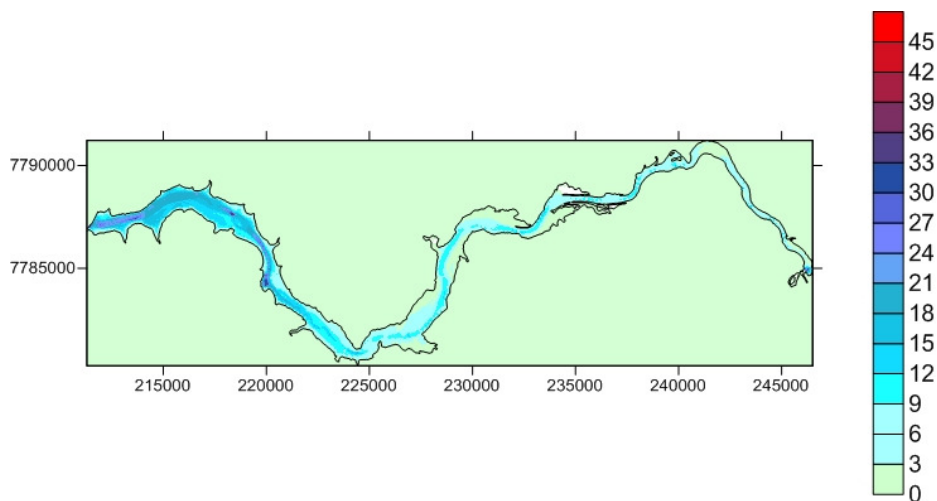
 <p>ICATU MEIO AMBIENTE LTDA.</p>	Icatu Meio Ambiente Ltda.	Versão
	Limnologia e Batimetria do Reservatório da UHE de Igarapava	15-09-2012 Revisão 000

ESTUDOS BATIMÉTRICOS E LIMNOLÓGICOS NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDROELÉTRICA DE IGARAPAVA (USINA).

CONTRATO 013-12 – Consórcio da Usina Hidroelétrica de Igarapava



BELO HORIZONTE, MG

SETEMBRO/2012

## I. Resumo

O presente estudo traz uma consolidação e uma avaliação de estudos batimétricos anteriores realizados na represa de Igarapava, respectivamente, nos anos de 2009 e 2011. A partir de uma calibração e georeferenciamento mais preciso da orla da represa, foi feita uma nova carta batimétrica; foram recalculados diversos parâmetros morfométricos primários e secundários. Ao contrário do que foi anteriormente apresentado, o presente estudo mostra que houve uma redução do volume da represa entre os anos de 2009 e 2011. Esse estudo ainda traz uma carta onde estão identificadas as regiões mais afetadas pelo processo do assoreamento.

A segunda parte do presente estudo refere-se a um monitoramento intensivo do reservatório, baseado em 30 pontos estrategicamente localizados de modo a cobrir todas as regiões do lago bem como as regiões de influência dos tributários mais importantes. As variáveis selecionadas identificaram duas regiões mais afetadas com a qualidade de água mais comprometida e que se sobrepõem muito bem como os principais focos de assoreamento. As variáveis que estão associadas à penetração de luz na coluna de água, tais como a transparência, a turbidez, os sólidos em suspensão e os coeficientes de extinção da radiação solar (PAR e UV) foram muito importantes para demarcar e comprovar as áreas que estão sofrendo com o assoreamento.

Embora a qualidade geral da água da represa de Igarapava possa ser qualificada como sendo muito boa (condições típicas de um lago ainda oligotrófico), já existem sinais claros de um incipiente processo de eutrofização em algumas regiões do reservatório. Nesse sentido, os padrões espaciais apresentados por variáveis tais como o fósforo total, o nitrogênio total, nitratos, clorofila-a, DBO e DQO foram muito importantes para corroborar essa hipótese.

## II. Índice

1. Introdução.....	4
2. Objetivos do trabalho.....	7
3. Metodologia .....	10
3.1 - CONSOLIDAÇÃO DA CARTA BATIMÉTRICA E REVISÃO DAS ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS.....	10
3.2. CONFECÇÃO DO SHAPE .....	10
3.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	10
3.2.2. SELEÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE.....	11
3.2.3 Pontos de Controle no Entorno do Reservatório de Igarapava.....	11
3.2.4 GEORREFERENCIAMENTO DA IMAGEM .....	49
3.2.5 - VETORIZAÇÃO DO ESPELHO D'ÁGUA.....	51
3.3. CONFECÇÃO DA CARTA BATIMÉTRICA.....	53
3.3.1. DIFERENÇAS DE COTAS ALTIMÉTRICAS .....	54
3.3.2. ARQUIVO XYZ .....	54
3.3.3. GERAÇÃO DO ARQUIVO GRID .....	55
3.3.4 CÁLCULO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS SECUNDÁRIOS....	55
3.4 Estudos limnológicos.....	57
4. Resultados.....	63
4.1 - Morfometria e Batimetria .....	63
4.1.1 Comparação Morfométrica.....	67
4.2 ESTUDOS LIMNOLÓGICOS.....	71
4.2.1- LIMNOLOGIA: PADRÕES VERTICAIS NA COLUNA D'ÁGUA RADIAÇÃO SOLAR (PAR E UV) .....	77
4.2.2 - PADRÕES VERTICAIS DAS DEMAIS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS ....	110
4.2.3 – Padrões Horizontais das variáveis limnológicas.....	141
5. Conclusões e Recomendações.....	158
6. Bibliografia.....	159
7. Equipe Técnica.....	160

## 1. Introdução

Os reservatórios são “ecossistemas artificiais” profundamente afetados pelas diferentes atividades humanas que ocorrem tanto dentro do reservatório, quanto por atividades junto à orla, ou mesmo outros processos em locais mais afastados, mas ainda dentro de suas respectivas bacias de captação. Segundo o Prof. José Galizia Tundisi (Tundisi & Tundisi, 2008), os reservatórios são sistemas que apresentam um amplo espectro e interações com suas respectivas bacias hidrográficas. Essas interações se refletem em vários processos ecológicos que geralmente podem ser mensurados quantitativamente tanto na biota quanto no substrato físico do reservatório. Portanto, os reservatórios podem ser vistos como grandes “coletores de eventos”.

Os usos múltiplos da água acumulada nos reservatórios e as diferentes formas de usos do solo nas bacias contribuintes ao reservatório causam, em geral, mudanças e alterações nos padrões espaço-temporais da qualidade de água. É evidente que a conservação e gestão correta desses sistemas requer, numa primeira linha, a identificação dos principais problemas existentes (Fig. 01).



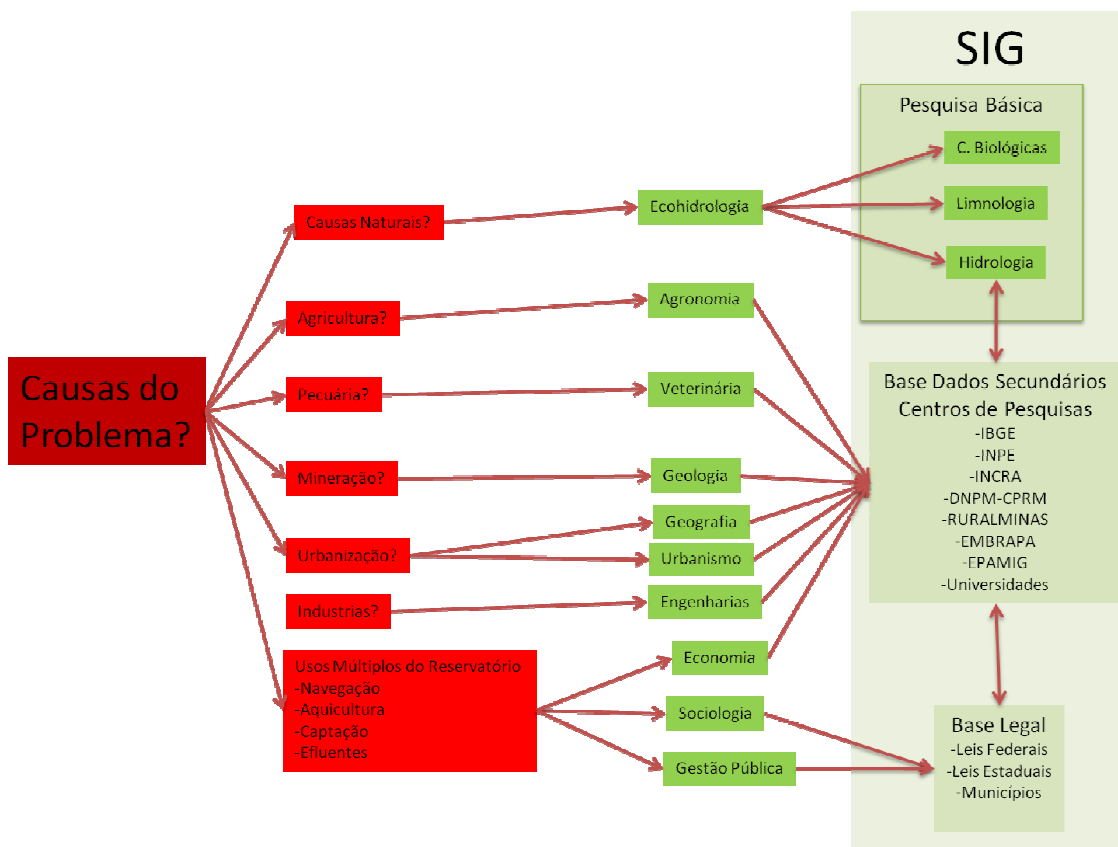


Fig. 01 – Causas dos problemas ambientais em grandes reservatórios e suas relações com o conhecimento científico. Uma forma de integrar todo esse conhecimento é através do uso dos sistemas de informação geográfica que podem ser alimentados tanto a partir de bases de dados secundários, quanto a partir de dados primários.

A compreensão dos mecanismos de funcionamento dos reservatórios e de sua grande complexidade espaço-temporal impõe uma abordagem integrada de observação, mensuração, experimentação além do acesso à múltiplas fontes de dados secundários (Fig. 01). A articulação de todas essas dimensões (acadêmica, gestão pública, agentes econômicos, sociedade) é a base do que se chama hoje de gestão integrada dos reservatórios.

O reservatório da UHE de Igarapava, localiza-se no médio rio Grande, e faz parte da “cascata de reservatórios” que divide o estado de Minas Gerais e São Paulo (Fig. 02).



Fig. 02 – “Cascata de Reservatórios” do rio Grande, MG-SP.

Trata-se de um reservatório considerado de médio porte, segundo a classificação de Straskraba & Tundisi (1999), pois tem uma área inundada entre 100 - 10.000 km<sup>2</sup> (área de Igarapava = 32 km<sup>2</sup>, segundo a estimativa da MicroArs, ver adiante) e um volume acumulado inferior entre 10<sup>8</sup> e 10<sup>10</sup> m<sup>3</sup> (volume de Igarapava = 2,5 x 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>).

Apesar de suas dimensões consideradas como sendo típicas de um sistema de médio porte, trata-se de um reservatório raso, já que possui uma profundidade média de apenas 7,8 a 8,6 metros, dependendo da estimativa considerada (Tab. 01). Considerando essas características morfométricas e, principalmente a baixa profundidade média do lago, é altamente recomendável identificar, quantificar e interpretar o significado ambiental de todos os fatores que possam eventualmente contribuir para o assoreamento do sistema.

## 2. Objetivos do trabalho

O primeiro objetivo do presente trabalho refere-se a uma consolidação e reavaliação dos serviços de levantamento batimétrico e das estimativas de volume e demais “índices morfométricos” (Tab. 01) do Reservatório de Igarapava, realizados pela empresa MICROARS (Contrato 011-2011, de Julho de 2011), bem como uma nova comparação com os dados de um outro levantamento batimétrico realizado em 2009.

Tab. 01 – Parâmetros morfométricos estimados pelo contrato 011-2011 (MICROARS) baseados em levantamento batimétrico realizado em julho-2011. Cota de referência: 512,5m.

Parâmetro	Valores 2011	Valores 2009 (corrigidos)
Área do extrato superior (Ao)	32.018.488,86 m <sup>2</sup>	31.974.269,04 m <sup>2</sup>
Perímetro (Lo)	105,63 km	105,63 km
Comprimento máximo	48.129 m	48.129 m
Largura máxima	1.921 m	1.921m
Curva Hipsográfica	Volumes por cotas (470-510)	Volumes por cotas (470-510)
Volume acumulado (curva hipsográfica)	275.763.902,54 m <sup>3</sup>	251.818.080,60 m <sup>3</sup>
Volume (modelo digital)	277.257.501,69 m <sup>3</sup>	251.237.248,90 m <sup>3</sup>
Cota máxima (C <sub>max</sub> )	511,51m	511,51 m
Cota média (C <sub>med</sub> )	460,27m	461,07 m
Cota mínima (C <sub>min</sub> )	468,93m	468,93 m
Cota de referência (C <sub>ref</sub> )	512,50 m	512,50 m
Profundidade média (Z <sub>med</sub> )	8,66m	7,86 m
Profundidade máxima (Z <sub>max</sub> )	43,57m	43,57 m
Profundidade relativa (Z <sub>r</sub> )	0,68%	0,68%
Desenvolvimento de Volume (DV)	0,59625	0,54104
Desenvolvimento de perímetro (DL)	0,0053	0,0053

O segundo objetivo do presente trabalho é realizar um monitoramento intensivo (30 pontos) em todo o reservatório, utilizando diferentes variáveis limnológicas visando a obtenção de um quadro geral da qualidade de água durante a estação seca, quando os padrões espaciais teoricamente são mais estáveis.

Finalmente, o terceiro objetivo é o de associar as características morfométricas (reavaliadas) do reservatório de Igarapava (objetivo 1) com as características de qualidade de água (objetivo 2), com particular ênfase nas características físico-químicas associadas às partículas em suspensão na coluna d'água.

A integração entre os três objetivos acima visa a uma melhor percepção dos eventuais problemas ambientais existentes no reservatório, conforme o que está descrito na figura abaixo (Fig. 03).

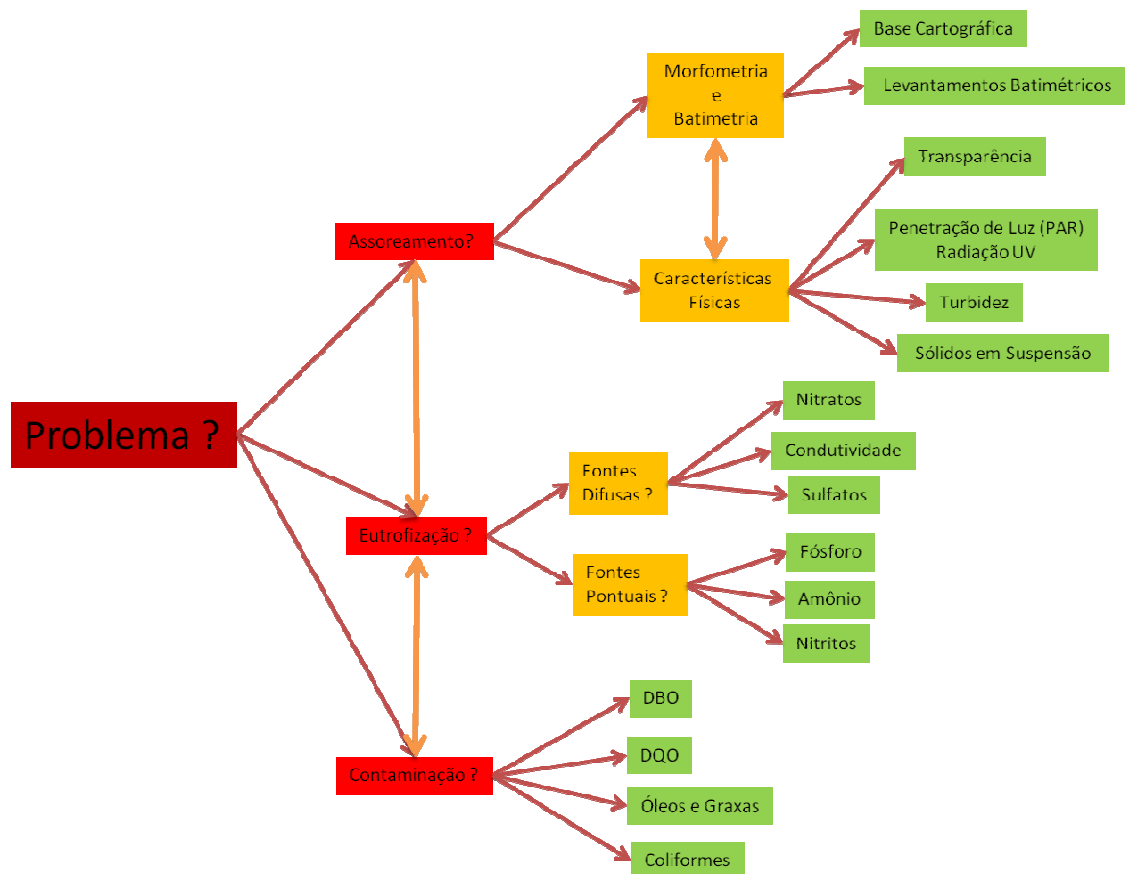


Fig. 03 - Estratégia de escolha de variáveis tradicionalmente usadas em programas de monitoramento ambiental e suas possíveis relações com problemas ambientais que possam estar afetando a estrutura ecológica do reservatório de Igarapava (MG-SP).

