação e “correção” quanto a possíveis efeitos de compactação dos sedimentos.

Para a obtenção da massa acumulada por camada ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ), é utilizada a seguinte equação (Baskaran et al., 2014):

$$M = (1-\phi) \cdot \rho \cdot h \quad (\text{Eq. 3})$$

Na Equação 3, “ $\phi$ ” corresponde à porosidade da amostra, “ $\rho$ ” representa a densidade das partículas de sedimentos (geralmente assumida como  $2,5 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) e “ $h$ ” corresponde à espessura da camada. A porosidade (“ $\phi$ ”) é calculada pela equação:

$$\phi = \% \text{H}_2\text{O} / [(100 - \% \text{H}_2\text{O}) \cdot \rho + \% \text{H}_2\text{O}] \quad (\text{Eq. 4})$$

Na Equação 4,  $\% \text{H}_2\text{O}$  corresponde à fração de água da amostra e  $\rho$  representa a densidade das partículas de sedimentos ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

O somatório destes valores de  $M$  irá compor a massa acumulada de todo o perfil. As atividades de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” podem ser multiplicadas por  $M$  para corrigir efeitos da compactação e heterogeneidade sedimentar.

Com base no CRS, idades podem ser estimadas para cada camada, se o aporte de sedimentos da bacia de drenagem for razoavelmente constante e produzir uma baixa contribuição de  $^{210}\text{Pb}$  “suportado” em relação ao  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” (Appleby, 2008). A partir destas estimativas, realiza-se a regressão das idades contra a profundidade para a interpretação dos casos com mais de uma taxa de sedimentação para o mesmo perfil (Godoy et al., 2012; Monteiro et al., 2012). O CRS é um método amplamente utilizado para as situações de mudanças nas taxas de sedimentação ao longo do perfil.

Alguns perfis de sedimento apresentam zonas de mistura extensas, ou grande heterogeneidade das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  devido a efeitos de compactação e da composição sedimentar. Para estas situações, pode-se testar os métodos CRS e CIC, desde de que os dados atendam às premissas requeridas para a aplicação de cada um destes. O uso destes métodos em paralelo representa uma tentativa de se observar alguma coerência entre os resultados obtidos (Appleby, 2001).

Em situações onde se observam mudanças tanto na taxa de sedimentação como nas taxas de aporte de  $^{210}\text{Pb}$ , a datação fica impossibilitada (Appleby, 2001), pois não haverá atendimento às premissas de nenhum dos métodos. Vale ressaltar que essas mudanças podem estar relacionadas com eventos naturais (distúrbios físicos ou biológicos), ou por ação humana, mas ambas podem afetar os aportes de  $^{210}\text{Pb}$  no sedimento, gerando interpretações errôneas dos resultados (Baskaran et al., 2014).

Com base nos fundamentos expostos acima, o histórico da sedimentação registrado no perfil de atividade deve ser considerado para a escolha do método de datação. Para casos sem influência de eventos abruptos, como deslizamento de sedimentos ou impactos de forte hidrodinâmica, o uso do CRS poderá ser válido, desde que as demais premissas acima também se sustentem (Appleby, 2001). O CIC será o indicado para estes casos de eventos abruptos, se a sedimentação se mantiver constante (Appleby, 2001).

### 3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DA ATIVIDADE DE $^{210}\text{Pb}$

O **Quadro 3-1** identifica os perfis sedimentares avaliados.

**Quadro 3-1 - Descrição dos nomes de cada ponto de coleta e respectivos códigos.**

NOME DO PONTO DE COLETA	CÓDIGO DO PERFIL	NOME DO PONTO DE COLETA	CÓDIGO DO PERFIL
Mariana - Gualaxo Norte 01	RGN-01	Aimores - Manhuacu 01	RMH-01
Mariana - Gualaxo Norte 06	RGN-06	Baixo Guandu - Doce 11	RDO-11
Acaiaca - Carmo 01	RCA-01	Baixo Guandu - Guandu 01	RGU-01
Barra Longa - Gualaxo Norte 08	RGN-08	Colatina - Doce 12	RDO-12
Barra Longa - Carmo 02	RCA-02	Colatina - Doce 13	RDO-13
Ponte Nova - Piranga 01	RPG-01	Colatina - Doce 14	RDO-14
Rio Doce - Doce 01	RDO-01	Linhares - Doce 15	RDO-15
Sao Domingos do Prata - Doce 03	RDO-03	Linhares - Doce 16	RDO-16
Raul Soares - Matipo 01	RMA-01	Colatina - Lagoa do Limao 01	LLM-01
Bom Jesus do Galho - Doce 04	RDO-04	Colatina - Lagoa do Limao 02	LLM-02
Mariana - Piracicaba 01	RPC-01	Colatina - Lagoa do Limao 03	LLM-03
Mariana - Piracicaba 02	RPC-02	Linhares - Lagoa Juparana 01	LJP-01
Timoteo - Piracicaba 03	RPC-03	Linhares - Lagoa Juparana 02	LJP-02
Belo Oriente - Doce 05	RDO-05	Linhares - Lagoa Juparana 03	LJP-03
Naque - Santo Antonio 01	RSA-01	Linhares - Lagoa Nova 01	LNV-01

NOME DO PONTO DE COLETA	CÓDIGO DO PERFIL	NOME DO PONTO DE COLETA	CÓDIGO DO PERFIL
Periquito - Doce 06	RDO-06	Linhares - Lagoa Nova 02	LNV-02
Governador Valadares - Doce 07	RDO-07	Linhares - Lagoa Nova 03	LNV-03
Governador Valadares - Doce 08	RDO-08	Linhares - Lagoa Monsaras 01	LMN-01
Governador Valadares - Suacui 01	RSG-01	Linhares - Lagoa Monsaras 02	LMN-02
Tumiritinga - Doce 09	RDO-09	Linhares - Lagoa do Areal 01	LAL-01
Conselheiro Pena – Caratinga 01	RCR-01	Linhares - Lagoa do Areao 01	LAO-01
Resplendor - Doce 10	RDO-10	Linhares - Lagoa do Areao 02	LAO-02

O banco de dados avaliado apresentou predominantemente resultados abaixo da sensibilidade analítica para  $^{210}\text{Pb}$  (variando entre  $<0,02$  Bq/g e  $<0,03$  Bq/g), identificando-se 13 perfis (aproximadamente 30% do total) que possuem sequências de resultados de  $^{210}\text{Pb}$  detectados em número suficientemente para serem passíveis de se tentar obter datações.

Somente sequências com, no mínimo, três dados de atividades detectadas foram consideradas para avaliar a aplicação dos métodos indicados na seção acima, pois não haveria coerência em realizar uma curva de regressão para dois pontos.

As amostras que atenderam a este requisito foram:

- Colatina - Doce 12 (13 resultados) – Código: RDO-12
- Colatina - Lagoa do Limao 01 (12 resultados) - Código: LLM-01

- Conselheiro Pena - Caratinga 01 (3 resultados) - Código: RCR-01
- Governador Valadares - Doce 07 (6 resultados) – Código: RDO-07
- Linhares - Lagoa do Areal 01 (14 resultados) – Código: LAL-01
- Linhares - Lagoa do Areao 01 (14 resultados) – Código: LAO-01
- Linhares - Lagoa do Areao 02 (14 resultados) – Código: LAO-02
- Linhares - Lagoa Juparana 01 (14 resultados) – Código: LJP-01
- Linhares - Lagoa Juparana 02 (14 resultados) – Código: LJP-02
- Linhares - Lagoa Juparana 03 (14 resultados) – Código: LJP-03
- Periquito - Doce 06 (14 resultados) – Código: RDO-06
- Resplendor - Doce 10 (14 resultados) – Código: RDO-10
- Tumiritinga - Doce 09 (10 resultados) – Código: RDO-09

O **Quadro 3-2** apresenta as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  detectadas (sendo também indicados os casos de valores abaixo do limite de quantificação - LQ) nas mostras dos 13 perfis acima citados.