O presente estudo procura responder a quatro perguntas:

- (a) Existe assoreamento no sistema? E no caso dessa pergunta ser positiva, quais as áreas onde o processo é mais intenso?
- (b) O reservatório, apesar de sua boa qualidade de água, está sendo ameaçado por um processo de eutrofização?
- (c) Existem indicativos de contaminação por fontes pontuais associadas a entrada de efluentes domésticos ou não domésticos no sistema?
- (d) Quais são as relações entre as três primeiras perguntas?

### **3. Metodologia**

#### **3.1 - CONSOLIDAÇÃO DA CARTA BATIMÉTRICA E REVISÃO DAS ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS.**

Para uma melhor interpretação dos inventários batimétricos, foi necessário realizar uma consolidação da base cartográfica usada para extrair o *shape file* da orla da represa. Para isso, foi realizada uma coleta de uma série de pontos-controle com precisão submétrica que foram posteriormente usados para se calibrar uma imagem que contenha a orla da represa. Dessa maneira, utilizou-se D-GPS GTR-A® (TechGeo Ltda) em regiões previamente escolhidas e de fácil acesso, e que pudessem ser facilmente localizáveis a partir das imagens selecionadas.

No laboratório, após os dados do D-GPS terem sido descarregados no computador utilizando o programa Util®, realizou-se o pós-processamento. Para isso, foi utilizado o programa *Ezsurv* versão 2.2 da VIASAT® aproveitando como estação base os dados da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) via serviço FTP. As coordenadas corrigidas dos pontos controle são utilizadas para calibração das imagens de satélites previamente selecionadas.

#### **3.2. CONFECÇÃO DO SHAPE**

##### **3.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

O passo seguinte refere-se à definição de qual sensor foi empregado. Esta definição considerou a extensão territorial do reservatório. Pelas dimensões a serem consideradas, o trabalho foi feito empregando imagens entre as escalas 1:50.000 à 1:25.000 (escalas regionais). A seleção da imagem apropriada foi feita observando, sempre que possível, a cota altimétrica usada nos dias dos levantamentos batimétricos (de forma que a cota do dia da imagem seja a mais próxima da cota altimétrica do dia da coleta batimétrica) e na qualidade da imagem. Esse procedimento é muito importante para que as estimativas de volume do reservatório sejam mais precisas.

Para a elaboração do limite do espelho d'água da represa de Igarapava, foram trabalhadas três datas distintas: duas referentes a levantamentos batimétricos já

realizados no local (um realizado no período de 05 a 11/06/2011 e outro em setembro de 2009) e um referente à data de levantamento dos pontos de controle para o georreferenciamento das imagens (03/08/2012).

### **3.2.2. SELEÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE**

Inicialmente foram levantadas as Imagens CBERS, LANDSAT e LISS disponíveis para as datas trabalhadas disponibilizadas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), a fim de se buscar a melhor resolução espacial. Banda PAN, com resolução espacial: não foram detectadas imagens CBERS. As imagens disponíveis foram as LANDSAT 5, para os levantamentos mais antigos (27/07/2009 e 15/06/2011) e a imagem LISS (03/08/2012). Assim, foram levantadas as Imagem LandSat 5, disponibilizadas pelo INPE, com resolução espacial de 30 m. Foi feito um primeiro reconhecimento visual da área de estudo na imagem a fim de detectar se seria possível, a partir desta, obter todas as informações necessárias ao projeto. Constatada a viabilidade, decidiu-se optar por estas.

Foram obtidas as imagens LANDSAT\_5\_TM, pertencente a órbita 220 ponto 074. (27/07/2009 e 15/06/2011), procedeu-se a elaboração da composição colorida, que facilitaria os trabalhos sobre a imagem para toda a equipe. Assim foi elaborada a Composição RGB-345 das imagens. Também foi obtida do INPE imagem do Satélite IRS-P6, Sensor LISS-III, com resolução espacial de 23,5 m. Esta também foi avaliada visualmente antes do seu emprego. Para a imagem LISS também foi elaborada a Composição RGB-345 das bandas.

### **3.2.3 Pontos de Controle no Entorno do Reservatório de Igarapava**

Entre os dias 7 e 9 de agosto de 2012, as coordenadas geográficas de 33 pontos controle foram obtidas com o D-GPS. Os locais exatos desses pontos foram previamente identificados nas imagens de satélites disponíveis no LGAR. Levou-se em consideração a nitidez da imagem, a facilidade de reconhecimento do ponto no campo e a baixa possibilidade de haver trocas ou equívocos. Procurou-se dar prioridade por locais abertos, sem vegetação, preferencialmente trevos, praças públicas, pontes e similares. A localização desses pontos em relação ao reservatório de Igarapava pode ser vista na figura Fig. 04. A descrição completa de cada ponto bem como a foto do local e as suas coordenadas geográficas obtidas, tanto com o D-GPS quanto aquelas

adquiridas com o GPS integrado à máquina fotográfica SONY, podem ser vistas no ítem 3.2.3.1.

Nem todos os pontos de controle demarcados puderam ser utilizados. Isso pode ser devido a vários fatores, tais como: (a) mudanças que ocorreram nos locais como pequenas reformas, etc; (b) erros no processo de aquisição dos dados; (c) imprecisões na imagem de satélite, dentre outros.



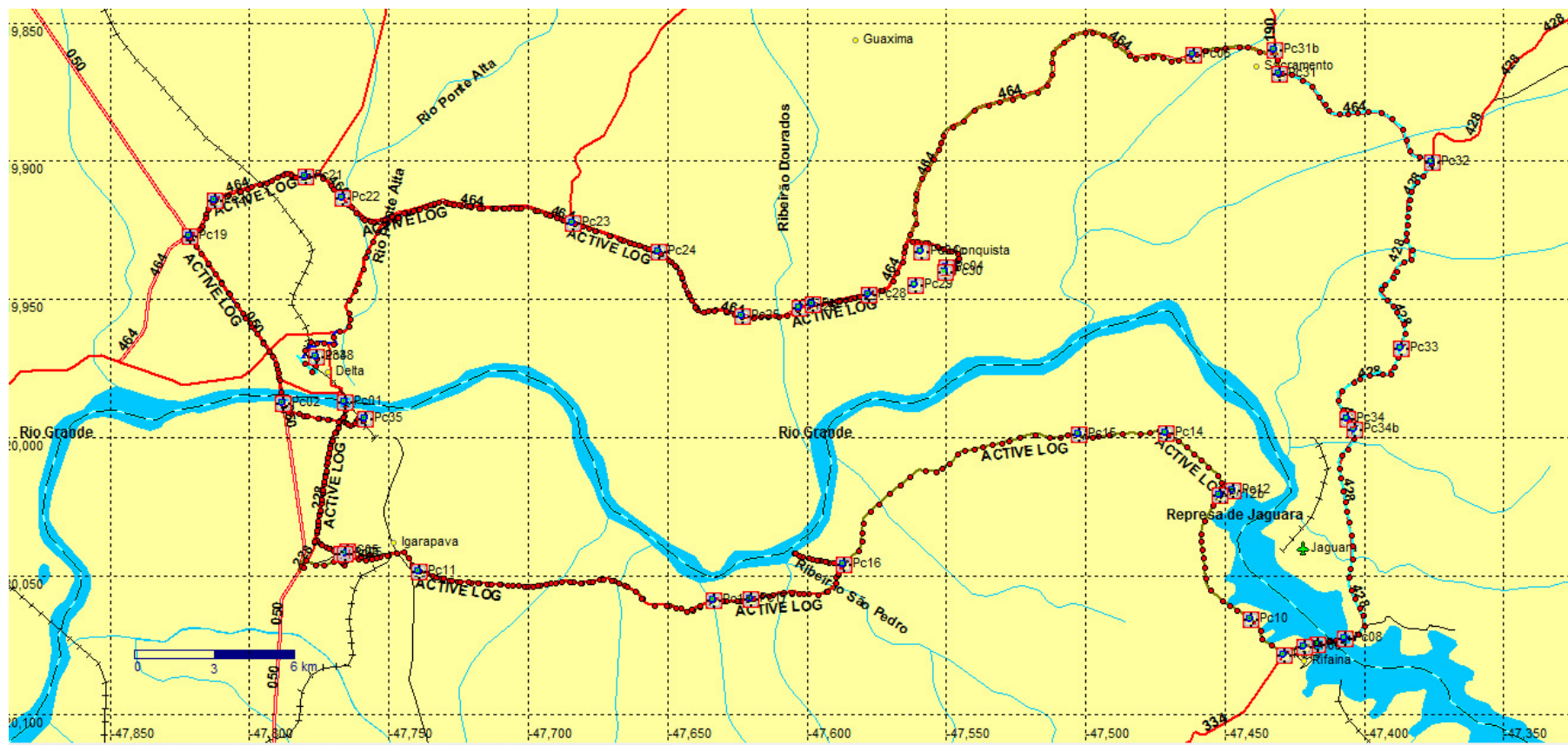


Fig. 04 – Trajeto percorrido entre os dias 7, 8 e 9 de agosto de 2012 na demarcação dos pontos-controle no entorno do reservatório de Igarapava.

### 3.2.3.1 DESCRIÇÃO DOS PONTOS-CONTROLE

#### 1. Ponto-controle 35

<b>PC 35</b>	Latitude	19° 59' 35,917''			Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.	
	Longitude	47°45' 31,336''				
<b>PC 35</b>	<b>LAT</b>			<b>LONG</b>		
	19	59,59994	S	47	45,52287	W
	<b>Média</b>	<b>59,59994</b>		<b>47</b>	<b>45,52287</b>	



Fig. 05 – Grade amarela junto à barragem da UHE Igarapava. Data de aquisição: 07/08/2012; hora: 09:57 h.



2. Ponto-controle 01

<b>PC 01</b>	Latitude	19° 59' 13,539''			Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.	
	Longitude	47° 45' 56,234''				
<b>PC01</b>	<b>LAT</b>			<b>LONG</b>		
	19	59,22262	S	47	45,93691	W
	19	59,22259		47	45,93702	
	19	59,22256		47	45,93714	
	<b>Média</b>	<b>59,22259</b>		<b>47</b>	<b>45,93702</b>	



Fig. 06 – Ponte velha sobre o rio Grande, do lado paulista, lado direito para quem vai para Minas Gerais. Data de aquisição: 07/08/2012; hora: 10:21 h.

### 3. Ponto-controle 36

<b>PC 36</b>	Latitude	19° 58' 59,2680		Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 45' 59,0280				
<b>PC36</b>	<b>LAT</b>			<b>LONG</b>		
	19	58,99466	S	47	45,98270	W
	19	58,99447		47	45,98272	
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>58,99457</b>		<b>47</b>	<b>45,98271</b>	



Fig. 07 – Trevo de acesso à ponte velha (ferroviária) sobre o rio Grande, do lado de MG. Data de aquisição: 07/08/2012; hora: 10:41 h.



4. Ponto-controle 37

<b>PC 37</b>	Latitude	20° 02' 11,3120''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 46' 33,8290''			
<b>PC37</b>	<b>LAT</b>			<b>LONG</b>	
	20	2,18711		47	46,56096
	20	2,18739		47	46,56095
	20	2,18739		47	46,56098
<b>Media</b>	<b>20</b>	<b>2,18730</b>		<b>47</b>	<b>46,56096</b>



Fig. 08 – Trevo de acesso à cidade de Igarapava para quem vem da antiga estrada que dá acesso a ponte velha e a usina UHE Igarapava. Data de aquisição: 07/08/2012; hora: 11:09 h.

5. Ponto-controle 03

<b>PC 03</b>	Latitude	20° 02' 30,4550''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 46' 0,8010''			
<b>PC03</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	20	2,51729	47		46,00658
	20	2,71773	47		46,00674
	20	2,51765	47		46,00651
	20	2,51776	47		46,00676
	20	2,51777	47		46,00664
	20	2,51776	47		46,00660
	20	2,51767	47		46,00661
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>2,54623</b>	<b>47</b>		<b>46,00663</b>



Fig. 09 – Trevo dentro da cidade de Igarapava, próximo a estação rodoviária. Lado de quem sai da cidade. Data de aquisição: 07/08/2012; Hora: 11:30 h.

6. Ponto-controle 05

<b>PC 05</b>	Latitude	20° 02' 26,8080''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.
	Longitude	47° 45' 53,9120''	

PC 05	LAT		LONG	
	20	2,49520	47	45,89773
	20	2,44943	47	45,89771
	20	2,44933	47	45,89774
	20	2,44801	47	45,89715
	20	2,44826	47	45,89689
	20	2,44833	47	45,89705
	20	2,44836	47	45,89715
	20	2,44840	47	45,89721
	20	2,44792	47	45,89725
	20	2,44828	47	45,89775
	20	2,44840	47	45,89779
	20	2,44840	47	45,89779
	20	2,44841	47	45,89782
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>2,45206</b>	<b>47</b>	<b>45,89746</b>



Fig. 10 – Pequena praça na cidade de Igarapava, bem próximo ao trevo da figura anterior. Data de aquisição: 07/08/2012; hora: 11:57h.



7. Ponto-controle 02

<b>PC 02</b>	Latitude	19° 59' 15,5510''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 47' 15,6130''			
<b>PC02</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	19	59,25242	47		47,26488
	19	59,25245	47		47,26487
	19	59,25246	47		47,26486
	19	59,25247	47		47,26484
	19	59,25247	47		47,26477
	19	59,25250	47		47,26478
	19	59,25247	47		47,26481
	19	49,25246	47		47,26480
	19	59,25248	47		47,26487
	19	59,25249	47		47,26486
	19	59,25251	47		47,26488
	19	59,25248	47		47,26487
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>58,41914</b>	<b>47</b>		<b>47,26484</b>



Fig. 11 – Ponte sobre o rio Grande, na BR 050 (autoestrada), do lado paulista. Data de aquisição: 07/08/12; hora: 12:57 h.



8. Ponto-controle 38

<b>PC 38</b>	Latitude	19° 58' 13,4440''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 46' 33,1099''			
<b>PC38</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	19	58,22300	47		46,55781
	19	58,22276	47		46,55759
	19	58,22279	47		46,55757
	19	58,22280	47		46,55756
	19	58,22303	47		46,55780
	19	58,22302	47		46,55780
	19	58,22303	47		46,55778
	19	58,22308	47		46,55780
	19	58,22315	47		46,55781
	19	58,22315	47		46,55780
	19	58,22316	47		46,55782
	19	58,22319	47		46,55784
	19	58,22321	47		46,55784
	19	58,22334	47		46,55790
	19	58,22333	47		46,55787
	19	58,22329	47		46,55782
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>58,22308</b>	<b>47</b>		<b>46,55778</b>



Fig. 12 – Delta, Praça próximo à Igreja. Data de aquisição: 07/08/2012;hora: 13:25 h.

9. Ponto-controle 39

<b>PC 39</b>	Latitude	19° 55' 13,1420''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.
	Longitude	47° 44' 48,0540''	

<b>PC 39</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>	
	19	55,22072	47	44,80130
	19	55,22071	47	44,80129
	19	55,22067	47	44,80130
	19	55,22047	47	44,80110
	19	55,22046	47	44,80112
	19	55,22009	47	44,80111
	19	55,22008	47	44,80112
	19	55,22044	47	44,80134
	19	55,21994	47	44,80115
	19	55,21997	47	44,80115
	19	55,22037	47	44,80139
	19	55,22039	47	44,80137
	19	55,22039	47	44,80135
	19	55,22038	47	4,80125
	19	55,22044	47	44,80133
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>55,22037</b>	<b>47</b>	<b>42,13458</b>



Fig. 13 - Trevo Jubaí-Conquista, na estrada vindo de Delta (MG) pouco antes da BR 464. Data de aquisição: 07/08/2012; hora: 14:10 h.