**Quadro 3-2 - Atividades de  $^{210}\text{Pb}$  total obtidas para os perfis que apresentaram ao menos sequências de três resultados detectados (< LQ indica atividade não detectada).**

	RDO-12	LLM-01	RCR-01	RDO-07	LAL-01	LAO-01	LAO-02	LJP-01	LJP-02	LJP-03	RDO-06	RDO-10	RDO-09
0-2	< LQ	< LQ	< LQ	0,057	0,044	0,085	0,086	0,03	0,094	0,078	0,045	0,056	0,036
2-4	0,04	0,025	< LQ	0,03	0,062	0,1	0,13	< LQ	0,081	0,071	0,044	0,054	0,04
4-6	0,035	< LQ	0,035	0,054	0,047	0,096	0,11	0,046	0,076	0,072	0,043	0,049	0,038
6-8	0,045	0,026	0,047	0,057	0,046	0,098	0,12	0,045	0,071	0,059	0,037	0,066	0,033
8-10	0,054	0,06	0,11	0,052	0,031	0,11	0,11	0,04	0,076	0,053	0,048	0,086	0,028
10-20	0,055	0,055	< LQ	< LQ	0,033	0,075	0,1	0,049	0,052	0,026	0,031	0,048	< LQ
20-30	0,048	0,036	< LQ	0,025	0,031	0,12	0,16	0,052	0,026	0,053	0,026	0,04	< LQ
30-40	0,06	0,071	< LQ	< LQ	0,036	0,083	0,084	0,063	0,032	0,051	0,036	0,061	< LQ
40-50	0,042	0,063	< LQ	< LQ	0,036	0,13	0,076	0,037	0,056	0,034	0,069	0,056	0,048
50-60	0,081	0,039	< LQ	< LQ	0,035	0,1	0,079	0,044	0,063	0,037	0,064	0,058	0,027
60-70	0,048	0,06	< LQ	< LQ	0,013	0,084	0,058	0,058	0,079	0,029	0,061	0,058	< LQ
70-80	0,056	0,055	< LQ	< LQ	0,052	0,081	0,056	0,059	0,064	0,051	0,055	0,064	0,029
80-90	0,07	0,061	< LQ	< LQ	0,025	0,093	0,065	0,07	0,066	0,032	0,038	0,054	< LQ
90-100	0,066	0,074	< LQ	< LQ	0,026	0,082	0,05	0,055	0,074	0,039	0,083	0,052	< LQ

O método utilizado para a determinação da atividade de  $^{210}\text{Pb}$  foi o apresentado no protocolo "ALS Standard Operating Procedure 726 Revision 9 (SOP 726r9)", com o título "Determination of lead-210 in soils, sediments and waters". De acordo com este protocolo, 2 g das amostras foram solubilizadas em uma solução ácida concentrada (digestão em  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HF}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), adicionando-se em seguida o coquetel de cintilação e procedendo com a contagem em um contador de cintilação líquida (Liquid Scintillation Counter – LSC). Este método é destinado à decomposição total da amostra, conforme descrito no método USEPA 3052, disponível no site <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3052.pdf>, acessado em 09/11/2018). Isto implica que as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  obtidas pelo protocolo SOP 726r9 referem-se a “atividades totais”.

Atualmente, os métodos mais empregados na determinação analítica das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  para fins de datação de perfis sedimentares são: espectrometria com detecção de radiação alfa e espectrometria com detecção de radiação gama. Para a técnica com detecção alfa, emprega-se um tratamento destrutivo da amostra, por exemplo, com base em dissolução em  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentrados (Flynn, 1968). Para a técnica com detecção gama, emprega-se tratamento não destrutivo, sendo a detecção realizada diretamente na amostra íntegra; Swarzenski, 2014). Por exemplo, no caso de detectores de radiação gama, a sensibilidade analítica é tipicamente  $<0,01$  Bq/g, podendo ser um pouco melhor no caso de serem usados detectores planares que acomodem uma maior massa de amostra (20 a 50g) para a detecção (Swarzenski, 2014). Além disto, tempos mais longos de contagem da atividade na amostra podem ser adotados para a obtenção de mais resultados detectados em relação às amostras que apresentem baixas atividades.

Destaca-se que os métodos de espectrometria com detecção de radiação alfa e gama viabilizam a obtenção da atividade “em excesso” do  $^{210}\text{Pb}$ , que é a informação adequada para se proceder a estimativa de datação (Swarzenski, 2014), conforme detalhado na seção anterior (isto é, pela diferença entre as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  total e do  $^{226}\text{Ra}$ ).

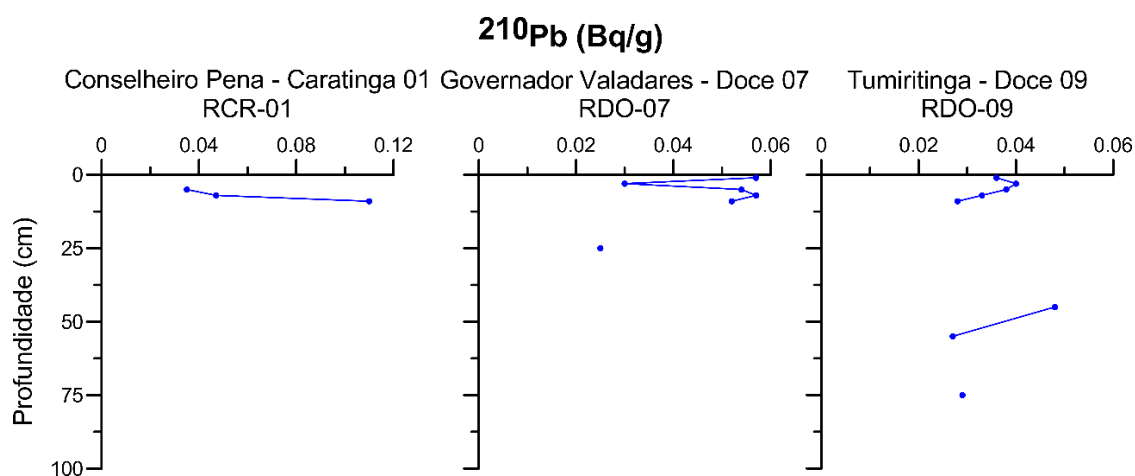
Não há segurança de que as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  totais possuam variação no perfil similar à variação das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso”, pois a atividade total é afetada por variações nos aportes de  $^{210}\text{Pb}$  “suportado” e “em excesso” combinadas. Exemplos de casos em que há divergências entre a variação vertical da atividade de  $^{210}\text{Pb}$  total e a de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” são encontrados na literatura (Appleby, 2001; Baskaran et al., 2014). Em adição a este aspecto, uma estimativa de datação por meio da atividade de  $^{210}\text{Pb}$  total fica também limitada por não se saber até qual profundidade a atividade de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” é encontrada em cada perfil. Porém, sabe-se que a atividade “em excesso” deixa de ser detectada a certa profundidade quando ela se esgota por decaimento radioativo, enquanto que a atividade total continua sendo detectada em maiores profundidades, mas correspondendo unicamente à atividade “em excesso” (Appleby, 2001).