10. Ponto-controle 23

<b>PC 23</b>	Latitude	19° 55' 21,1990''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 41' 02,5060''			
<b>PC 23</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	<b>19</b>	<b>55,34696</b>	<b>47</b>	<b>41,02574</b>	
	19	55,34695	47	41,02573	
	19	55,34697	47	41,02573	
	19	55,34697	47	41,02573	
	19	55,34697	47	41,02573	
	19	55,34696	47	41,02573	
	19	55,34695	47	41,02573	
	19	55,34695	47	41,02571	
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>55,34696</b>	<b>47</b>	<b>41,02573</b>	



Fig. 14 – Trevo BR 464, com árvore no meio canteiro central. Data de aquisição: 07/08/2012; hora: n. d.



11. Ponto-controle 25

<b>PC 25</b>	Latitude	19° 57' 22,2460''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.
	Longitude	47° 37' 23,2510''	

<b>PC 25</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>	
	19	57,37216	47	37,38142
	19	57,37217	47	7,38143
	19	57,37219	47	37,38146
	19	57,37218	47	37,38147
	19	57,37219	47	37,38147
	19	57,37217	47	37,38145
	19	57,37217	47	37,38147
	19	57,37212	47	37,38146
	19	57,37211	47	37,38144
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>57,37216</b>	<b>47</b>	<b>34,04812</b>



Fig. 15 - Trevo da Usina Conquista na BR 464, antes da cidade do mesmo nome. Data de aquisição: 07/08/2012; hora: 14:48 h.

12. Ponto-controle 16

<b>PC 16</b>	Latitude	20° 02' 44,4380''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 35' 12,3360''			
<b>PC 16</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	20	2,74745	47		35,21155
	20	2,74743	47		35,21153
	20	2,74742	47		35,21154
	20	2,74741	47		35,21154
	20	2,74739	47		35,21157
	20	2,74751	47		35,21123
	20	2,74748	47		35,21145
	20	2,74745	47		35,21156
	20	2,74744	47		35,21159
	20	2,74746	47		35,21159
	20	2,74746	47		35,21160
	20	2,74747	47		35,21164
	20	2,74746	47		35,21165
	20	2,74747	47		35,21166
	20	2,74747	47		35,21167
	20	2,74748	47		35,21167
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>2,74745</b>	<b>47</b>		<b>35,21157</b>



Fig 16 – Trevo para o Porto de Areia, na estrada intermunicipal Igarapava (SP) – Rifaina (SP). Data de aquisição: 08/08/2012; hora: 08:55 h.

13. Ponto-controle 15

<b>PC 15</b>	Latitude	19° 59' 54,8240''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.
	Longitude	47° 30' 09,1610''	

<b>PC 15</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>	
	19	59,90884	47	30,15208
	19	59,90883	47	30,15207
	19	59,90882	47	30,15210
	19	59,90880	47	30,15213
	19	59,90877	47	30,15211
	19	59,90875	47	30,15213
	19	59,90877	47	30,15213
	19	59,90870	47	30,15215
	19	59,90867	47	30,15215
	19	59,90863	47	30,15214
	19	59,90862	47	30,15212
	19	59,90821	47	30,15195
	19	59,90826	47	30,15196
	19	59,90821	47	30,15197
	19	59,90822	47	30,15197
	19	59,90820	47	30,15199
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>59,90858</b>	<b>47</b>	<b>30,15207</b>



Fig. 17 – Porteira metálica azul na estrada intermunicipal Igarapava-Rifaina (SP). Data de aquisição: 08/08/2012; hora: 09:23 h.



14. Ponto-controle 14

<b>PC 14</b>	Latitude	19° 59' 54,0150''	Câmara Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 28' 16,4580''			
<b>PC14</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	19	59,89317	47		28,27447
	19	59,89318	47		28,27446
	19	59,89319	47		28,27448
	19	59,89320	47		28,27448
	19	59,89322	47		28,27449
	19	9,89323	47		28,27449
	19	59,89324	47		28,27449
	19	59,89326	47		28,27449
	19	59,89326	47		28,27450
	19	59,89325	47		28,27451
	19	59,89327	47		28,27450
	19	59,89328	47		28,27451
	19	59,89328	47		28,27449
	19	59,89330	47		28,27450
	19	59,89332	47		28,27451
	19	59,89331	47		28,27449
	19	59,89332	47		28,27450
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>56,95208</b>	<b>47</b>		<b>28,27449</b>



Fig 18 - Fazenda Sta. Luzia com linda buganville vermelha junto a placa de identificação da propriedade. Data de aquisição: 08/08/2012; hora: 09:39 h.

15. Ponto-controle 12B

<b>PC 12B</b>	Latitude	20° 01' 13,6390''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.	
	Longitude	47° 27' 07,0920''		

PC12B	LAT		LONG	
	20	1,23608	47	27,11011
	20	1,23608	47	27,11015
	20	1,23608	47	27,11017
	20	1,23614	47	27,11021
	20	1,23613	47	27,11019
	20	1,23590	47	27,10997
	20	1,23591	47	27,10997
	20	1,23596	47	27,10996
	20	1,23597	47	27,10994
	20	1,23599	47	27,10995
	20	1,23600	47	27,10992
	20	1,23602	47	27,10994
	20	1,23602	47	27,10991
	20	1,23592	47	27,11036
	20	1,23585	47	27,11050
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>1,23600</b>	<b>47</b>	<b>27,11008</b>



Fig. 19 – Entrada para o condomínio Águas de Jaguará, na estrada intermunicipal Igarapava (SP) – Rifaina (SP). Data de aquisição: 08/08/2012; hora: 09:56 h.



16. ponto-controle 12

<b>PC 12</b>	Latitude	20° 01' 08,3360''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 26' 51,9470''			
<b>PC12</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	20	1,13965	47		26,86092
	20	1,13966	47		26,86094
	20	1,13957	47		26,86099
	20	1,13956	47		26,86099
	20	1,13944	47		26,86060
	20	1,13944	47		26,86054
	20	1,13944	47		26,86051
	20	1,13944	47		26,86049
	20	1,13946	47		26,86047
	20	1,13949	47		26,86045
	20	1,13952	47		26,86045
	20	1,13952	47		26,86044
	20	1,13953	47		26,86042
	20	1,13954	47		26,86041
	20	1,13957	47		26,86040
	20	1,13960	47		26,86041
	20	1,13964	47		26,86043
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>1,13953</b>	<b>47</b>		<b>26,86058</b>



Fig. 20 – Entrada do condomínio Mangueiras, junto a portaria, após percorrer uma estrada arborizada que dá acesso ao condomínio a partir da na estrada intermunicipal Igarapava (SP) – Rifaina (SP). Data de aquisição: 08/08/2012; hora: 10:10 h.

17. Ponto-controle 10

<b>PC 10</b>	Latitude	20° 03' 55,8870''	Câmara Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 26' 26,9280''			
<b>PC10</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	20	3,93063	47	26,43833	
	20	3,93064	47	26,43830	
	20	3,93066	47	26,43831	
	20	3,93065	47	26,43831	
	20	3,93066	47	26,43831	
	20	3,93067	47	26,43831	
	20	3,93068	47	26,43831	
	20	3,93068	47	26,43833	
	20	3,93067	47	26,43835	
	20	3,93066	47	26,43840	
	20	3,93042	47	26,43865	
	20	3,93059	47	26,43845	
	20	3,93063	47	26,43840	
	20	3,93031	47	26,43871	
	20	3,93029	47	26,43871	
	20	3,93028	47	26,43870	
	20	3,93048	47	26,43845	
	20	3,93055	47	26,43843	
	20	3,93078	47	26,43855	
	20	3,93051	47	26,43847	
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>3,93057</b>	<b>47</b>	<b>26,43844</b>	



Fig. 21 – Portaria do condomínio “Residencial Morada da Fronteira” junto a estrada intermunicipal Igarapava (SP)- Rifaina (SP). Data de aquisição: 08/08/2012; hora: 10:36 h.

18. Ponto-controle 13

<b>PC 13</b>	Latitude	20° 04' 41,8100''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 25' 39,8650''			
<b>PC 13</b>	<b>LAT</b>			<b>LONG</b>	
	20	4,69607		47	25,61520
	20	4,69617		47	25,66154
	20	4,69608		47	25,66156
	20	4,69608		47	25,66154
	20	4,69608		47	25,66153
	20	4,69609		47	25,66152
	20	4,69610		47	25,66153
	20	4,69609		47	25,66152
	20	4,69608		47	25,66154
	20	4,69603		47	25,66157
	20	4,69594		47	25,66160
	20	4,69604		47	25,66156
	20	4,69595		47	25,66160
	20	4,69600		47	25,66152
	20	4,69606		47	25,66149
	20	4,69595		47	25,66154
	20	4,69591		47	25,66155
	20	4,69592		47	25,66154
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>4,69604</b>		<b>47</b>	<b>25,65897</b>



Fig. 22 – Portal Novo na entrada da cidade de Rifaina (SP). Data da coleta das coordenadas: 08/08/2012. Hora: 10:54 h.



19. Ponto-controle 09

<b>PC 09</b>	Latitude	20° 04' 30,9470''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.
	Longitude	47° 25' 16,3200''	

<b>PC 09</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>	
	20	4,52196	47	25,27931
	20	4,52196	47	25,27930
	20	4,52196	47	25,27928
	20	4,52197	47	25,27927
	20	4,52197	47	25,27926
	20	4,52198	47	25,27927
	20	4,52198	47	25,27926
	20	4,52198	47	25,27925
	20	4,52201	47	25,27929
	20	4,52202	47	25,27929
	20	4,52200	47	25,27929
	20	4,52201	47	25,27928
	20	4,52201	47	25,27927
	20	4,52200	47	25,27924
	20	4,52200	47	25,27926
	20	4,52203	47	25,27927
	20	4,52204	47	25,27927
	20	4,52205	47	25,27927
	20	4,52205	47	25,27925
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>4,52200</b>	<b>47</b>	<b>25,27927</b>



Fig. 23 – Trevo de acesso a cidade de Rifaina (SP) logo antes da ponte sobre o rio Grande na divisa SP-MG. Data da coleta: 08/08/2012; hora: 11:09 h.

20. Ponto-controle 07

<b>PC 07</b>	Latitude	20° 04' 28,9540''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 25' 01,5440''			
<b>PC07</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	20	4,47801	47		25,00962
	20	4,47803	47		25,00962
	20	4,47801	47		25,00958
	20	4,47795	47		25,00957
	20	4,47797	47		25,00958
	20	4,47796	47		25,00954
	20	4,47808	47		25,00951
	20	4,47812	47		25,00953
	20	4,47816	47		25,00953
	20	4,47811	47		25,00961
	20	4,47810	47		25,00963
	20	4,47810	47		25,00965
	20	4,47808	47		25,00965
	20	4,47807	47		25,00968
	20	4,47807	47		25,00973
	20	4,47808	47		25,00974
	20	4,47809	47		25,00975
	20	4,47813	47		25,00974
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>4,47806</b>	<b>47</b>		<b>25,00963</b>



Fig. 24 – Ponte rio Grande, do lado de Rifaina (SP). Data de aquisição: 08/08/12, hora: 11:25 h.

21. Ponto-controle 08

<b>PC 08</b>	Latitude	20° 04' 21,6180''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 24' 24'0130''			
<b>PC 08</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	20	4,36634	47		24,40506
	20	4,36633	47		24,40505
	20	4,36632	47		24,40505
	20	4,36632	47		24,40504
	20	4,36631	47		24,40504
	20	4,36630	47		24,40502
	20	4,36629	47		24,40500
	20	4,36625	47		24,40495
	20	4,36624	47		24,40494
	20	4,36623	47		24,40493
	20	4,36623	47		24,40492
	20	4,36623	47		24,40490
	20	4,36622	47		24,40490
	20	4,36622	47		24,40489
	20	4,36621	47		24,40488
	20	4,36623	47		24,40488
	20	4,36627	47		24,40495
	20	4,36628	47		24,40495
	20	4,36627	47		24,40494
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>4,36627</b>	<b>47</b>		<b>24,40496</b>



Fig. 25 – Ponte rio Grande, perto de Rifaina, do lado mineiro. Data de aquisição: 08/08/2012, hora: 11:40 h.



22. Ponto-controle 34B

<b>PC 34B</b>	Latitude	19° 59' 49,7500''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.	
	Longitude	47° 24' 12,1220''		

<b>PC34B</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>	
	19	59,83100	47	24,21719
		59,83100	47	24,21721
	19	59,83099	47	24,21720
	19	59,83099	47	24,21719
	19	59,83099	47	24,21719
	19	59,83098	47	24,21719
	19	59,83099	47	24,21718
	19	59,83097	47	24,21718
	19	59,83096	47	24,21718
	19	59,83096	47	24,21718
	19	59,83099	47	24,21705
	19	59,83099	47	24,21704
	19	59,83092	47	24,21710
	19	59,83095	47	24,21707
	19	59,83095	47	24,21705
	19	59,83093	47	24,21713
	19	59,83092	47	24,21714
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>59,83097</b>	<b>47</b>	<b>24,21715</b>



Fig. 26 – Ponte sobre ribeirão Cana Brava. Data de aquisição: 08/08/2012, hora: 12:11 h.

23. Ponto-controle 33

<b>PC 33</b>	Latitude	19° 58' 02,7720''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 23' 12,6190''			
<b>PC33</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	19	58,05735	47		23,19059
	19	58,05735	47		23,19060
	19	58,05735	47		23,19061
	19	58,05736	47		23,19061
	19	58,05736	47		23,19063
	19	58,05736	47		23,19063
	19	58,05736	47		23,19062
	19	58,05737	47		23,19063
	19	58,05737	47		23,19063
	19	58,05736	47		23,19062
	19	58,05737	47		23,19063
	19	58,05737	47		23,19063
	19	58,05736	47		23,19062
	19	58,05736	47		23,19061
	19	58,05736	47		23,19061
	19	58,05753	47		23,19061
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>58,05737</b>	<b>47</b>		<b>23,19062</b>



Fig. 27 – Em frente ao mata-burro de acesso a estrada que leva à fazenda Sto. Antônio de propriedade do Sr. Rodolfo Rezende a cerca de 40 metros do asfalto, na estrada que liga Rifaina ao trevo de Sacramento (MG).Data de aquisição: 08/08/2012, hora: 12:29 h.



24. Ponto-controle 32

<b>PC 32</b>	Latitude	19° 53' 59,7100''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 22' 32,3580''			
<b>PC32</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	19	53,99894	47		22,53431
	19	53,99892	47		22,53428
	19	53,99893	47		22,53429
	19	53,99894	47		22,53428
	19	53,99894	47		22,53428
	19	53,99895	47		22,53428
	19	53,99894	47		22,53428
	19	53,99895	47		22,53429
	19	53,99895	47		22,53428
	19	53,99896	47		22,53428
	19	53,99895	47		22,53428
	19	53,99895	47		22,53427
	19	53,99896	47		22,52428
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>53,99894</b>	<b>47</b>		<b>22,53351</b>



Fig. 28 - Trevo de acesso a Sacramento a partir da estrada que liga Rifaina a BR 262 (sentido Araxá). Data de aquisição: 08/08/2012, hora: 12:47 h.

25. Ponto-controle 31

<b>PC 31</b>	Latitude	19° 52' 07,1320''	Câmara Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.
	Longitude	47° 25' 49,3500''	

<b>PC31</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>	
	19	52,11400	47	25,82128
	19	52,11400	47	25,82129
	19	52,11399	47	25,82128
	19	52,11400	47	25,82128
	19	52,11400	47	25,82127
	19	52,11395	47	25,82118
	19	52,11392	47	25,82111
	19	52,11393	47	25,82109
	19	52,11393	47	25,82109
	19	52,11392	47	25,82108
	19	52,11397	47	25,82110
	19	52,11399	47	25,82122
	19	52,11399	47	25,82123
	19	52,11398	47	25,82122
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>52,11397</b>	<b>47</b>	<b>25,82119</b>



Fig. 29 – Trevo na entrada principal de Sacramento, na Av. Major Ataliba José da Cunha logo antes da estrada que vai para Conquista (MG). Data de aquisição: 08/08/2012, hora: 13:06 h.

26. Ponto-controle 31B

<b>PC 31B</b>	Latitude	19° 51' 34,4370''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.
	Longitude	47° 25' 54,8810''	

<b>PC 31B</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>	
	19	51,59171	47	25,92564
	19	51,59171	47	25,92563
	19	51,59171	47	25,92565
	19	51,59173	47	25,92564
	19	51,59175	47	25,92564
	19	51,59174	47	25,92563
	19	51,59176	47	25,94563
	19	51,59174	47	25,92562
	19	51,59160	47	25,92564
	19	51,59172	47	25,92564
	19	51,59173	47	25,92563
	19	51,59172	47	25,92561
	19	51,59170	47	25,92561
	19	51,59168	47	25,92562
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>51,59171</b>	<b>47</b>	<b>25,92706</b>



Fig. 30 – Trevo de acesso à cidade de Sacramento e com acesso para a cidade de Conquista.  
 Data de aquisição: 08/08/2012, hora: 13:19 h.



27. Ponto-controle 06

<b>PC 06</b>	Latitude	19° 51' 39,6910''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 27' 34,2280''			
<b>PC 06</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	19	51,66204	47		27,57570
	19	51,66203	47		27,57567
	19	51,66203	47		27,57565
	19	51,66204	47		27,57566
	19	51,66204	47		27,57567
	19	51,66205	47		27,57567
	19	51,66204	47		27,57549
	19	51,66208	47		27,57563
	19	51,66206	47		27,57549
	19	51,66204	47		27,57537
	19	51,66209	47		27,57564
		51,66211	47		27,57569
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>51,66205</b>	<b>47</b>		<b>27,57561</b>



Fig. 31 – Trevo que dá acesso ao Conjunto Habitacional Santa Cruz, na cidade de Sacramento (MG). Data de aquisição: 08/08/2012, hora: 13:31 h.

28. Ponto-controle 04B

<b>PC 04B</b>	Latitude	19° 56' 17,4400''	Câmara Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 32' 47,7730''			
<b>PC 04B</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	19	56,29031	47		32,79425
	19	56,29033	47		32,79425
	19	56,29034	47		32,79425
	19	56,29036	47		32,79425
	19	56,29035	47		32,79426
	19	56,29033	47		32,79429
	19	56,29043	47		32,79436
	19	56,29040	47		32,79434
	19	56,29028	47		32,79422
	19	56,29028	47		32,79421
	19	56,29027	47		32,79422
	19	56,29028	47		32,79422
	19	56,29028	47		32,79422
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>56,29033</b>	<b>47</b>		<b>32,79426</b>



Fig. 32 – Antiga estação ferroviária de Conquista (MG) na praça em frente a Câmara de Vereadores da mesma cidade. Data de aquisição: 08/08/2012, hora: 14:02 h.

29. Ponto-controle 04C

<b>PC 04C</b>	Latitude	19° 55' 44,8810''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 33' 50,3530''			
<b>PC 04C</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>		
	19	55,75131	47		33,83792
	19	55,75132	47		33,83792
	19	55,75132	47		33,83794
	19	55,75133	47		33,83793
	19	55,75132	47		33,83794
	19	55,75133	47		33,83794
	19	55,75135	47		33,83804
	19	55,75137	47		33,83804
	19	55,75139	47		33,83803
	19	55,75140	47		33,83804
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>55,75134</b>	<b>47</b>		<b>33,83797</b>



Fig. 33 – Novo trevo para acesso à cidade de Conquista na BR que liga Sacramento à Delta (MG).  
Data de aquisição: 08/08/2012, hora: 14:31 h.



30. Ponto-controle 20

<b>PC 20</b>	Latitude	19° 54' 51,1680''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.
	Longitude	47° 48' 43,9340''	

<b>PC20</b>	<b>LAT</b>		<b>LONG</b>	
	19	54,85049	47	48,72924
	19	54,85042	47	48,72921
	19	54,85052	47	48,72926
	19	54,85054	47	48,72925
	19	54,85074	47	48,72863
	19	54,85084	47	48,72825
	19	54,85105	47	48,72785
	19	54,85085	47	48,72816
	19	54,85086	47	48,72817
	19	54,85089	47	48,72811
	19	54,85090	47	48,72809
	19	54,85094	47	48,72803
	19	54,85104	47	48,72789
	19	54,85105	47	48,72787
	19	54,85105	47	48,72785
	19	54,85103	47	48,72790
	19	54,85104	47	48,72786
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>54,85084</b>	<b>47</b>	<b>48,72833</b>



Fig. 34 – Na BR 464 que liga a BR 050 à cidade de Conquista (MG) e ainda Sacramento (MG), logo após o trevo com a BR 050. Casa abandonada com árvores e antigo calçamento. Data de aquisição: 09/08/2012; hora: 12:15 h.

31. Ponto-controle 21

<b>PC 21</b>	Latitude	19° 54' 19,6650''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 46' 42,8520''			
<b>PC 21</b>	<b>LAT</b>			<b>LONG</b>	
	19	54,32829		47	46,72163
	19	54,32829		47	46,72163
	19	54,32826		47	46,72164
	19	54,32842		47	46,72175
	19	54,32843		47	46,72176
	19	54,32843		47	46,72175
	19	54,32842		47	46,72175
	19	54,32841		47	46,72175
	19	54,32841		47	46,72174
	19	54,32841		47	46,72173
	19	54,32840		47	46,72174
	19	54,32837		47	46,72172
	19	54,32838		47	46,72171
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>54,32838</b>		<b>47</b>	<b>46,72172</b>



Fig. 35 – Faixa de vegetação junto a BR 464, do lado direito sentido BR 050. Data de aquisição: 09/08/2012, hora: 12:31 h.



32. Ponto-controle 22

<b>PC 22</b>	Latitude	19° 54' 40,8880''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.
	Longitude	47° 46' 06,4620''	

PC 22	LAT		LONG	
	19	54,68342	47	46,10737
	19	54,68341	47	46,10737
	19	54,68340	47	46,10737
	19	54,68339	47	46,10737
	19	54,68340	47	46,10737
	19	54,68342	47	46,10738
	19	54,68343	47	46,10737
	19	54,68344	47	46,10738
	19	54,68345	47	46,10738
	19	54,68345	47	46,10739
	19	54,68345	47	46,10741
<b>Média</b>	<b>19</b>	<b>54,68342</b>	<b>47</b>	<b>46,10738</b>



Fig. 36 – Pequeno pontilhão na subida da BR 464, logo após a ponte no fundo do vale, lado direito sentido BR 050. Data de aquisição: 09/08/2012, hora: 12:47 h.

33. Ponto-controle 11

<b>PC 11</b>	Latitude	20° 02' 53,0080''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 44' 21,7360''			
<b>PC 11</b>	<b>LAT</b>			<b>LONG</b>	
	20	2,87955		47	44,36762
	20	2,87953		47	44,36762
	20	2,87952		47	44,36761
	20	2,87952		47	44,36760
	20	2,87952		47	44,36759
	20	2,87927		47	44,36772
	20	2,87926		47	44,36772
	20	2,87927		47	44,36771
	20	2,87923		47	44,36773
	20	2,87926		47	44,36770
	20	2,87928		47	44,36771
	20	2,87923		47	44,36769
	20	2,87915		47	44,36773
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>2,87935</b>		<b>47</b>	<b>44,36767</b>



Fig. 37 – Final da cidade de Igarapava, logo antes do início da rodovia intermunicipal Igarapava (SP) – Rifaina (SP). Data de aquisição: 09/08/2012, hora: 16:35 h.

34. Ponto-controle 17

<b>PC 17</b>	Latitude	20° 03' 29,6610''	Câmera Fotográfica SONY DSC-HX100 com GPS.		
	Longitude	47° 37' 11,8180''			
<b>PC 17</b>	<b>LAT</b>			<b>LONG</b>	
	20	3,49036		47	37,19859
	20	3,49022		47	37,19843
	20	3,49023		47	37,19845
	20	3,49023		47	37,19842
	20	3,49041		47	37,19843
	20	3,49064		47	37,19827
	20	3,49020		47	37,19845
	20	3,49041		47	37,19843
	20	3,49043		47	37,19841
	20	3,49045		47	37,19840
	20	3,49032		47	37,19835
	20	3,49074		47	37,19810
	20	3,49044		47	37,19808
	20	3,49044		47	37,19810
	20	3,49044		47	37,19810
	20	3,49044		47	37,19811
	20	3,49043		47	37,19812
	20	3,49055		47	37,19821
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>3,49041</b>		<b>47</b>	<b>37,19830</b>



Fig. 38 – Estrada Igarapava (SP) – Rifaina (SP). Data de aquisição: 09/08/2012, hora: 17:00 h.



Tab. 02 – Coordenadas geográficas dos pontos de controle usados no processo de consolidação da base cartográfica da orla da represa de Igarapava (MG-SP).

Ponto	Graus Decimais		UTM	
	Latitude	Longitude	Longitude	Latitude
PC11	-20.048444°	-47.739102°	213479.27 m E	7780808.76 m S
PC05	-20.041700°	-47.765773°	210675.38 m E	7781509.71 m S
PC03	-20.041966°	-47.766766°	210571.95 m E	7781478.50 m S
PC01	-19.987042°	-47.765611°	210592.26 m E	7787563.84 m S
PC02	-19.987560°	-47.787752°	208274.82 m E	7787468.11 m S
PC19	-19.927042°	-47.821198°	204659.96 m E	7794112.64 m S
PC20	-19.914339°	-47.812209°	205578.08 m E	7795535.40 m S
PC21	-19.905745°	-47.779640°	208974.16 m E	7796543.98 m S
PC22	-19.913425°	-47.766488°	210365.97 m E	7795716.17 m S
PC23	-19.922412°	-47.683809°	219042.80 m E	7794861.18 m S
PC24	-19.932986°	-47.652881°	222300.82 m E	7793741.55 m S
PC25	-19.956129°	-47.623015°	225468.89 m E	7791227.65 m S
PC26	-19.953267°	-47.602734°	227587.79 m E	7791577.73 m S
PC27	-19.951748°	-47.597700°	228112.32 m E	7791754.10 m S
PC28	-19.948118°	-47.577714°	230199.14 m E	7792188.38 m S
PC29	-19.944793°	-47.561199°	231922.91 m E	7792583.08 m S
PC30	-19.940218°	-47.550501°	233035.56 m E	7793106.81 m S
PC04	-19.938301°	-47.549725°	233113.61 m E	7793320.35 m S
PC06	-19.861805°	-47.461188°	242261.59 m E	7801929.62 m S
PC31	-19.868690°	-47.430384°	245499.91 m E	7801214.12 m S
PC32	-19.900487°	-47.375555°	251293.61 m E	7797775.04 m S
PC33	-19.967582°	-47.386737°	250228.03 m E	7790328.81 m S
PC34	-19.993346°	-47.406000°	248252.12 m E	7787447.02 m S
PC08	-20.072662°	-47.406721°	248303.17 m E	7778662.86 m S
PC07	-20.074550°	-47.416883°	247242.90 m E	7778438.37 m S
PC09	-20.075361°	-47.421310°	246781.08 m E	7778341.85 m S
PC13	-20.078619°	-47.428723°	246010.70 m E	7777969.82 m S
PC10	-20.065533°	-47.440726°	244733.73 m E	7779400.60 m S
PC12	-20.019070°	-47.447377°	243962.44 m E	7784535.66 m S
PC14	-19.998244°	-47.471226°	241432.16 m E	7786805.22 m S
PC15	-19.998912°	-47.502443°	238165.33 m E	7786682.65 m S
PC16	-20.045788°	-47.586887°	229405.57 m E	7781356.98 m S
PC17	-20.058220°	-47.620038°	225957.74 m E	7779925.96 m S
PC18	-20.058616°	-47.633302°	224570.29 m E	7779860.32 m S



### **3.2.4 GEORREFERENCIAMENTO DA IMAGEM**

Após a confecção das composições, foi executado o georreferenciamento destas, empregando-se os pontos de controle coletados no campo com um DGPS TechGeo, e em locais identificáveis na imagem. Os pontos foram coletados entre os dias 7 a 9 de agosto de 2012, contabilizando um total de 34 pontos de controle.

O georreferenciamento foi iniciado com a imagem LISS, empregando-se o SIG (Sistema de Informação Geográfica) ArcGIS. Dos 34 pontos de controle coletados em campo, foram empregados 11 no processo de georreferenciamento (de um total de 20 pontos identificáveis), sendo cinco pontos excluídos por apresentarem um erro alto no processo de georreferenciamento e os quatro restantes foram utilizados na avaliação do resultado do trabalho, com o posicionamento destes em um shapefile (tipo ponto) sobre a imagem georreferenciada, e com a avaliação visual deste posicionamento. (Fig. 39)

Na próxima imagem estão representados os pontos empregados circulos por preto, e os pontos de verificação estão representados em vermelho (Fig. 39). O RMS foi de 0.00028 (em termos de RMS, um ótimo resultado). A adição de mais pontos não alterou muito o RMS (a partir de 8 pontos distribuídos já havia chegado perto deste RMS).



Fig. 39 – Cartograma ilustrando os pontos controle usados para a calibração e verificação do georeferenciamento do shapefile a ser usado na consolidação dos dados de batimetria do reservatório de Igarapava (MG-SP).



Na avaliação visual do posicionamento dos pontos de controle destinados à validação sobre a imagem georreferenciada, observou-se que a imagem apresentava a feição exata de identificação do local de coleta dos pontos. Também foram georreferenciadas as composições RGB-357 das imagens LANDSAT\_5\_TM empregando-se os mesmos pontos de controle e procedendo-se a mesma validação.

### 3.2.5 - VETORIZAÇÃO DO ESPELHO D'ÁGUA

Os limites do espelho d'água referentes às datas selecionadas foram vetorizados, como apresentado nas figuras abaixo, por meio da digitalização em tela empregando-se o SIG ArcGIS. Foi criado um shapefile para cada data e o limite digitalizado individualmente.

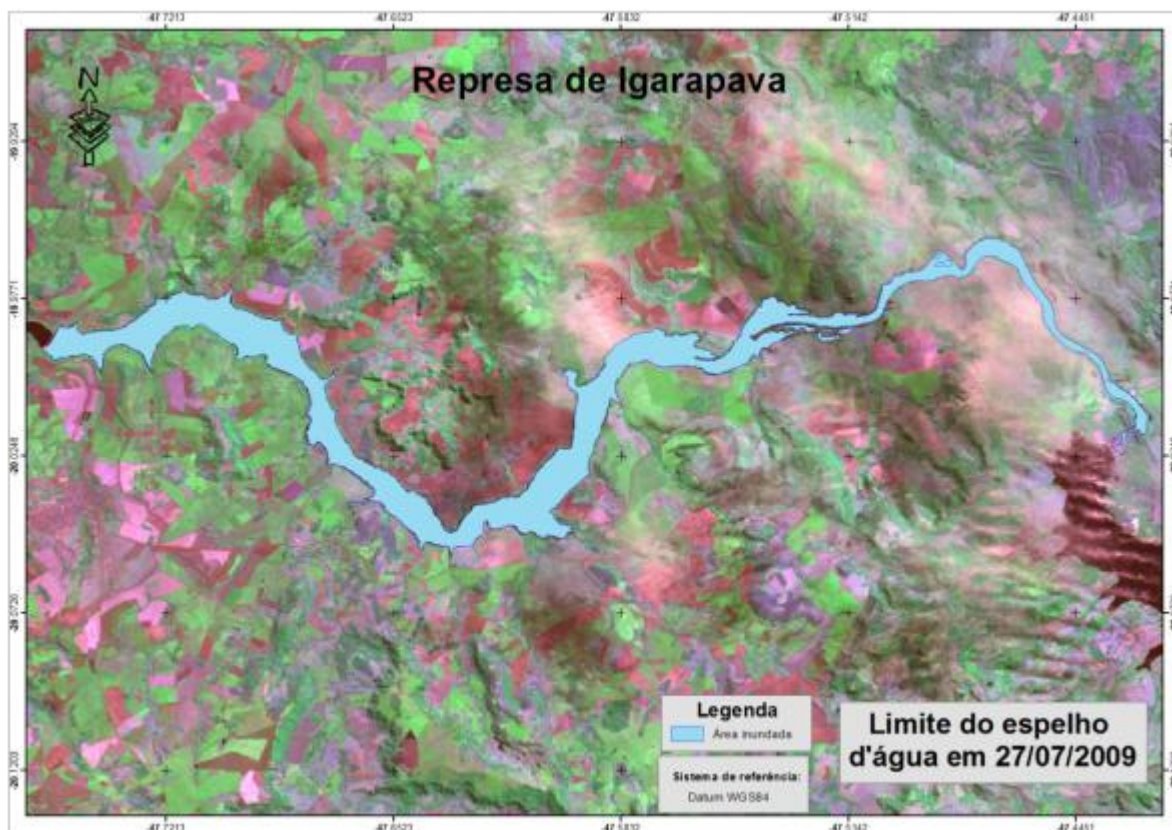


Fig. 40 – Limite de 2009.