Mesmo considerando os aspectos acima, podem ocorrer casos onde a forma do perfil de  $^{210}\text{Pb}$  total indique que nas camadas superiores há um decréscimo consistente das atividades com a profundidade, até que passem a ocorrer valores comparativamente baixos e aproximadamente constantes. Estes valores baixos e constantes podem ser interpretados como correspondentes ao  $^{210}\text{Pb}$  “suportado”, desde que se configure que este padrão de variação não é devido puramente à heterogeneidade da composição dos sedimentos (como o efeito de diluição por areia, por exemplo). Para isto, é preciso avaliar parâmetros sedimentares (como granulometria, conteúdo de matéria orgânica, porosidade e densidade aparente) para interpretar possíveis influências dos mesmos sobre as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  total. Havendo casos consistentes para que seja assumida a similaridade entre atividades de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” e atividade de  $^{210}\text{Pb}$  total, os valores totais seriam passíveis de uso para a datação, com os devidos esclarecimentos. Esta possibilidade é considerada no documento sobre geocronologia apresentado no site da PUC-RIO [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/15681/15681\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/15681/15681_3.PDF) (acessado em 09/11/2018). A representação esquemática mostrada na **Figura 2-2** ilustra um cenário idealizado que se ajusta a esta possibilidade alternativa – note que abaixo da zona de mistura há uma tendência da atividade de  $^{210}\text{Pb}$  total decair com a profundidade, por corresponder à variação da atividade de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” e não à variação da atividade de

$^{210}\text{Pb}$  “suportado”, que foi pouco variável. A recomendação de que seja utilizado algum indicador adicional (como outros radioisótopos) para confirmar possíveis estimativas de datação é ainda mais importante neste caso (Swarzenski, 2014).

Em relação aos 13 perfis que apresentaram sequencias de resultados acima da sensibilidade analítica, a **Figura 3-1** demonstra que três deles apresentam poucos dados, com apenas um mostrando tendência de queda consistente das atividades com a profundidade nas camadas superiores (perfil RDO-09), ao ser desconsiderado o ponto mais superior deste testemunho.

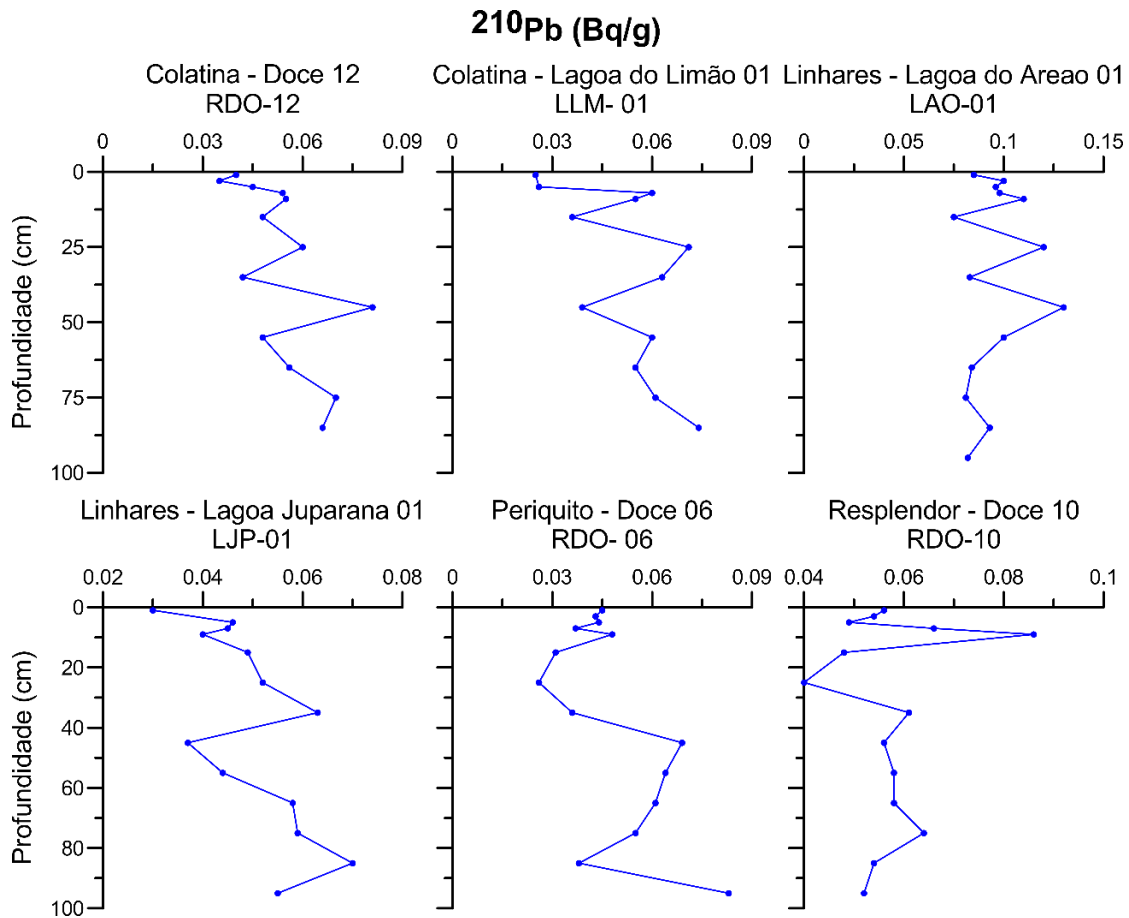
**Figura 3-1 - Resultados detectados das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  nos testemunhos RCR-01, RDO-07 e RDO-09.**



Os testemunhos RCR-01 e RDO-07 representam casos de variabilidade dos dados mais altas, que podem ser explicadas por distúrbios da sedimentação. Por exemplo, um evento de erosão poder ter causado a queda abrupta da atividade observada nas duas camadas superiores do perfil RCR-01 e no intervalo 2-4 cm de profundidade do perfil RDO-07 (**Figura 3-1**).

A **Figura 3-2** ilustra seis outros casos de perfis, nos quais houve detecção em todas as camadas, mas com grandes oscilações das atividades totais. Isto evidencia que eventos erosivos, retrabalhamento das partículas ou outras mudanças no regime de sedimentação ocorreram frequentemente. Enquanto eventos erosivos podem causar uma queda abrupta das atividades, os processos de mistura podem redistribuir as atividades nas camadas, fazendo com que a sequência original da deposição seja alterada, não sendo possível observar-se a diminuição das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  com o aumento da profundidade do perfil sedimentar.

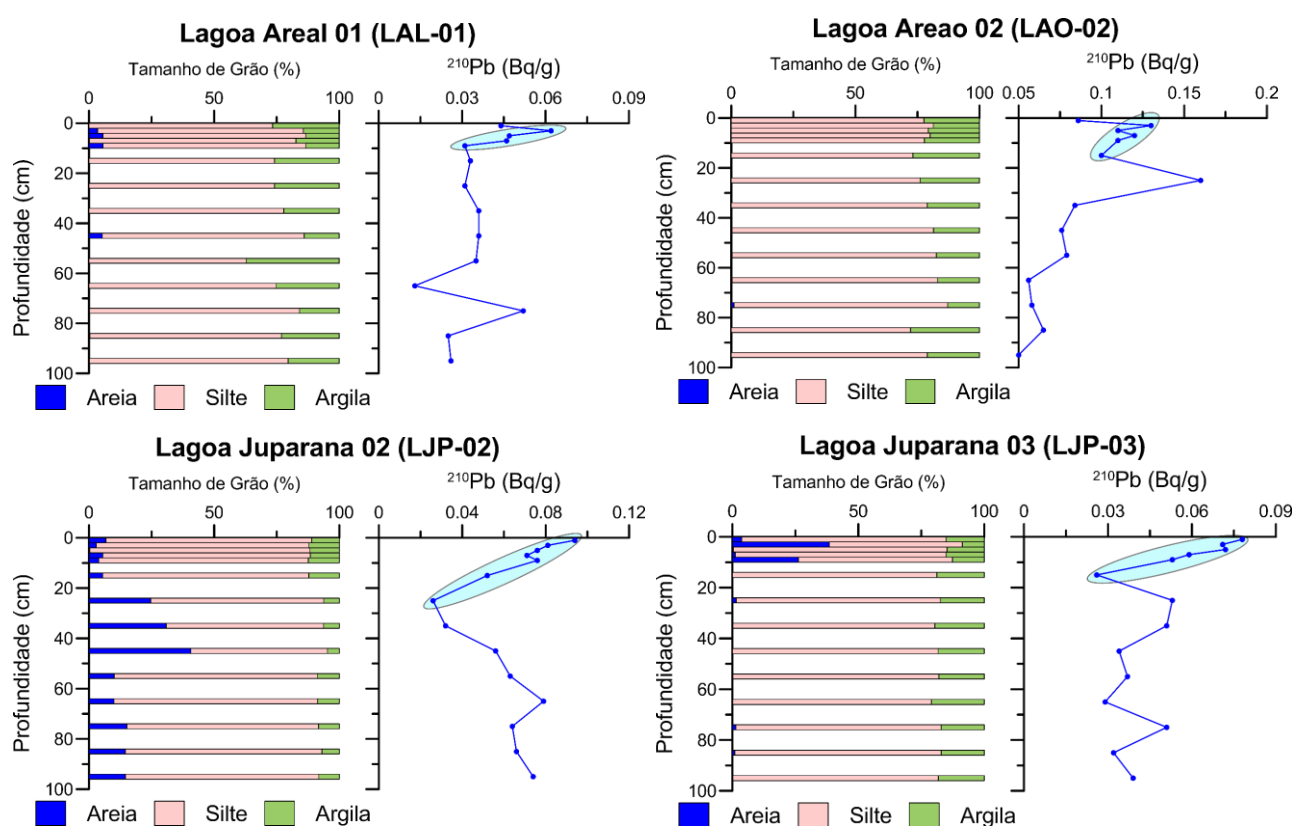
**Figura 3-2 - Resultados detectados das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  nos testemunhos RDO-12, LLM-01, LAO-01, LJP-01, RDO-06 e RDO-10.**