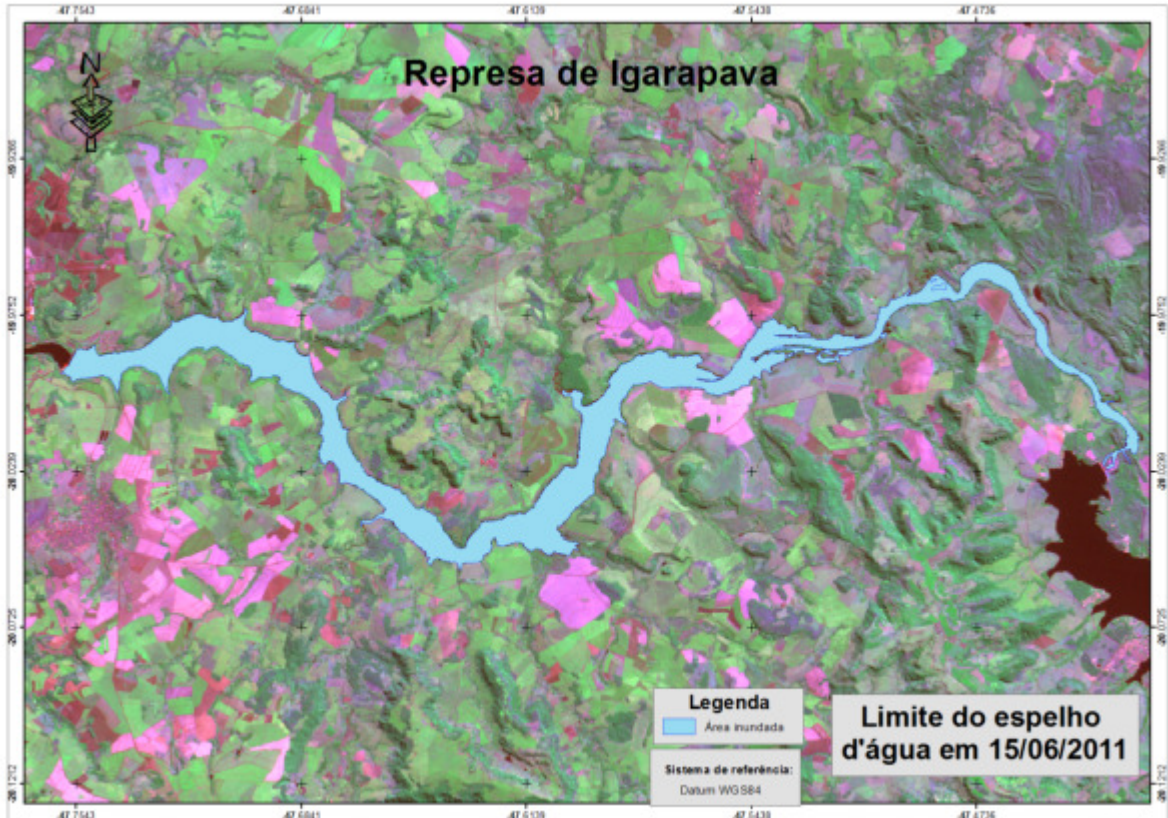


Fig. 41 – Limite de 2011.



Fig. 42 – Limite (orla) de 2012.



provavelmente em função da variação do nível do reservatório ter sido muito pequena, comparando estas duas datas, frente à resolução espacial das imagens.

### 3.3. CONFECÇÃO DA CARTA BATIMÉTRICA

Após a exportação do contorno georreferenciado para o software Surfer® 10, um novo arquivo (X,Y,Z) foi montado, agora com as novas coordenadas da nova orla que foram somadas às coordenadas associadas às profundidades de cada um dos levantamentos batimétricos realizados. Às coordenadas do contorno do reservatório (X,Y), foram atribuídos valores de profundidade iguais a zero (Z=0).

As novas cartas batimétricas foram confeccionadas pelo programa Surfer® versão 10. Assim, um arquivo *Grid* é gerado através do método de interpolação de dados Krigagem (*Kriging*). Segundo Landim (2000), este arquivo estabelece uma grade regular sobre a área estudada e calcula os valores nos nós da mesma, com base nos valores dos pontos já amostrados, sendo, portanto, um método de estimação indireto. Este método de interpolação é utilizado por apresentar uma boa precisão geral e fidelidade aos dados originais quando comparado a outros métodos (LANDIM, 2000) e por ser bastante utilizado na área de recursos hídricos (SANTOS & LUCENA, 2005). Tendo o contorno digitalizado e o arquivo *Grid* gerado, estes foram sobrepostos para obtenção da carta batimétrica.

A partir dos dados batimétricos, em sub-rotinas do Surfer® 10, foram obtidos os valores de profundidade máxima, volume, perímetro, área total da superfície (A) e a área entre as camadas de profundidade. O volume (V) foi estimado através da média aritmética destas três metodologias (regra trapezoidal, regra de Simpson e regra de Simpson 3/8) obtidas em relatório gerado pelo Surfer® 10.

As medidas de área entre as camadas foram obtidas a cada metro de profundidade, assim como o volume, para produção das curvas hipsográficas cota-profundidade-área, segundo metodologia de Cole (1983).

### 3.3.1. DIFERENÇAS DE COTAS ALTIMÉTRICAS

O limite selecionado para confecção da carta batimétrica foi gerado a partir de imagens de satélite que datam do dia 15 de junho de 2011. A escolha deste limite se deu em razão da proximidade com a data do levantamento batimétrico realizado no ano de 2011 (de 05 a 11 de junho de 2011). Desta forma a proximidade de cotas também seria esperado. Assim, a cota altimétrica considerada para o *shape* do reservatório foi de 511,96 m. Os dados coletados e processados em levantamento batimétrico realizado pela MICROARS em 2011 foram corrigidos para a cota 512,5 m. Como a imagem apresentava cota inferior ao arquivo XYZ (coordenadas geográficas XY e profundidade Z) fornecido pela CEMIG, esta foi transformada para a mesma cota do arquivo do limite (511,96 m).

### 3.3.2. ARQUIVO XYZ

O *shapfile* confeccionado no ArcGIS, foi importado para o *software* Sufer® 10 onde foi exportado para o formato BLN. Este formato permite a visualização do contorno do reservatório como imagem e como planilha de pontos de coordenadas geográficas. Tendo o arquivo *shape* visualizado como imagem, foram postados os dados de batimetria do arquivo XYZ. Observou-se que alguns pontos batimétricos não se encontravam dentro do limite do reservatório (Fig. 43). Estes foram então excluídos para não gerar erros no momento da interpolação dos dados.

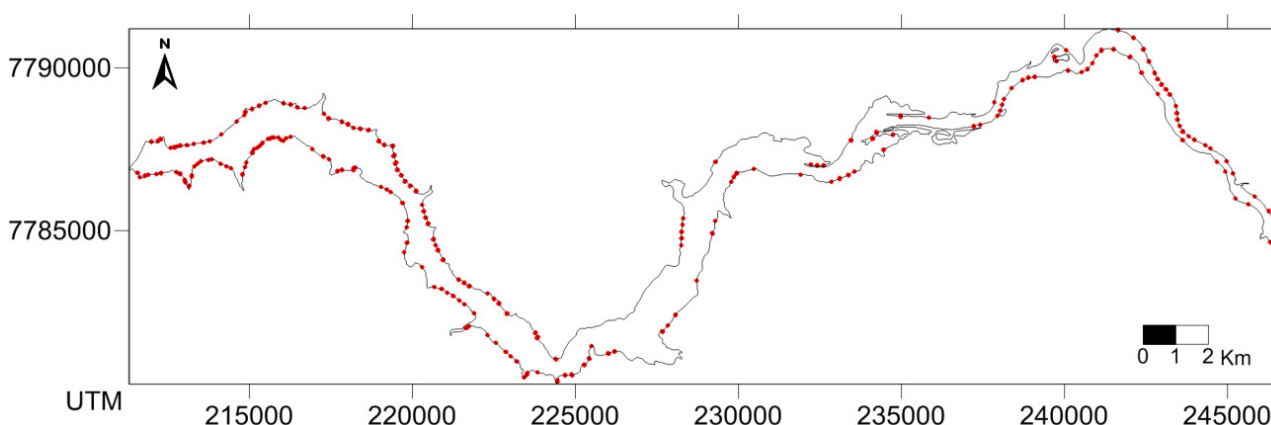


Fig 43- Pontos batimétricos excluídos do arquivo XYZ.

Pontos de inventário batimétrico podem extrapolar o limite do reservatório caso a base cartográfica não esteja devidamente consolidada ou quando há interferência no sinal de satélite no momento da coleta batimétrica, por excesso de nuvens por exemplo. O último exposto é mais coerente de ter acontecido, uma vez que na coleta dos pontos controle, para consolidação do limite do reservatório, o GPS diferencial coleta inúmeros dados em uma posição estacionária, enquanto na coleta batimétrica, o D-GPS encontra-se em movimento, coletando poucos dados de um mesmo ponto, o que acarreta alguns erros no pós-processamento. Desta forma, foram excluídos 757 pontos dos 32.274 pontos coletados em inventário realizado em 2011.

### 3.3.3. GERAÇÃO DO ARQUIVO GRID

Após a exportação do contorno do reservatório para o software Surfer® 10 sob a extensão BLN, o arquivo foi aberto sob a forma de planilha. Esta planilha de coordenadas do limite do reservatório foi compilada com os dados do arquivo XYZ. Às coordenadas geográficas do contorno do reservatório, foram atribuídos valores de zero de profundidade. Este arquivo foi então utilizado para geração do arquivo Grid.

Pela reticulação (*Gridding*), método de estimação de modelagem de superfícies, gerou-se o arquivo *Grid*. Segundo Landim (2000), este arquivo estabelece uma grade regular sobre a área estudada e calcula os valores nos nós da mesma, com base nos valores dos pontos já amostrados, sendo, portanto, um método de estimação indireto. Para se estimar os valores de profundidade dos pontos não amostrados, o arquivo *Grid* foi ajustado através da Krigagem (*Kriging*), um método de interpolação de dados. Este método foi utilizado por ter uma boa precisão geral e fidelidade aos dados originais quando comparado a outros métodos (LANDIM, 2000) e por ser bastante utilizado na área de recursos hídricos (SANTOS & LUCENA, 2005).

### 3.3.4 CÁLCULO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS SECUNDÁRIOS

Os parâmetros morfométricos secundários estimados, seguindo metodologia de Sperling (1999), foram: Profundidade média (m) ( $Z_{med}$ ) (**Equação 1**); Profundidade relativa (%) ( $Z_R$ ) (**Equação 2**), Índice de Desenvolvimento do Perímetro ( $D_P$ ) (**Equação 3**) e Índice de Desenvolvimento do volume ( $D_V$ ).

$$Z_{med} = \frac{v}{A} \quad \text{[Equação 1]}$$

$$Z_R = \frac{88,6 \times Z_{max}}{\sqrt{A}} \quad \text{[Equação 2]}$$

$$D_p = 0,28 \times \frac{\text{Perímetro}}{\sqrt{A}} \quad \text{[Equação 3]}$$

$$D_v = \frac{3 \times Z_{med}}{Z_{max}} \quad \text{[Equação 4]}$$

Um sumário de todas as etapas envolvidas na confecção da carta batimétrica é apresentado na figura Fig. 44. Nela estão representados os passos desde a coleta dos pontos controle até a geração do mapa batimétrico.

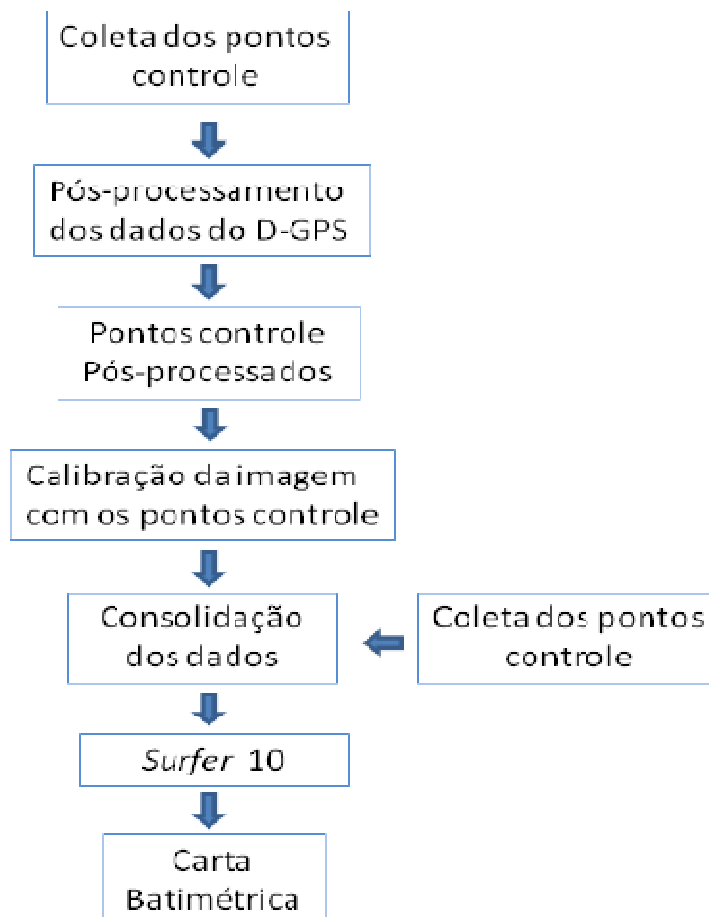


Fig. 44 - Fluxograma resumindo as etapas envolvidas no processo de geração da carta batimétrica.



### **3.4 Estudos limnológicos**

O presente estudo traz uma seleção de variáveis limnológicas especialmente montada tendo em vista as perguntas colocadas nos objetivos da proposta. A estratégia de coleta das amostras baseou-se em uma campanha única de coletas com grande número de amostras. A escolha do período da seca é a ideal pois é justamente a época quando os padrões espaço-temporais tendem a ser mais estáveis dentro do reservatório.

Em cada ponto, diversas variáveis físico-químicas foram analisadas *in situ* e em laboratório. As listas contendo essas variáveis estão fornecidas nas tabelas Tab. 03 e Tab. 04, respectivamente, assim como suas respectivas metodologias empregadas.

Uma equipe de quatro profissionais foi deslocada da empresa em Belo Horizonte para a execução dos serviços. Todo o material de coleta de campo, de segurança de navegação foi fornecido pela empresa.

Tab. 03 - Especificações das metodologias utilizadas nas variáveis a serem medidas por ensaios de laboratório.

<b>N</b>	<b>Variável</b>	<b>Metodologia</b>
1	Demanda Bioquímica de Oxigênio	SMEWW 20ª edição - Método 5210 B
2	Demanda Química de Oxigênio	SMEWW 20ª edição - Método 5220 C
3	Sulfeto	SMEWW 20ª edição - Método 4500-S2- C e F
4	Sulfato	SMEWW 20ª edição - Método 4500-SO42- E
5	Óleos e Graxas	SMEWW 20ª edição - Método 5220 D
6	Coliformes totais e termotolerantes	SMEWW 20ª edição - Método 9223 B
7	Turbidez	SMEWW 20ª edição - Método 2130 B
8	Sólidos em suspensão (totais)	SMEWW 20ª edição - Método 2540 D
9	Sólidos em suspensão (voláteis)	SMEWW 20ª edição - Método 2540 B
10	Sólidos em suspensão (fixos)	SMEWW 20ª edição - Método 2540 B
11	Sólidos sedimentáveis	SMEWW 20ª edição - Método 2540 F
12	Nitrogênio Total	Kjeldahl adaptado
13	Nitrogênio amoniacal	Método do nitroprussiato (Koroleff, 1976).
14	Nitrato	Nitrato: método de redução a nitrito através da adição do cádmio amalgamado. (Mackereth et al. 1978)
15	Nitrito	Método da sulfanilamida (Barnes & Rolkard, 1951)4
16	Fósforo Total	Mackereth et al. (1978)

É importante destacar que, na presente investigação, foi usada uma sonda limnológica multi-parâmetros de última geração, a sonda YSI 5500 v2 (Fig. 45). Essa sonda garantiu a aquisição de uma vasta gama de informações em pouco tempo.