Estas características destes nove testemunhos tratados acima indicam que os pontos de coleta raramente possuem condições deposicionais favoráveis à preservação do histórico da sedimentação. Neste contexto, o atendimento às premissas indicadas para estimativas de datação não é consistente. Uma possível exceção entre esses casos pode ser considerada nos primeiros 10 cm do perfil RDO-09 (**Figura 3-1**). Porém, deve-se testar se a redução nas atividades totais no perfil RDO-09 não se deve à heterogeneidade sedimentar.

Os resultados dos demais 4 testemunhos sedimentares, dentre os 13 apontados, são apresentados na **Figura 3-3**. Embora evidências dos distúrbios da sedimentação indicados acima também ocorram neles, estes 4 perfis ilustram casos com tendências de decréscimo das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  em parte das camadas superiores (nos primeiros 10 ou 20 cm de profundidade), sugerindo possível preservação do histórico de deposição sedimentar.

**Figura 3-3 - Resultados detectados das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  e composição granulométrica (percentuais das classes de tamanho de grãos) dos testemunhos LAL-01, LAO-02, LJP-02 e LJP-03. As tendências de decréscimo de atividade mencionadas no texto estão destacadas por contornos em cada gráfico.**



Um melhor registro sedimentar para a estimativa de datações é de fato esperado para ambientes lacustres ou lagunares (estes 4 locais indicados na **Figura 3-3** são de lagoas), em contraposição ao esperado para ambientes fluviais, devido ao maior favorecimento à sedimentação em ambientes aquáticos com menos energia hidrodinâmica.

Assim, sedimentos de lagoas (identificados como 14 casos dos 44 avaliados; **Quadro 3-1**) possuem melhor potencial para atender a premissas dos métodos de datação descritas na seção anterior deste relatório, embora somente 4 destes casos tenham tido resultados detectados suficientemente para serem tratados.

Oscilações observadas nas camadas superiores destes quatro perfis mais completos e uma certa tendência de redução das atividades com a profundidade podem estar associadas à granulometria (**Figura 3-3**). A compreensão da variação granulométrica pode ser fundamental para o entendimento da dinâmica de sedimentação, tendo sido também apresentada na Figura 6, para estes exemplos de perfis que parecem ter um registro do histórico da sedimentação menos alterado (ao menos em parte).

A granulometria dos testemunhos LAL-01 e LAO-02 foi pouco variável, com baixa ocorrência de areia (no máximo 5,6% no LAL-01 e 1,1% no LAO-02) e um constante predomínio de silte. Não se observou similaridade entre as variações verticais dos parâmetros granulométricos e as dos dados de atividade de  $^{210}\text{Pb}$  (**Figura 3-3**). O mesmo foi observado para o testemunho LJP-03, exceto quanto aos primeiros 10 cm de profundidade, que registram eventos de aumento no aporte de areia (chegando a 38,5%), mas também sem clara associação com a variabilidade do  $^{210}\text{Pb}$  (**Figura 3-3**).

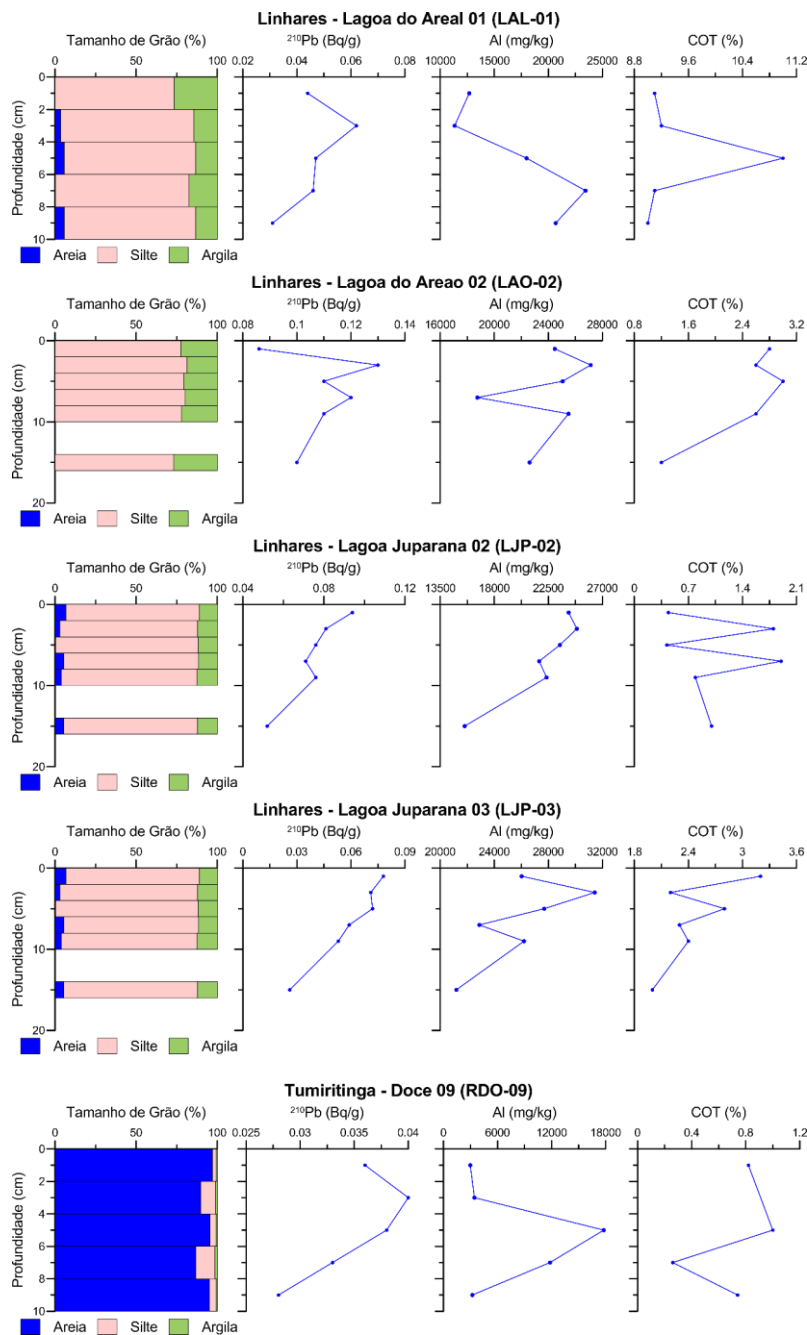
O testemunho LJP-02 teve maior variabilidade granulométrica, com conteúdo de areia entre 0,28 e 40,7% e predominância de silte, apresentando um intervalo de profundidade mais arenoso entre 20 e 50 cm, o que coincide em parte com o intervalo de menores atividades de  $^{210}\text{Pb}$ , entre 10 e 40 cm (**Figura 3-3**). Isto sugere efeito da granulometria sobre o perfil do  $^{210}\text{Pb}$ , no sentido da areia diluir as atividades deste radioisótopo. Dependendo da profundidade até a qual as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” cheguem (não se sabe em qual profundidade a atividade de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” se extingue neste perfil), esta influência da granulometria pode afetar possíveis estimativas de datação.