Fig. 45 – Uso da sonda Yellow Springs 5500 v2 no presente estudo. Essa sonda é capaz de monitorar e armazenar uma série de parâmetros (hora, profundidade, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade, pH, potencial REDOX e turbidez) obedecendo a uma programação definida. Na foto o ecólogo, Aloizio Pellinson, responsável pela obtenção dos dados com esse instrumento nas coletas dos dias 7, 8, e 9 de agosto de 2012 em Igarapava.

Tab. 04 – Lista das variáveis limnológicas medidas *in situ*.

<b>N</b>	<b>Variável</b>	<b>Método</b>
1	Transparência	Disco de Secchi
2	Temperatura	Sonda YSI Modelo 55/50 FT
3	Oxigênio Dissolvido	Sonda YSI Modelo 55/50 FT
4	Condutividade	Sonda YSI Modelo 55/50 FT
5	Turbidez	Sonda YSI Modelo 55/50 FT
6	Radiação PAR	Radiômetro LiCor
7	pH	Sonda YSI Modelo 55/50 FT
8	Potencial REDOX	Sonda YSI Modelo 55/50 FT
9	Sólidos em suspensão totais	Sonda YSI Modelo 55/50 FT

Foram coletadas 30 amostras em locais escolhidos de modo a cobrir toda a superfície alagada (Tab. 05).

A escolha dos diversos pontos amostrais procurou cobrir as zonas de influência dos principais tributários bem como locais onde existam atividades econômicas importantes, tais como proximidades a extrações de areia, povoados, estradas, pontes, rotas de navegação, etc. A lista com as coordenadas geográficas de cada um dos pontos de coleta está fornecida na tabela a seguir (Tab. 05) e o mapa com a localização desses pontos dentro do reservatório é fornecido na figura Fig. 46.



Tab. 05 – Coordenadas geográficas dos pontos amostrais no reservatório de Igarapava (MG-SP) na campanha amostral realizada pela Icatu Meio Ambiente Ltda. nos dias 7,8 e 9 de agosto de 2012.

Ponto	Graus Decimais		UTM	
	Latitude	Longitude	Longitude	Latitude
IG1	-19.991258°	-47.748190°	212424.81m E	7787127.42m S
IG2	-19.991975°	-47.728022°	214536.92m E	7787082.06m S
IG3	-19.981077°	-47.717686°	215599.58m E	7788306.68m S
IG4	-19.987082°	-47.697731°	217699.78m E	7787675.35m S
IG5	-19.994925°	-47.685475°	218996.90m E	7786827.31m S
IG6	-20.007918°	-47.674479°	220171.12m E	7785406.72m S
IG7	-20.017296°	-47.673492°	220291.10m E	7784369.78m S
IG8	-20.025754°	-47.667025°	220982.98m E	7783443.83m S
IG9	-20.031182°	-47.658328°	221902.86m E	7782857.17m S
IG10	-20.040840°	-47.647669°	223035.49m E	7781805.22m S
IG11	-20.048595°	-47.639574°	223896.33m E	7780959.77m S
IG12	-20.042464°	-47.623628°	225554.58m E	7781665.13m S
IG13	-20.047106°	-47.605381°	227472.33m E	7781180.86m S
IG14	-20.036093°	-47.608165°	227161.98m E	7782396.05m S
IG15	-20.025746°	-47.597708°	228238.60m E	7783558.98m S
IG16	-20.014476°	-47.593497°	228660.06m E	7784813.89m S
IG17	-20.000184°	-47.599029°	228056.37m E	7786387.74m S
IG18	-20.003200°	-47.587039°	229316.69m E	7786073.19m S
IG19	-19.993799°	-47.579080°	230133.87m E	7787127.13m S
IG20	-19.995861°	-47.562349°	231889.00m E	7786925.68m S
IG21	-19.989492°	-47.543663°	233834.49m E	7787660.91m S
IG22	-19.980565°	-47.538202°	234391.21m E	7788658.14m S
IG23	-19.983930°	-47.523548°	235930.99m E	7788308.61m S
IG24	-19.982687°	-47.511316°	237209.61m E	7788465.52m S
IG25	-19.978426°	-47.504250°	237942.24m E	7788948.48m S
IG26	-19.971157°	-47.496549°	238736.54m E	7789765.46m S
IG27	-19.968414°	-47.485623°	239876.07m E	7790086.28m S
IG28	-19.964221°	-47.476341°	240840.98m E	7790564.98m S
IG29	-19.969207°	-47.460823°	242473.89m E	7790036.70m S
IG30	-19.982196°	-47.453694°	243241.40m E	7788609.35m S

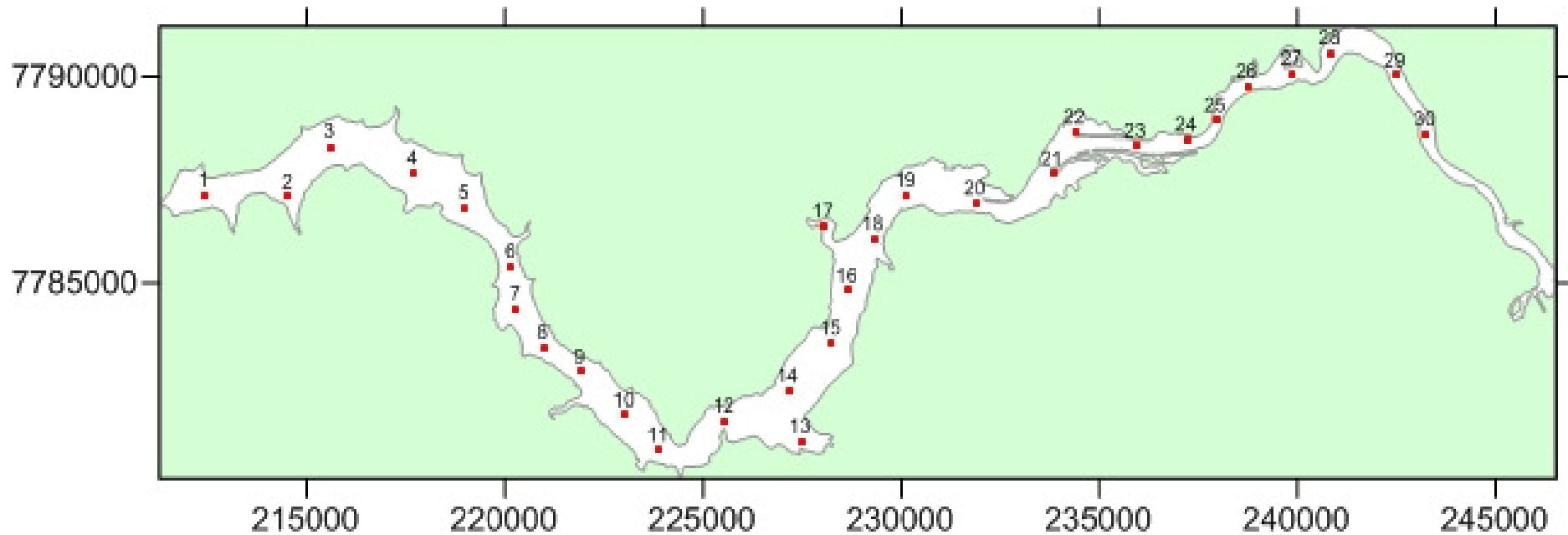


Fig. 46 – Localização dos pontos amostrais no reservatório de Igarapava (MG-SP) na campanha realizada pela Icatu Meio Ambiente Ltda. nos dias 7, 8 e 9 de agosto de 2012. Dados de localização já importados no software Surfer® 10 que formam o *base map* para a confecção das cartas temáticas das variáveis limnológicas. Nessa figura, o *shapefile* já calibrado com os pontos controle tomados pela Icatu Meio Ambiente já está sendo utilizado (ver resultados).

## 4. Resultados

### 4.1 - Morfometria e Batimetria

A partir dos 65.612 pontos compilados na planilha XYZ gerou-se a carta batimétrica do reservatório de Igarapava para a cota 511,96m (Fig. 47). É possível observar que as maiores profundidades encontram-se próximas à barragem como era de se esperar. No entanto, observou-se na região mais a montante do reservatório de Igarapava, próximo ao vertedouro do reservatório de Jaguará, uma região que alcança grandes profundidades. Como a represa de Igarapava pertence a um conjunto de reservatórios em cascata, essas grandes profundidades podem ser explicadas pelos processos erosivos, devido ao turbilhonamento causado pelo vertedouro da represa de Jaguará.

Os parâmetros morfométricos primários e secundários estimados estão apresentados na tabela Tab. 06. Conforme classificação de Straskraba (1999), o reservatório de Igarapava se enquadra entre as categorias de pequeno a médio, visto que apresenta área igual a  $3,41 \times 10^7 \text{ m}^2$  compatível com a de reservatórios pequenos ( $1 - 10^2 \text{ Km}^2$ ) e volume estimado em  $24,68 \times 10^7 \text{ m}^3$ , condizente com reservatórios de médio porte ( $10^8 - 10^{10} \text{ m}^3$ ).

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS			
PRIMÁRIOS		SECUNDÁRIOS	
Área ( $\text{m}^2$ ) (A)	$3,41 \times 10^7$	Profundidade Média (m) ( $Z_{\text{med}}$ )	6,97
Perímetro (m) (P)	138.156	Profundidade Relativa (%) ( $Z_{\text{R}}$ )	0,62
Volume ( $\text{m}^3$ ) (V)	$24,68 \times 10^7$	Desenvolvimento do Perímetro ( $D_{\text{P}}$ )	6,62
Profundidade Max. (m) ( $Z_{\text{max}}$ )	42,98	Desenvolvimento do Volume ( $D_{\text{V}}$ )	0,49

Tabela 06. Parâmetros morfométricos do Reservatório de Igarapava para a cota 511,96m.

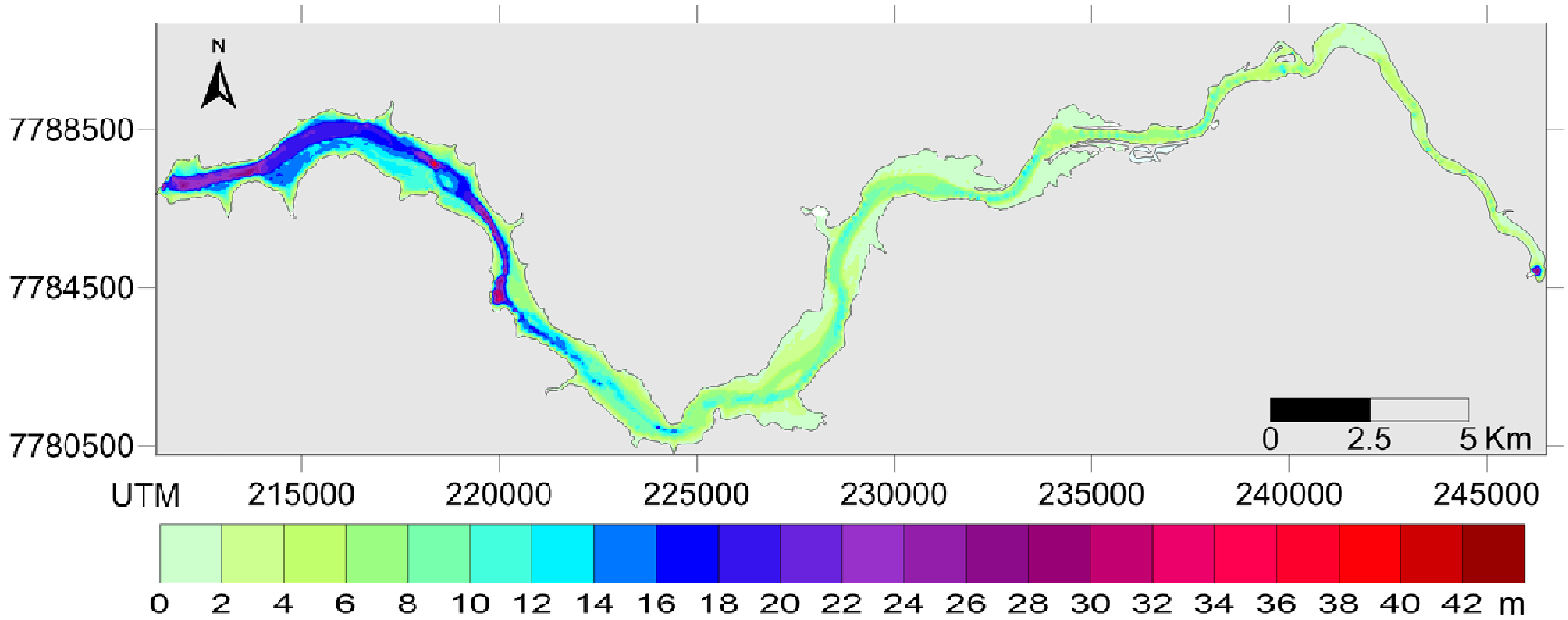


Fig. 47. Carta batimétrica do reservatório de Igarapava para a cota altimétrica de 511,96 m.



Para verificação dos valores de área e perímetro do reservatório, que apresentaram valores diferentes em relação aos anos 2009 e 2011, foi utilizado o *software* ArcGIS, Esses valores estimados para o ano de 2012 foram uma área de 38,09 km<sup>2</sup> e um perímetro igual a 146,82 km, para a cota 511,51m. Para o ano de 2011, esses valores foram de 36,56 km<sup>2</sup> perímetro 138.127 m. Já para o ano de 2009, a área da represa foi estimada em 35,01 km<sup>2</sup> e um perímetro de 134,05 km. Dessa forma, os valores de 2012 foram maiores em relação aos anos de 2009 e 2011. Essas diferenças, assim como nos valores de volume, refletem a importância de uma base cartográfica consolidada.

Segundo Sperling (1999), a profundidade média dos ambientes lênticos é um dos parâmetros morfométricos de maior relevância limnológica. Cole (1983) afirma que a produtividade biológica dos lagos está geralmente relacionada com a profundidade média. Em ambientes mais rasos, a radiação solar pode alcançar toda a coluna d'água e, desta forma, esses geralmente apresentam produtividade maior que ambientes mais profundos.

Quanto à profundidade relativa, a maioria dos lagos apresenta  $Z_r$  menores que 2%, embora lagos profundos com pequena área de superfície frequentemente tenham  $Z_r > 4%$  (WETZEL, 1983). As profundidades máxima ( $Z_{max}$ ), média ( $Z_{med}$ ) e relativa ( $Z_R$ ) do reservatório de Igarapava foram, respectivamente, 42,98 m, 6,97 m e 0,62%. Apesar de não ser considerado um reservatório raso, por apresentar profundidades superiores a 20 m (Wetzel, 1983), o reservatório de Igarapava apresenta características de lagos pequenos e rasos, com baixa estabilidade térmica, em função dos seus baixos valores de  $Z_{med}$  e  $Z_R$ .

O índice de desenvolvimento do perímetro ( $D_p$ ) é a medida do grau de irregularidade da margem, sendo que para um lago com o formato de um círculo perfeito, o valor de  $D_p$  é 1, enquanto que corpos d'água com valores mais altos que 3,5 são classificados como dendríticos (Sperling, 1994). Por um lado, alto  $D_p$  reflete o potencial do desenvolvimento de grandes comunidades litorâneas (Wetzel, 1983), que implica em uma maior capacidade assimiladora de poluentes; em contrapartida, as margens de conformação irregular favorecem o processo de eutrofização (Sperling, 1999). O reservatório de Igarapava apresentou  $D_p$  de 6,62, caracterizando-o como detentor de um alto grau de exposição de suas margens e, portanto, é um reservatório particularmente sensível aos impactos humanos sediados em seu entorno.

A forma da bacia de acumulação do reservatório pode ser demonstrada pelo índice de desenvolvimento de volume ( $D_v$ ) e pela interpretação das curvas hipsográficas (Fig. 48). O

$D_v$  indica principalmente as características do formato vertical, sendo que lagos e represas

em forma de “U” (a maioria) apresentam  $D_v > 1$ , enquanto Lagos com  $D_v = 1$  apresentam forma de um cone (SPERLING, 1999). O reservatório de Igarapava apresentou  $D_v = 0,49$ , aproximando-se do formato de “V”, apresentando desta forma, formato convexo, onde as maiores áreas se encontram nos estratos mais superficiais. O volume cresce numa taxa maior nos estratos superficiais, como se pode observar na inclinação da curva.