Com a disponibilização dos resultados de alumínio (Al) e carbono orgânico (C), foi possível refinar a avaliação da composição sedimentar para os testemunhos que apresentam possível melhor preservação da sedimentação. Na **Figura 3-4** estão comparados estes dados com os parâmetros já previamente avaliados, agora somente para as camadas superficiais dos cinco perfis que apresentam alguma redução das atividades do  $^{210}\text{Pb}$  com a profundidade. Este direcionamento foi adotado para avaliar a consistência das tendências de decréscimo das atividades com a profundidade, nestas camadas.

Os resultados reunidos na **Figura 3-4** demonstram a heterogeneidade ocorrida na composição de cada perfil, tanto na fração orgânica (como indicado pelas oscilações do carbono orgânico) quanto na fração mineral (como indicado pelo Al). Destaca-se que amostras do perfil RDO-09 são essencialmente arenosas e pobres em carbono orgânico, em contraste com as demais desta figura, evidenciando um ambiente fluvial claramente sob influência de maior energia hidrodinâmica quando se compara com os ambientes das lagoas.

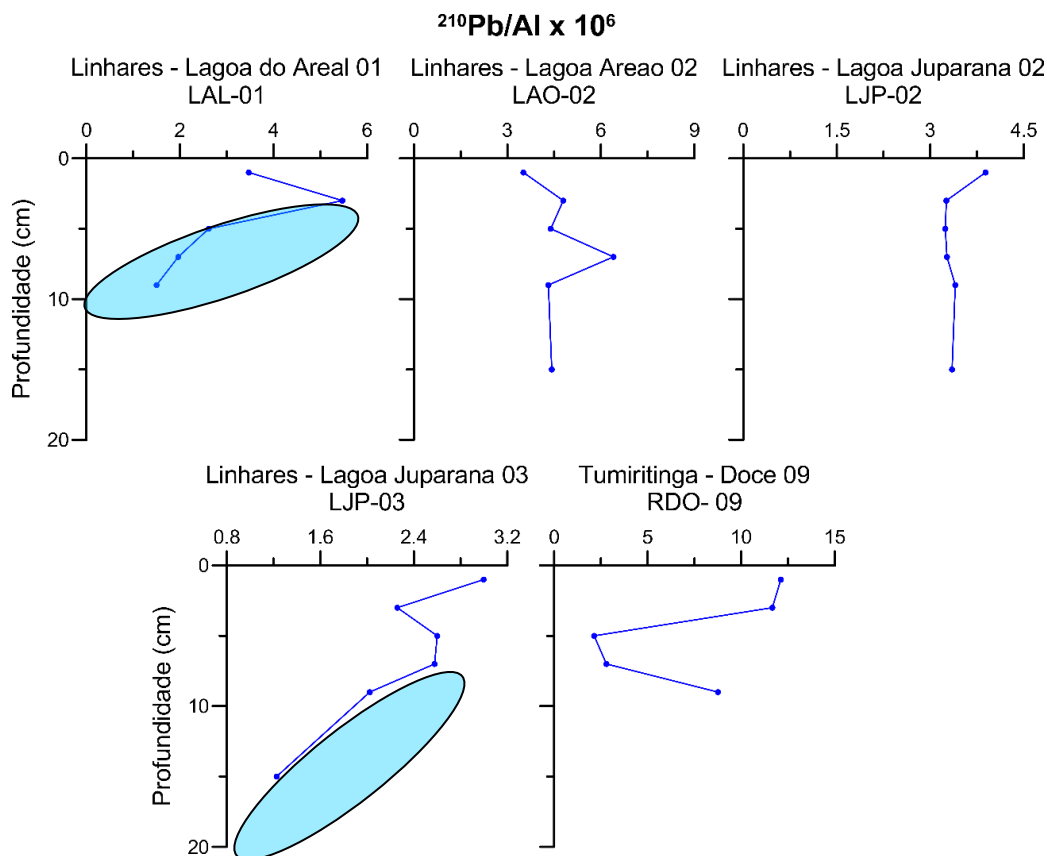
Os 5 perfis de  $^{210}\text{Pb}$  tratados acima podem ter sido afetados pela composição dos sedimentos (como variação na mineralogia), possivelmente resultando em diluição ou concentração desse radioisótopo. A normalização geoquímica por um elemento associado à fração argilo-mineral (que favorece a concentração do  $^{210}\text{Pb}$ ), como o Al, tem sido aplicada em análises de geoquímica elementar e isotópica (Cundy and Croudace, 1995; Machado et al., 2008). Desta forma, obtém-se uma “correção” de possíveis efeitos da mineralogia e granulometria pela razão entre o elemento ou radioisótopo considerado e o “elemento normalizador” (no caso, o Al).

**Figura 3-4 - Comparação dos resultados de  $^{210}\text{Pb}$  e composição sedimentar das camadas superiores dos perfis com tendência de decréscimo da atividade deste radioisótopo.**



Após aplicar esta normalização (isto é, avaliação de razões  $^{210}\text{Pb}/\text{Al}$ ), como demonstrado na **Figura 3-5**, a maioria dos perfis não manteve a tendência de diminuição dos valores com a profundidade. Contudo, foram identificados dois casos, sendo ambos em ambientes de lagoas (LAL-01 e LJP-03), nos quais as tendências de diminuição das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  normalizada pelo Al também sugerem uma preservação suficiente do registro sedimentar para ser testado o uso de modelos de datação. Ainda assim, esta indicação de coerência do registro não foi além dos 10 a 20 cm de profundidade.

**Figura 3-5 - Perfis de  $^{210}\text{Pb}$  normalizados pelas concentrações de alumínio. As áreas em azul indicam tendências predominantes de diminuição da atividade com a profundidade, mantidas mesmo após a normalização. Note que há uma ou duas amostras nas camadas superiores que não seguem a tendência geral, configurando zonas de mistura superficiais.**



Os perfis LAL-01 e LJP-03 (**Figura 3-5**) apresentaram granulometria relativamente homogênea. Excluindo-se uma ou duas camadas do topo, que são consideradas como zonas de mistura, observou-se um decréscimo consistente de atividade do  $^{210}\text{Pb}$  total (normalizando por Al, ou não) com o aumento da profundidade nos primeiros segmentos destes perfis. Desta forma, existem indicações de que estes dois perfis possuem atividades totais consistentes com o esperado para as atividades “em excesso”, possibilitando avaliar a consistência da utilização dos métodos CIC e CRS de datação para estes seguimentos superficiais.

A limitação do método de determinação do  $^{210}\text{Pb}$  deve ser indicada para possíveis usos destes resultados para qualquer fim. Como este acesso a datações que está por ser realizado requer confirmação, outros marcadores do histórico de sedimentação que possam servir para futuramente confirmar as estimativas seriam recomendáveis (por exemplo, empregando outros radioisótopos, como o  $^{137}\text{Cs}$ ).

Entretanto, a maioria dos 13 perfis que tiveram sequências de atividades detectadas não tendeu a apresentar decréscimo consistente das atividades com a profundidade. Isto seria necessário para a datação possibilitada pelo método CIC.

Em alternativa ao CIC, o uso do método CRS foi examinado para cada perfil, levando em conta que são utilizadas atividades totais para esta avaliação (**Figura 2-1** a **Figura 3-4**).

O método CRS produz datações válidas ao não envolver eventos de distúrbios abruptos na sedimentação, considerando que a taxa de transporte de sedimentos da drenagem seja constante (Appleby, 2001, 2008; Baskaran et al., 2014). Entretanto, picos e quedas das atividades (correspondendo a eventos bruscos de aporte ou perda; perfis RDO-07, RDO-12, LLM-01, LAO-01, LJP-01, RDO-10, LAO-02 e LJP-03) e/ou alterações bruscas entre fases sedimentares com atividades contrastantes (perfis RDO-06 e RDO-07), configuram eventos de mudanças no aporte de

sedimentos da drenagem e/ou efeitos de distúrbios da deposição (naturais ou antrópicos). Estas características divergem das premissas de aplicação do método CRS.

Dadas essas divergências com as premissas dos métodos, deve-se realizar ajustes nos dados, para superar os possíveis efeitos de compactação, e da heterogeneidade da composição sedimentar. Esta heterogeneidade foi observada em quase todos os perfis, exceto talvez para as camadas superiores dos cinco perfis destacados na **Figura 3-5**. Estes perfis já foram normalizados por Al e alguns deles (LAL-01 e LJP-03) mostraram coerência dos dados quanto ao decréscimo de atividade com a profundidade.

Porém, para as demais amostras, seria necessário testar se após outros tratamentos dos dados (como a correção pela porosidade, que não se encontra disponível) eles seriam passíveis de atender às premissas do método CRS.

As amostras RCR-01, LJP-01 e LJP-02, apresentaram variações das atividades mais suaves. Estas variações não abruptas podem decorrer de mudanças no uso do solo da área de drenagem causarem variação mais gradual no aporte de  $^{210}\text{Pb}$  do que, por exemplo, eventos bruscos de distúrbios hidrológicos. Portanto, apesar de ser matematicamente possível aplicar a integração das atividades dos perfis para o método CRS com os dados disponíveis para estas amostras, estaria se incorrendo em erro metodológico que produziria uma informação não confiável.

Uma das premissas para se aplicar o método CRS para a estimativa de datação é que não ocorram mudanças nas taxas de aporte do  $^{210}\text{Pb}$  e/ou distúrbios dos sedimentos. Isso não é indicado pelos perfis RCR-01, LJP-01 e LJP-02, uma vez que se observa uma variabilidade nos dados de atividade com a profundidade que sugere o não atendimento à referida premissa. Embora sejam variações mais suaves nestes três perfis, estas alterações não abruptas podem decorrer, por exemplo, de mudanças no uso do solo da área de drenagem causarem variação gradual no aporte de  $^{210}\text{Pb}$ . Portanto, apesar de ser matematicamente possível aplicar a integração das atividades dos perfis para

o método CRS com os dados disponíveis para estas amostras, estaria se incorrendo em uma estimativa não suficientemente fundamentada.

O possível uso dos resultados dos perfis LAL-01 e LJP-03 normalizados pelo AI (**Figura 3-5**) para a estimativa de datações se mostra mais ajustado ao método CIC do que ao método CRS, considerando as discussões acima. A aplicabilidade do CIC, como apontado na seção inicial do relatório, se deve a estes perfis (nas camadas superiores identificadas) não apresentarem alterações abruptas e preservarem tendências consistentes de uma única taxa de sedimentação com a profundidade, pois não há inflexões claras nas variações das atividades que sugiram mudança.

## 4 - PROCEDIMENTOS USADOS PARA AS DATAÇÕES

A estimativa de datação foi feita com base nas atividades de  $^{210}\text{Pb}$  (meia-vida de 22,26 anos) (Appleby, 2001). Como atividades totais do  $^{210}\text{Pb}$  nos sedimentos foram disponibilizadas (obtidas pelo método ALS “SOP 726r9”) e as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  denominadas como “não-suportado” ou “em excesso” (originadas de deposição atmosférica) seriam as adequadas (Appleby and Oldfield, 1978), as datações estimadas a seguir devem ser interpretadas como aproximações viáveis em função do esperado para perfis de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso”. Como os resultados para atividade de  $^{210}\text{Pb}$  para os perfis das amostras do segundo semestre do PMQQS estão sendo obtidos pelo método apropriado ( $^{210}\text{Pb}$  “em excesso”), as estimativas de datação apresentadas aqui poderão ser balizadas com as que estão por vir, a fim de se confirmar a adequação dos princípios assumidos para os cálculos apresentados a seguir.

Não há segurança de que as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  totais possuam variação nos perfis avaliados de forma similar à variação das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso”. Porém, quando se observa um decréscimo consistente das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  com a profundidade, até que ocorram valores comparativamente baixos e aproximadamente constantes, sem que isto seja devido a heterogeneidades dos sedimentos, há indícios de que as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  totais poderiam ser consideradas para fins de datação. Esta possibilidade é considerada no documento sobre geocronologia apresentado no site da PUC-RIO [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/15681/15681\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/15681/15681_3.PDF) (acessado em 09/11/2018).

Neste contexto, dentre os perfis sedimentares avaliados, duas amostras foram identificadas como sendo passíveis de datação, em relação às camadas mais superficiais (LAL-01 e LJP-03). Esta indicação de que seriam passíveis de datação pelo método do  $^{210}\text{Pb}$  ocorreu após serem avaliados possíveis efeitos da granulometria e dos conteúdos de carbono orgânico, que não se mostraram importantes nestes dois casos. Foi também testado o efeito da normalização das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  pelas concentrações de alumínio (razões  $^{210}\text{Pb}/\text{Al}$ ), como forma de atenuar possíveis efeitos da heterogeneidade da composição sedimentar (mineralogia e granulometria) sobre o perfil da atividade do  $^{210}\text{Pb}$ . Uma vez que os dados normalizados não indicam variação da sedimentação e sugerem uma preservação do registro sedimentar (sem distúrbios físicos ou biológicos que violem a premissa do método adotado), procedeu-se com a estimativa de datação. O método *Constant Initial Concentration* (CIC) (Appleby and Oldfield, 1978) foi aplicado, por ser o método ao qual estes dados se ajustaram.

## 5 - ESTIMATIVA DE DATAÇÃO

Os resultados tratados a seguir se referem às seguintes amostras:

- Linhares - Lagoa do Areal 01 – Código: LAL-01
- Linhares - Lagoa Juparana 03 – Código: LJP-03