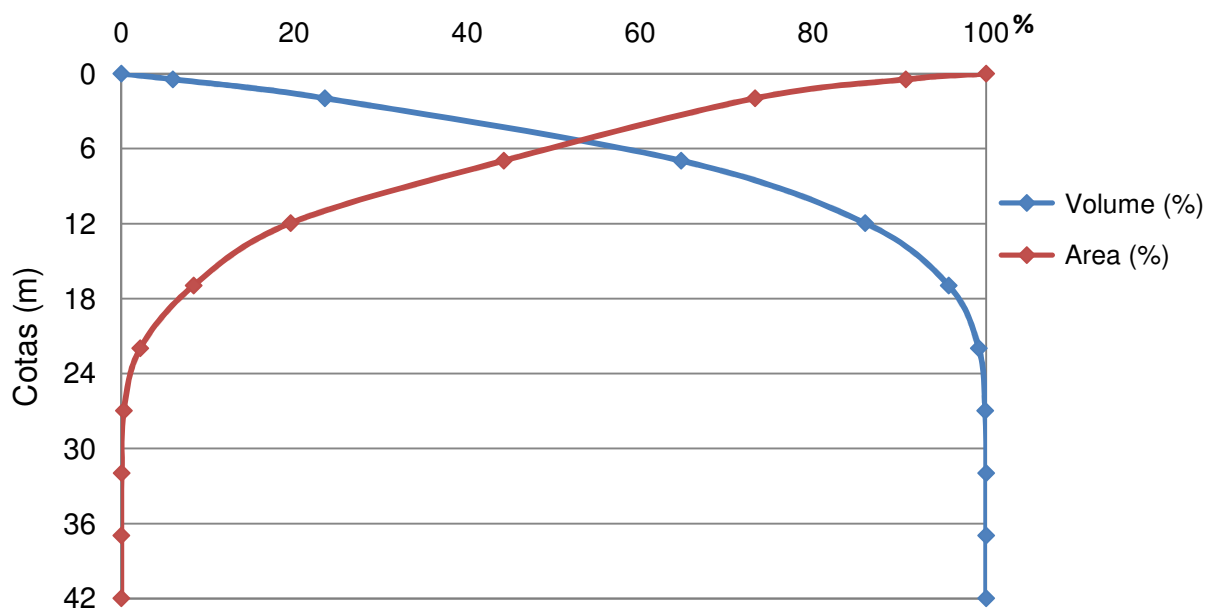


Fig. 48 - Curvas hipsográficas de área e volume do reservatório de Igarapava.

#### 4.1.1 Comparação Morfométrica

Os ambientes lacustres possuem tempos de vida limitados. Lagos naturais apresentam tempo de vida curto do ponto de vista geológico. Enquanto os reservatórios apresentam tempo de vida média numa escala de décadas. Essa perda se reflete nos parâmetros morfométricos das represas, como no caso do reservatório de Igarapava (Tab. 07). Os valores demonstrados são referentes à cota 511,51m. Esta cota foi utilizada para comparação por ser a maior cota para a qual há dados para os três anos de avaliação. Optou-se por não fazer extrapolações para cotas altimétricas superiores à cota da data da imagem que utilizou-se para confecção do limite do reservatório a fim de se evitar erros.

Tabela 07 . Comparação dos parâmetros morfométricos do reservatório de Igarapava para a cota 511,51m

Parâmetros morfométricos	Avaliação morfométrica		
	2009	2011	2012
Área (m <sup>2</sup> )	31.974.269,04	32.018.488,86	34.154.178,81
Volume (m <sup>3</sup> )	251.237.248,90	277.257.501,69	246.803.767,68

Como se pode observar, o volume encontrado no ano de 2012 foi inferior aos volumes encontrados nos anos de 2011 (12,05%) e 2009 (1,76%). No entanto, a área encontrada na estimativa realizada no presente trabalho foi 6,38% maior que no ano de 2009 e 6,67% maior que no ano de 2011. Acredita-se que essas diferenças sejam em função da geração da base cartográfica. A base cartográfica do ano de 2011 foi gerada no relatório da MicroArs utilizando imagem do *Google Earth*. Investigando imagens para a área do reservatório de Igarapava no *Google Earth Pro*, observou-se que estas se apresentaram em composição de mosaicos de imagens de satélite de diferentes datas. Os erros observados entre estes mosaicos ultrapassavam 5 m em algumas áreas. Para fins de demonstração, um limite utilizando imagem do *Google Earth* foi confeccionado e postado juntamente com o limite criado para o presente trabalho (Fig. 49). É possível observar grandes diferenças entre os dois limites. Portanto, acredita-se que seja esta a razão para as grandes diferenças estimadas de área para o reservatório de Igarapava dos anos de 2009 e 2011 comparando-se com o ano de 2012.

Tabela 08. Volume e percentual de perda de volume por estrato nas estimativas realizadas nos anos de 2009, 2011 e 2012.

Cota	Volume (m <sup>3</sup> )			Perda de volume (%)	
	2009	2011	2012	2009-2012	2011-2012
511,96	-	-	262.431.559,45	-	-
511,51	251.237.248,90	277.257.501,69	246.803.767,68	1,76	10,98
510	205.355.979,23	228.125.392,58	200.625.318,17	2,3	12,05
505	92.135.721,94	104.492.713,58	92.526.997,72	0	11,45
500	35.248.042,83	38.847.775,56	36.723.141,56	0	5,47
495	10.909.229,74	12.492.391,14	11.376.220,37	0	8,93
490	2.184.370,56	2.951.546,81	2.237.178,01	0	24,2
485	317.221,44	571.427,51	324.147,55	0	43,27
480	35.796,44	67.082,98	55.665,62	0	17,02
475	4.929,26	5.986,51	8.031,80	0	0
470	0	37,77	419,4	0	0

Comparando-se as estimativas de volume dos três anos (2009, 2011 e 2012) por estrato, é possível perceber que entre os anos de 2009 e 2011 as perdas de volume foram significativas até a cota 510m do reservatório (Tab. 08). Segundo Carvalho et al. (2000) nos reservatórios total ou parcialmente assoreados, o assoreamento visível geralmente é a menor parte do depósito, o que foi observado por Santos (2012) no reservatório de Vargem das Flores. No entanto, o reservatório de Igarapava apresentou, comparando a estimativa atual com a de 2009, uma maior perda de volume nos estratos mais superficiais.



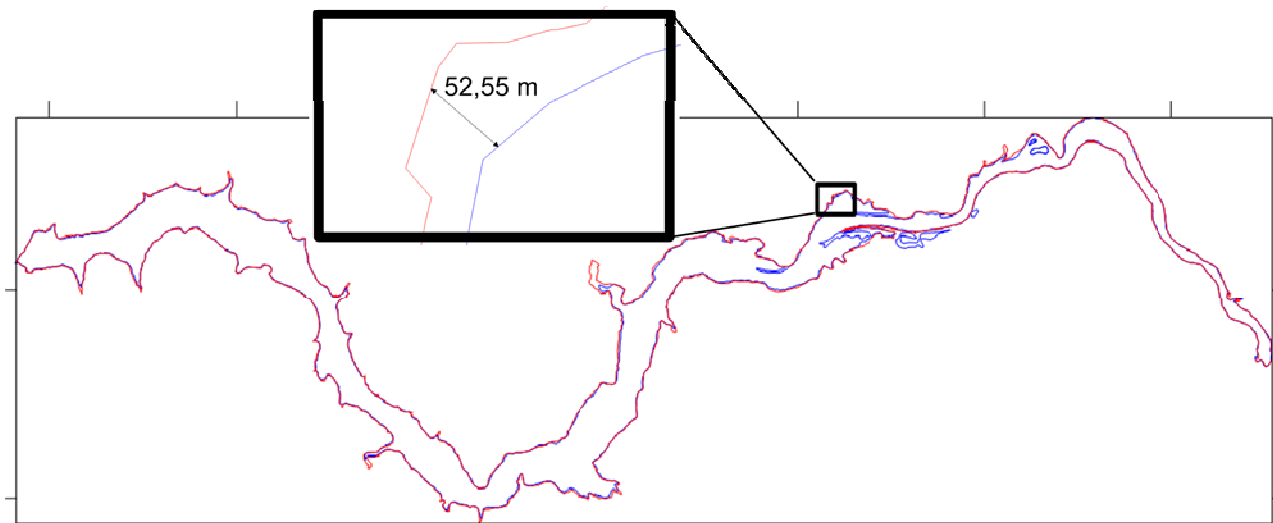


Fig. 49. Limites do reservatório de Igarapava. Em vermelho shape confeccionado utilizando imagem do *Google Earth* e em azul o shapefile da orla confeccionado utilizando imagem RGB345 Landsat 5 TM de 15/06/2011. Em destaque no retângulo, uma região com distorção de mais de 50m entre os limites.

Para melhor visualização da região onde o reservatório sofreu maior deposição de sedimentos, uma carta batimétrica foi confeccionada, detalhando apenas as cotas mais assoreadas do reservatório (511,51 m e 510 m), que equivalem aos intervalos de profundidades respectivamente de 0 – 0,45 m e 0,45 – 1,96 m (Fig. 50). As setas indicam as áreas que possivelmente mais contribuíram para o assoreamento da represa. A seta 1 indica uma região que tem como atividade uma intensa extração de areia (de 200-300 m<sup>3</sup> por dia). Essa atividade é realizada em grande parte do reservatório, mas especificamente nesta região que está representada pela seta 1.

O presente estudo sugere que a atividade extrativa de areia que ocorre no reservatório de Igarapava pode estar contribuindo de modo conspícuo para o assoreamento deste corpo de água. Assim, a retirada de areia do fundo, revolve necessariamente sedimento finos e grossos. Após a coleta da fração arenosa, o material particulado fino (que contém inclusive muitos nutrientes e matéria orgânica) é disponibilizado para a coluna d'água e forma as "plumas" ou "bolsões tróficos" no ambiente em questão (ver adiante). Esse sedimento mais fino (argila, silte) ao encontrar uma barreira física ou sofrer uma diminuição da velocidade das correntes novamente se deposita. No caso de Igarapava, observa-se que este depósito ocorre nos estratos mais superficiais, o que explicaria a perda de volume e área nestas cotas.

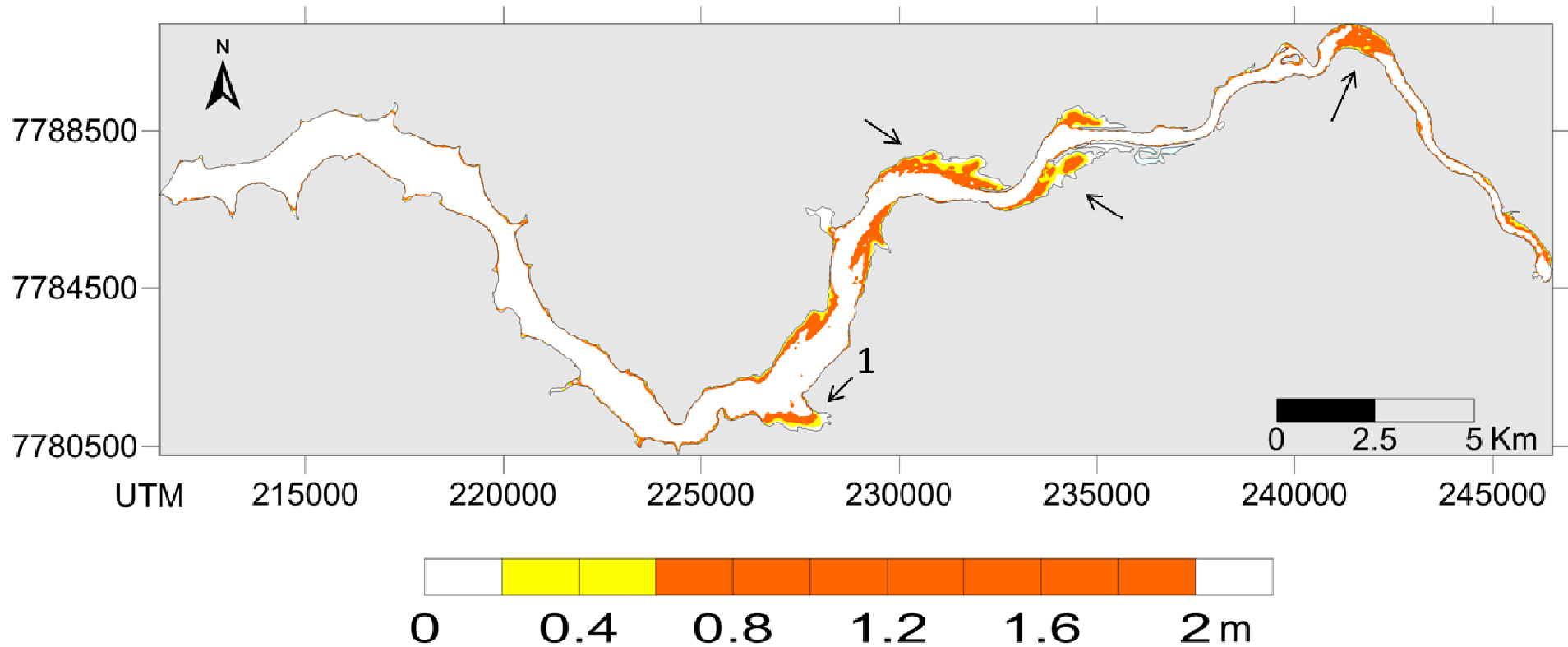


Fig. 50 -. Reservatório de Igarapava destacado em cores as regiões de ocorrência dos intervalos de profundidade de 0 – 0,45m e 0,45 – 1,96m, referentes aos estratos respectivamente 811,51m (em amarelo) e 810m (em vermelho). Estes estratos representam a camada onde houve maior perda de volume da represa comparando os dados do ano de 2009 com o atual.

## 4.2 ESTUDOS LIMNOLÓGICOS

Todos os pontos de coletas foram visitados entre os dias 7 e 9 de agosto de 2012 (Tab. 09). Os valores de oxigênio, pH, turbidez, transparência (Secchi) e sólidos em suspensão e sedimentáveis são típicos de um reservatório oligotrófico (Tab. 10). A transparência da água chegou a atingir 8,0 metros ou mais em alguns pontos (IG 04, IG 05, IG 09, IG 18, IG 19, IG 20, IG 21, IG 22, IG 24 e IG 25). Entretanto, essa variável sofreu uma redução para valores na faixa 2,0 - 3,0 metros nos pontos IG 13, IG 17, e no ponto IG 28. Um padrão muito similar foi observado para a turbidez que também apresentou seus menores valores nos pontos IG 13, IG 14, IG 17 (5,36 NTU) e IG 29.

Os valores de pH e oxigênio são típicos de um lago com uma boa qualidade de água (Tab. 10). O pH (na sub-superfície, a 0,5 m) permaneceu acima de 7,0 em todos os pontos de coletas. Os índices de oxigênio dissolvido variaram de 5,56 e 7,97 mg.L<sup>-1</sup>. Os valores de sólidos em suspensão foram muito baixos assim como os teores de sólidos sedimentáveis .

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi igualmente caracterizada por valores baixos, típicos de ambientes oligotróficos e variou entre 2,46 mg.L<sup>-1</sup> (IG 12) e 7,86 mg.L<sup>-1</sup> (IG 24). A demanda química de oxigênio foi bem mais elevada e variou entre 3,0 mg.L<sup>-1</sup> e 39,0 mg.L<sup>-1</sup> (IG 19). Essa variável manteve uma relação com o DBO apresentando quase sempre valores mais elevados, numa proporção DBO:DQO que variou entre 1:4 a 1:9, como seria de se esperar. Um fato que chamou a atenção refere-se aos níveis elevados de óleos e graxas na represa. Embora muitos pontos não tenham apresentado indícios desse tipo e contaminação, merecem destaque os valores dessa variável para os pontos IG 02, IG 04 e IG 05 (Tab. 11). Normalmente, os teores de óleos e graxas podem estar associados a atividade de extração mineral ou mesmo à entrada de fontes pontuais ou difusas contendo efluentes domésticos (óleo de cozinha) ou não doméstico (óleos e lubrificantes automotivos).

O reservatório de Igarapava não apresentou valores elevados tanto para o sulfeto quanto para os sulfatos. Os valores para essas variáveis ficaram sempre abaixo de 1,0 mg.L<sup>-1</sup> (exceto para o ponto IG 03, para os sulfatos). A represa também não apresentou índices elevados de coliformes termotolerantes sendo que o NMP por 100 mL sempre permaneceu abaixo de 20.