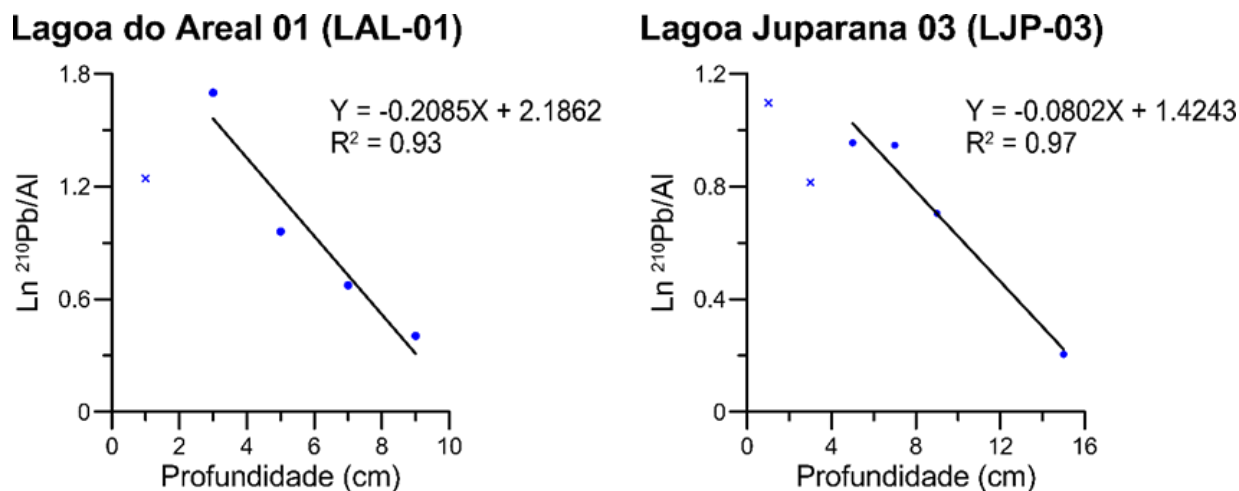
O **Quadro 5-1** apresenta os resultados avaliados como passíveis de serem datados, considerando os 10 cm superficiais do perfil LAL-01 e os 20 cm superficiais do perfil LJP-03. Resultados das atividades totais de  $^{210}\text{Pb}$ , assim como da sua normalização pelas concentrações de Al, são apresentados no **Quadro 5-1**.

**Quadro 5-1 - Resultados utilizados para a obtenção de datações dos perfis LAL-01 e LJP-03. As linhas destacadas em negrito e itálico indicam as camadas identificadas como “zonas de mistura” na Figura 5-1.**

Perfil	Profundidade	$^{210}\text{Pb}$ (Bq/g)	Al (mg/kg)	$^{210}\text{Pb}/\text{Al} \times 10^6$	$\text{Ln } ^{210}\text{Pb}/\text{Al}$
LAL-01	<b><i>0-2 cm</i></b>	<b><i>0.044</i></b>	<b><i>12680</i></b>	<b><i>3.47</i></b>	<b><i>1.24</i></b>
	2-4 cm	0.062	11329	5.47	1.7
	4-6 cm	0.047	17979	2.61	0.96
	6-8 cm	0.046	23432	1.96	0.67
	8-10 cm	0.031	20674	1.5	0.41
LJP-03	<b><i>0-2 cm</i></b>	<b><i>0.078</i></b>	<b><i>26022</i></b>	<b><i>3.0</i></b>	<b><i>1.1</i></b>
	<b><i>2-4 cm</i></b>	<b><i>0.071</i></b>	<b><i>31430</i></b>	<b><i>2.26</i></b>	<b><i>0.81</i></b>
	4-6 cm	0.072	27691	2.6	0.96
	6-8 cm	0.059	22890	2.58	0.95
	8-10 cm	0.053	26195	2.02	0.70
	10-20 cm	0.026	21191	1.23	0.20

A **Figura 5-1** apresenta os resultados das regressões lineares entre as atividades normalizadas e a profundidade de cada perfil, derivadas dos dados disponibilizados no **Quadro 5-1**. No método CIC, os casos nos quais o logaritmo natural (Ln) das atividades diminua linearmente com a profundidade, é possível utilizar o coeficiente de inclinação da equação da reta obtida para calcular a taxa de sedimentação.

**Figura 5-1 - Regressões lineares do Ln das atividades de  $^{210}\text{Pb}$  normalizadas pelo Al contra a profundidade, para as amostras LAL-01 e LJP-03. Note a ocorrência de pontos superficiais não utilizados nas regressões, interpretados como “zonas de mistura”.**



- × Resultados não usados na regressão, por estarem em zonas de mistura
- Resultados usados na regressão

As taxas de sedimentação foram estimadas por meio da razão entre o coeficiente de decaimento do  $^{210}\text{Pb}$  ( $\lambda = 0.0311/\text{ano}$ ) e o módulo do coeficiente de inclinação da equação da regressão linear. Isto corresponde à razão  $0,0311/0,2085$  para o perfil LAL-01 e à razão  $0,0311/0,0802$  para o perfil LJP-03, conforme as equações apresentadas na **Figura 5-1**. As taxas derivadas dos dados acima foram: 0.15 cm/ano para o perfil LAL-01 e 0.39 cm/ano para o perfil

LJP-03. Assim, a sedimentação no ponto LJP-03 foi estimada como sendo duas vezes e meia mais rápida do que no ponto LAL-01. Estes valores estão dentro da faixa de variação das taxas de sedimentação encontradas em sistemas lacustres e lagoas costeiras no Brasil, que variaram entre 0,03 cm/ano a 0,82 cm/ano (Godoy et al., 1998; Gioia et al., 2006; Bezerra & Mozeto, 2008; Loureiro et al., 2009). Com a estimativa das taxas de sedimentação, calcula-se a idade de cada camada do perfil, como forma de datação.

Destaca-se que somente estas camadas superficiais dos dois perfis foram consideradas para fins de datação, por terem sido as únicas a apresentar tendências de redução das atividades consistentes, atendendo aos critérios e procedimentos usados para datações. Maiores detalhes quanto à aplicabilidade dos resultados para a estimativa de datações (relativa à consistência e/ou limitações destas estimativas) estão disponíveis no Relatório “Avaliação de Dados de  $^{210}\text{Pb}$ ”.

Os dois perfis normalizados, ilustrados na **Figura 5-1**, não apresentaram alterações abruptas ou inflexões consistentes nas variações das atividades com o aumento da profundidade, tendo sido encontrados coeficientes de regressão linear elevados para ambos os casos ( $R^2 = 0,93$  para o perfil LAL-01 e  $R^2 = 0,97$  para o perfil LJP-03). Mesmo com a ressalva de que são pequenos os conjuntos de dados para estas regressões, estes resultados indicam que não houve mudança expressiva nas taxas de sedimentação e que existe adequação ao método CIC.

Como indicado anteriormente (**Figura 5-1**), ocorreram pontos superficiais não utilizados nas regressões apresentadas, por não seguirem a tendência de diminuição das atividades com o aumento da profundidade, tendo sido interpretados como “zonas de mistura”. Estes pontos correspondem ao intervalo de 0-2 cm do perfil LAL-01 e aos intervalos de 0-2 cm e 2-4 cm do perfil LJP-03 (**Figura 5-1**).

Com estes resultados obtidos, foi possível estimar datações para cada camada usada para as regressões demonstradas na **Figura 5-1**, conforme apresentado no **Quadro 5-2**. Note que neste quadro há estimativas de datação para as camadas mais superiores, nas quais se identificou “zonas de mistura”, como uma primeira aproximação das suas idades, fazendo-se uma ressalva de que estes topos das colunas sedimentares possuem esta limitação.

**Quadro 5-2 - Datações estimadas para as camadas dos perfis sedimentares LAL-01 e LJP-03. As camadas destacadas na Figura 1 como correspondentes a “zonas de mistura” estão indicadas no quadro, enquanto as demais foram consideradas como preservadas.**

PERFIL	PRESERVAÇÃO DA CAMADA	INTERVALO DE PROFUNDIDADE	IDADE DO TOPO DA CAMADA	IDADE DA BASE DA CAMADA	IDADE MÉDIA DA CAMADA
<b>LAL-01</b>	Zona de mistura	0-2 cm	2018	2005	2011
	Camada preservada	2-4 cm	2005	1991	1998
	Camada preservada	4-6 cm	1991	1978	1985
	Camada preservada	6-8 cm	1978	1965	1971
	Camada preservada	8-10 cm	1965	1951	1958
<b>LJP-03</b>	Zona de mistura	0-2 cm	2018	2013	2015
	Zona de mistura	2-4 cm	2013	2008	2010
	Camada preservada	4-6 cm	2008	2003	2005
	Camada preservada	6-8 cm	2003	1997	2000
	Camada preservada	8-10 cm	1997	1992	1995
	Camada preservada	10-20 cm	1992	1967	1980

Embora datações para até aproximadamente os últimos 150 anos possam ser realizadas ao serem usados dados de  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” (Appleby, 2001), na presente avaliação não foi considerada viável uma extrapolação para camadas inferiores às consideradas na **Figura 5-1**, devido a: (1) não ser conhecida a profundidade até a qual ocorre o  $^{210}\text{Pb}$  “em excesso” e (2) existir heterogeneidades na composição das camadas inferiores que não atendem às premissas do método de datação (como descrito no Relatório da Etapa 1). Assim, o histórico de sedimentação e de aporte de materiais pode ser reconstruído somente até aproximadamente 5 décadas atrás no perfil LJP-03 (0-10 cm de profundidade) e até aproximadamente 7 décadas atrás no perfil LAL-01 (0-20 cm de profundidade), com as devidas ressalvas apontadas neste documento.

A recomendação de que seja utilizado algum indicador adicional para confirmar estimativas de datações é adotada frequentemente em relação ao uso do  $^{210}\text{Pb}$  (Swarzenski, 2014). Esta recomendação se torna ainda mais importante neste caso (baseado em atividades totais de  $^{210}\text{Pb}$ ), por exemplo, utilizando-se outros radioisótopos, como o  $^{137}\text{Cs}$ , que possui meia-vida de 30.2 anos (Swarzenski, 2014).

## 6 - CONCLUSÕES

Os 44 testemunhos disponibilizados continham atividades de  $^{210}\text{Pb}$  predominantemente abaixo dos limites da sensibilidade analítica, ocorrendo somente 13 testemunhos que apresentaram sequências contínuas de atividades de  $^{210}\text{Pb}$  detectadas. A metodologia indicada como tendo sido utilizada gera atividades totais de  $^{210}\text{Pb}$ , e não as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  denominadas como “em excesso”, que seriam as adequadas para estimar datações. Limitações da metodologia aplicada e fortes variações dos resultados detectados não sustentam uma estimativa realmente segura de datações, sem que haja uma confirmação (por exemplo, por outro indicador além do  $^{210}\text{Pb}$ ). Houve frequente evidência de eventos erosivos e/ou outras mudanças no regime de sedimentação. Desta forma, as chances de obtenção de taxas de sedimentação apontadas neste documento requerem cautela, mas indicam que existe possibilidade de uso de pelo menos dois perfis obtidos, especificamente LAL-01 e LJP-03, após normalização pelo Al. Pontos localizados em lagoas apresentaram maiores chances de possibilitarem estimativas de datação.

Com base nas ressalvas apresentadas no corpo deste relatório, fez-se estimativas de datação para as duas amostras avaliadas, LAL-01 e LJP-03. Estas estimativas baseadas em atividades totais de  $^{210}\text{Pb}$ , e não as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  denominadas como “em excesso”, que seriam as adequadas, servem como uma primeira aproximação a ser balizada por futuros resultados (campanha do segundo semestre de 2018) ou outro método independente de datação (por exemplo, por outro radioisótopo além do  $^{210}\text{Pb}$ ). Assumindo-se que resultados obtidos indicam haver preservação do registro sedimentar, os resultados das razões  $^{210}\text{Pb}/\text{Al}$  (em Ln) dos perfis LAL-01 e LJP-03 apresentaram correlações elevadas com a profundidade ( $R^2 = 0.93$  e  $0.97$ , respectivamente), nas camadas superiores dos perfis. Isto sugere consistência com o método CIC. Desta forma, foram estimadas taxas de sedimentação de 0.15 cm/ano para o perfil LAL-01 e de 0.39 cm/ano para o perfil LJP-03, que possibilitam estimativas de datações das camadas usadas para os cálculos pelo método CIC. No perfil LJP-03, os 10 cm de profundidade correspondem ao início da década de

1950, enquanto os 20 cm de profundidade do perfil LJP-03 correspondem a meados da década 1960, mas extrapolações das datações para maiores profundidades não seriam consistentes nestes casos avaliados.

## REFERÊNCIAS

Appleby, P.G. & F. Oldfield, 1978. The calculation of  $^{210}\text{Pb}$  b dates assuming a constant rate of supply of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  to the sediment. *Catena*, v. 5, p. 1-8.

Appleby, P.G., 2000. Paleolimnology and ecosystem dynamics at remote European Alpine lakes. *Limnol.*, v. 59 (Suppl. 1), p.1-14.

Appleby, P.G., 2001. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M. and Smol, J.P. (Editors). *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*. Kluwer Academic, p. 171-203.

Appleby, P.G., 2008. Three decades of dating recent sediments by fallout radionuclides: a review. *The Holocene*, v. 18, p. 83-93.

Baskaran, M., Nix, J., Kuyper, C. & N. Karunakara, 2014. Problems with the dating of sediment core using excess  $^{210}\text{Pb}$  in a freshwater system impacted by large scale watershed changes. *J. Environ. Radioact.*, v. 138, p. 355-363.

Bezerra, M.A.O., Mozeto, A.A., 2008. Deposição de carbono orgânico na planície de inundação do Rio Paraguai durante o holoceno médio. *Oecologia Brasiliensis*, v. 12, p. 155-171.

Cundy, A.B. & I.W. Croudace, 1996. Sediment accretion and recent sea-level rise in the Solent, southern England: inferences from radiometric and geochemical studies. *Est. Coastal Shelf Sci.*, v. 43, p. 449-467.

Flynn, W.W., 1968. The determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. *Analytica Chimica Acta*, v. 43, p. 221-227.

Gioia, S.M., Pimentel, M.M., Tessler, M., Dantas, E.L., Campos, J.E., Guimarães, E.M., Maruoka, M.T., Nascimento, E.L., 2006. Sources of anthropogenic lead in sediments from an artificial lake in Brasília-central Brazil. *Science of Total Environment*, v. 356, p. 125-42.

Godoy, J.M., Padovani, C.R., Pereira, J.C.A., Vieira, L.M., Galdino, S., 1998. Aplicabilidade da Geocronologia de Deposição de Sedimentos com Pb-210 como Ferramenta na Avaliação do Assoreamento do Rio Taquari, Pantanal, MS. *Geochimica Brasiliensis*, v. 12, p. 113-121.

Godoy, J.M., Oliveira, A.V., Almeida, A.C., Godoy, M.L.D.P., Moreira, I., Wagener, A.R. & A.G. Figueiredo Junior, 2012. Guanabara Bay sedimentation rates based on 210Pb dating: reviewing the existing data and adding new data. *J. Braz. Chem. Soc.*, v. 23, 7, p. 1265-1273.

Loureiro, D.D., Fernandez, M.A., Herms, F.W., Lacerda, L.D. 2009. Heavy metal inputs evolution to an urban hypertrophic coastal lagoon, Rodrigo de Freitas Lagoon, Rio De Janeiro, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 159, p. 577-588.

Machado, W., Luiz-Silva, W., Sanders, C. & S. Patchineelam, 2008. Coupled anthropogenic anomalies of radionuclides and major elements in estuarine sediments. *J. Environ. Radioact.*, v. 99, p. 1329-1334.

Monteiro, F.F., Cordeiro, R.C., Santelli, R.E., Machado, W., Evangelista, H., Villar, L.S., Viana, L.C.A. & E.D. Bidone, 2012. Sedimentary geochemical record of historical anthropogenic activities affecting Guanabara Bay (Brazil) environmental quality. *Environ. Earth Sci.*, v. 65, p. 1661-1669.

Reinikainen, P., Meriläinen, J. J., Virtanen, A., Veijola, H. & J. Aysto, 1997. Accuracy of  $^{210}\text{Pb}$  dating in two annually laminated lake sediments with high  $^{137}\text{Cs}$  background. Applied Radiation and Isotopes, v. 48, p.1009-1019.

Swarzenski, P.W., 2014.  $^{210}\text{Pb}$  dating. In: Encyclopedia of Scientific Dating Methods. Springer, Dordrecht, p. 1-11.