Os teores das diversas formas (espécies) dos nutrientes potencialmente limitantes para a produção primária (N e P) bem como as concentrações de clorofila-a estão

representados na Tab. 12. Ao contrário das variáveis físico-químicas básicas (Tab. 10) e das variáveis ligadas a contaminação orgânica (Tab. 11), o reservatório de Igarapava apresentou valores de nitrogênio e fósforo que não são propriamente típicos de um lago oligotrófico. Os nitratos, por exemplo, são uma espécie de nitrogênio inorgânico tipicamente associada ao *run off* de atividades agropastoris. No presente estudo, as concentrações dessa espécie química variaram entre 21 (IG 03) e 68,2  $\mu\text{g.L}^{-1}$  de  $\text{N-NO}_3$  (IG 23). O nitrogênio total, que engloba tanto as espécies inorgânicas de nitrogênio quanto o nitrogênio de origem orgânica, apresentou concentrações que variaram entre 196 e 448 (IG 13)  $\text{mg.L}^{-1}$  (Tab. 12). Chamam atenção também os teores de fósforo dissolvido que variaram entre 7,0 e 18,0  $\mu\text{g.L}^{-1}$  de  $\text{P-PO}_4$ . Entretanto, o reservatório apresentou níveis extremamente baixos de clorofila-a em todas os pontos de coleta ( $<1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ ). Esse descompasso entre os níveis de nitrogênio e fósforo e os teores de clorofila-a deve-se fundamentalmente à elevada hidrodinâmica de um reservatório tipo “fio de água” com pequeno tempo de residência. Certamente, os níveis desses nutrientes irão impactar os reservatórios mais a jusante na cadeia de reservatórios do rio Grande que possuam um tempo de detenção mais elevado (ex: reservatório de Volta Grande).

É importante destacar que a maioria das variáveis apresentadas nas Tabs. 10, 11 e 12 apresentou variações espaciais nítidas e coincidentes em muitos casos (ex: transparência e turbidez). Mesmo considerando os valores baixos de algumas delas (clorofila-a, por exemplo) é muito importante conhecer e entender as causas dessas variações espaciais especialmente quando estamos interessados em identificar mesmo que precocemente possíveis fontes de poluição ou de degradação da qualidade de água do reservatório. Esses padrões serão oportunamente discutidos (ver adiante).



Tab. 09 – Coordenadas geográficas, data e horário das coletas limnológicas realizadas no Reservatório de Igarapava (SP-MG).

Id. do ponto	Data	Hora	Coordenadas Geográficas (esféricas)		Coordenadas Geográficas (Planas UTM)	
			Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
IG 01	07/08/2012	10:04	-19,991258	-47,74819	77877127,42	212424,81
IG 02	07/08/2012	10:59	-19,991975	-47,728022	7787082,06	214536,92
IG 03	07/08/2012	11:25	-19,981077	-47,717686	7788306,68	215599,58
IG 04	07/08/2012	15:23	-19,987082	-47,697731	7787675,35	217699,78
IG 05	07/08/2012	12:42	-19,994925	-47,685475	7786827,31	218996,90
IG 06	07/08/2012	13:32	-20,007918	-47,674479	7785406,72	220171,12
IG 07	07/08/2012	13:50	-20,017296	-47,673492	7784369,78	220291,10
IG 08	07/08/2012	14:11	-20,025754	-47,667025	7783443,83	220982,98
IG 09	07/08/2012	14:27	-20,031182	-47,658328	7782857,17	221902,86
IG 10	07/08/2012	14:45	-20,04084	-47,647669	7781805,22	223035,49
IG 11	08/08/2012	09:05	-20,048595	-47,639574	7780959,77	223896,33
IG 12	08/08/2012	09:36	-20,042464	-47,623628	7781665,13	225554,58
IG 13	08/08/2012	09:57	-20,047106	-47,605381	7781180,86	227472,33
IG 14	08/08/2012	10:14	-20,036093	-47,608165	7782396,05	227161,98
IG 15	08/08/2012	10:37	-20,025746	-47,597708	7783558,98	228238,60
IG 16	08/08/2012	10:59	-20,014476	-47,593497	7784813,89	228660,06
IG 17	08/08/2012	11:16	-20,000184	-47,599029	7786387,74	228056,37
IG 18	08/08/2012	11:29	-20,0032	-47,587039	7786073,19	229316,69
IG 19	08/08/2012	11:44	-19,993799	-47,57908	7787127,13	230133,87
IG 20	08/08/2012	12:02	-19,995861	-47,562349	7786925,68	231889,00
IG 21	08/08/2012	13:00	-19,989492	-47,543663	7787660,91	233834,49
IG 22	08/08/2012	13:17	-19,980565	-47,538202	7788658,14	234391,21
IG 23	08/08/2012	10:00	-19,98393	-47,523548	7788308,61	235930,99
IG 24	09/08/2012	10:04	-19,982687	-47,511316	7788465,52	237209,61
IG 25	09/08/2012	10:09	-19,978426	-47,50425	7788948,48	237942,24
IG 26	09/08/2012	10:13	-19,971157	-47,496549	7799765,46	238736,54
IG 27	09/08/2012	10:23	-19,968414	-47,485623	7790086,28	239876,07
IG 28	09/08/2012	10:29	-19,964221	-47,476341	7790564,98	240840,98
IG 29	09/08/2012	10:37	-19,696207	-47,460823	7790036,70	242473,89
IG 30	09/08/2012	10:41	-19,983186	-47,453604	7788609,35	243241,40

Tab. 10 – Valores de oxigênio dissolvido, pH, turbidez e transparência pelo disco de Secchi no reservatório de Igarapava em agosto de 2012.

Ponto	OD (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	Secchi (m)	Sólidos Orgânicos (mg/L)	Sólidos Inorgânicos (mg/L)	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)
IG 01	6,14	7,5	1,62	5,9	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 02	5,56	8,0	1,05	5,3	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 03	5,79	8,0	0,88	6,2	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 04	6,04	7,9	0,90	8,1	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 05	5,92	7,9	0,87	8,6	0,001	0,0	0,001	0,0
IG 06	6,02	7,9	0,95	7,3	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 07	5,60	7,8	0,85	7,3	0,003	0,0	0,003	0,0
IG 08	5,52	7,8	1,18	6,5	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 09	5,64	7,8	0,93	8,0	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 10	6,44	8,0	0,70	7,6	0,000	0,0	0,000	0,0
IG 11	6,08	7,8	0,92	6,1	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 12	6,63	8,0	1,07	7,1	0,000	0,0	0,000	0,0
IG 13	6,35	7,8	1,68	3,0	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 14	6,52	7,9	1,51	7,9	0,000	0,0	0,000	0,0
IG 15	6,89	7,8	1,07	7,0	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 16	6,73	7,8	1,25	6,2	0,000	0,0	0,000	0,0
IG 17	6,96	7,8	5,36	2,0	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 18	7,03	7,8	0,73	8,0	0,000	0,0	0,000	0,0
IG 19	6,69	7,7	1,09	9,1	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 20	6,90	7,7	1,07	9,0	0,000	0,0	0,000	0,0
IG 21	7,08(*)	7,7	1,06	10,0	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 22	7,03(*)	7,7	0,76	8,2	0,000	0,0	0,000	0,0
IG 23	7,90(*)	7,6	1,09	10,3	0,001	0,0	0,001	0,0
IG 24	7,86(*)	7,5	0,80	9,0	0,000	0,0	0,000	0,0
IG 25	7,89(*)	7,7	0,64	12,0	0,002	0,0	0,002	0,0
IG 26	7,85(*)	7,7	0,64	7,1	0,000	0,0	0,000	0,0
IG 27	7,95(*)	7,7	0,64	7,7	0,001	0,0	0,001	0,0
IG 28	7,97(*)	7,7	0,77	3,4	0,000	0,0	0,000	0,0
IG 29	7,93(*)	7,6	1,61	6,0	0,001	0,0	0,001	0,0
IG 30	7,87(*)	7,7	0,88	3,5	0,000	0,0	0,000	0,0

Observação: (\*) determinações feitas com a sonda YSI 6600v2. As demais foram determinadas com a sonda Hanna laboratorial.

Tab.11 – Valores da demanda bioquímica de oxigênio (DBO, 5 dias, 20C), da demanda química de oxigênio (DQO) , óleos e graxas, sulfetos e sulfatos no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (prof. 0,5m).

Ponto	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Óleos e Graxas (mg/L)	Sulfetos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)*
IG 01	3,3	16,0	4,0	0,6	0,8	< 2
IG 02	3,8	25,0	20,0	0,2	0,0	14
IG 03	4,1	38,0	8,0	0,1	10,8	2
IG 04	2,9	24,0	22,0	0,0	0,0	< 2
IG 05	3,6	39,0	24,0	0,7	0,0	4
IG 06	3,6	12,0	0,0	0,4	0,0	< 2
IG 07	3,4	26,0	0,0	0,8	0,0	8
IG 08	3,0	12,0	4,0	0,7	0,8	4
IG 09	2,6	30,0	6,0	0,7	2,6	2
IG 10	3,8	17,3	0,0	0,8	1,1	17
IG 11	6,3	23,6	14,0	0,7	1,1	< 2
IG 12	2,5	22,5	6,0	0,5	1,4	2
IG 13	3,5	3,6	5,0	0,4	1,6	4
IG 14	4,3	25,0	8,0	0,4	0,0	4
IG 15	4,0	11,3	11,0	0,2	1,3	2
IG 16	3,0	10,9	4,2	0,5	0,0	< 2
IG 17	5,2	20,0	4,2	0,4	0,9	4
IG 18	3,4	7,9	2,8	0,5	1,2	< 2
IG 19	3,4	39,0	3,2	0,2	0,0	< 2
IG 20	4,3	14,8	6,0	0,4	0,0	2
IG 21	3,2	8,4	3,4	0,3	0,0	2
IG 22	3,7	11,7	4,8	0,5	0,0	9
IG 23	3,9	18,5	2,4	0,6	1,1	4
IG 24	7,9	6,6	3,6	0,5	0,3	7
IG 25	4,3	12,6	0,0	0,6	1,4	< 2
IG 26	5,0	10,4	3,4	0,5	0,0	< 2
IG 27	4,1	6,0	1,6	0,4	0,0	2
IG 28	4,8	23,3	3,2	0,9	0,3	2
IG 29	-	36,8	7,2	0,6	0,0	-
IG 30	3,3	8,4	6,2	0,5	0,8	< 2

Tab. 12 – Concentrações sub-superficiais de nitritos, nitratos, amônio, fósforo total, fósforo solúvel, Nitrogênio total e clorofila-a no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 07 e 08 de agosto de 2012.

Ponto	Nitritos (µg/l)	Nitratos (µg/L)	Amônio (µg/L)	Fósforo Solúvel (µg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Clorofila (µg/L)
IG 01	0,0	46,9	0,0	7,0	336,0	0,00
IG 02	0,0	61,0	0,0	9,0	252,0	0,22
IG 03	0,0	21,0	0,0	9,0	308,0	0,00
IG 04	0,0	26,0	0,0	8,0	252,0	0,00
IG 05	0,0	33,2	0,0	9,0	308,0	0,00
IG 06	0,0	37,3	0,0	11,0	168,0	0,44
IG 07	0,0	32,5	0,0	10,0	252,0	0,00
IG 08	0,0	31,0	0,0	12,0	252,0	0,00
IG 09	0,0	32,7	0,0	12,0	308,0	0,00
IG 10	0,0	37,5	0,0	17,0	364,0	0,00
IG 11	0,0	38,6	0,0	15,0	308,0	0,44
IG 12	0,0	37,5	0,0	16,0	392,0	0,44
IG 13	0,0	36,4	0,0	15,0	448,0	0,00
IG 14	0,0	41,9	0,0	7,0	392,0	0,00
IG 15	0,0	39,5	0,0	9,0	392,0	0,00
IG 16	0,0	39,7	0,0	10,0	308,0	0,00
IG 17	0,0	33,6	0,0	11,0	448,0	0,22
IG 18	0,0	41,9	0,0	11,0	252,0	0,00
IG 19	0,0	34,5	0,0	12,0	336,0	0,22
IG 20	0,0	44,3	0,0	14,0	196,0	0,00
IG 21	0,0	65,8	0,0	17,0	588,0	0,00
IG 22	0,0	55,1	0,0	18,0	476,0	0,22
IG 23	0,0	68,2	0,0	14,0	448,0	0,22
IG 24	0,0	58,8	0,0	15,0	392,0	0,00
IG 25	0,0	48,4	0,0	15,0	448,0	0,22
IG 26	0,0	52,7	0,0	19,0	448,0	0,22
IG 27	0,0	50,4	0,0	15,0	420,0	0,22
IG 28	0,0	57,3	0,0	16,0	336,0	0,00
IG 29	0,0	47,3	0,0	15,0	392,0	0,00
IG 30	0,0	43,0	0,0	14,0	252,0	0,44

Observação: Nitratos em  $\mu\text{g.L}^{-1} \text{N-NO}_3^-$ , Nitritos em  $\mu\text{g.L}^{-1} \text{N-NO}_2^-$ , amônio em  $\mu\text{g.L}^{-1} \text{N-NH}_3^-$ , fósforo em  $\mu\text{g.L}^{-1} \text{P-PO}_4^{-3}$ .



#### 4.2.1- LIMNOLOGIA: PADRÕES VERTICAIS NA COLUNA D'ÁGUA RADIAÇÃO SOLAR (PAR E UV)

As medidas de penetração de radiação solar na coluna de água foram tomadas a partir da linha d'água até a profundidade de 1% da radiação incidente na superfície ( $I_0$ ). Uma importante métrica referente a essas medidas é o coeficiente de atenuação difusa da luz para o PAR,  $K_{d(PAR)}$  ( $m^{-1}$ ). No presente estudo, foram medidos dois tipos desse coeficiente, ou seja, o  $K_d$  (PAR), e para os comprimentos de onda na faixa do espectro visível (400 nm a 700 nm) e um outro  $K_d$  para a faixa da radiação ultravioleta,  $K_{d(UV-B)}$  a 340 nm ( $m^{-1}$ ).

As fórmulas usadas para as estimativas dos coeficientes de atenuação ( $K_d$ ) são dadas a seguir serão calculados pela regressão linear entre logaritmo natural dos valores de irradiância ( $I_d$ ) e a profundidade ( $z$ ). r:

$$I(z) = I(0) * [ e^{-kz} ]$$

$$\ln I(z) = -kz + \ln I(0)$$

Onde :

$I$ : intensidade de radiação medida em  $\mu\text{Watt.cm}^{-1}.\text{nm}^{-1}$  (rad. UV) ou em  $\mu\text{E.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  (rad. PAR)

$I_0$ : intensidade na superfície da água

$I_z$ : intensidade medida a uma dada profundidade ( $z$ : metros)

$K$ : coeficiente de atenuação.

O reservatório de Igarapava exibiu, durante o período de estudos, uma água altamente transparente que permite a penetração da radiação luminosa (PAR) a grandes profundidades (< 5,0 metros) (Figs. 51 a 80). Esse padrão foi recorrente em quase todos os pontos amostrados. Alguns perfis verticais de radiação PAR mostraram um desvio do padrão geral (ex: IG 07, IG 08, IG 13, IG 14, IG 17, IG 24). Essas variações podem ser explicadas devido a variações na nebulosidade no momento da aquisição dos dados.

Os valores de  $K_d$  para a radiação PAR variaram entre -0,2795 e - 0,5487 (Tab. 13). O maior valor (em módulo) foi observado no ponto IG 13, exatamente um dos pontos onde foram observadas menores transparências e maiores valores de turbidez (ver acima).

A radiação UV penetra muito menos na coluna de água e é exatamente por isso que os valores do  $K_d$  para a radiação ultravioleta foram, em módulo, muito mais elevados (Tab. 13). Os valores de  $K_d$  para a radiação UV na faixa espectral de 340 nm variaram entre -1,8156 (IG 27) e -4,1880 (IG 17) (Tab. 13). Dois aspectos são importantes de serem discutidos aqui. Em primeiro lugar, (a) os índices de radiação UV são muito menos afetados por variações bruscas de nebulosidade, tal como foi visto pelos  $K_d$  da radiação PAR. Em segundo lugar, (b) a radiação UV é fortemente absorvida pelas partículas orgânicas presentes no seston (em suspensão). Em consequência, os padrões de  $K_d$  devidos à radiação UV 340 nm refletiram muito bem as variações espaciais de matéria orgânica, em especial, o fitoplâncton, que são os organismos que se concentram mais junto à superfície da água. Mais adiante as relações espaciais entre os diferentes padrões revelados pelos  $K_d$  serão discutidas de modo apropriado.

# IG\_01

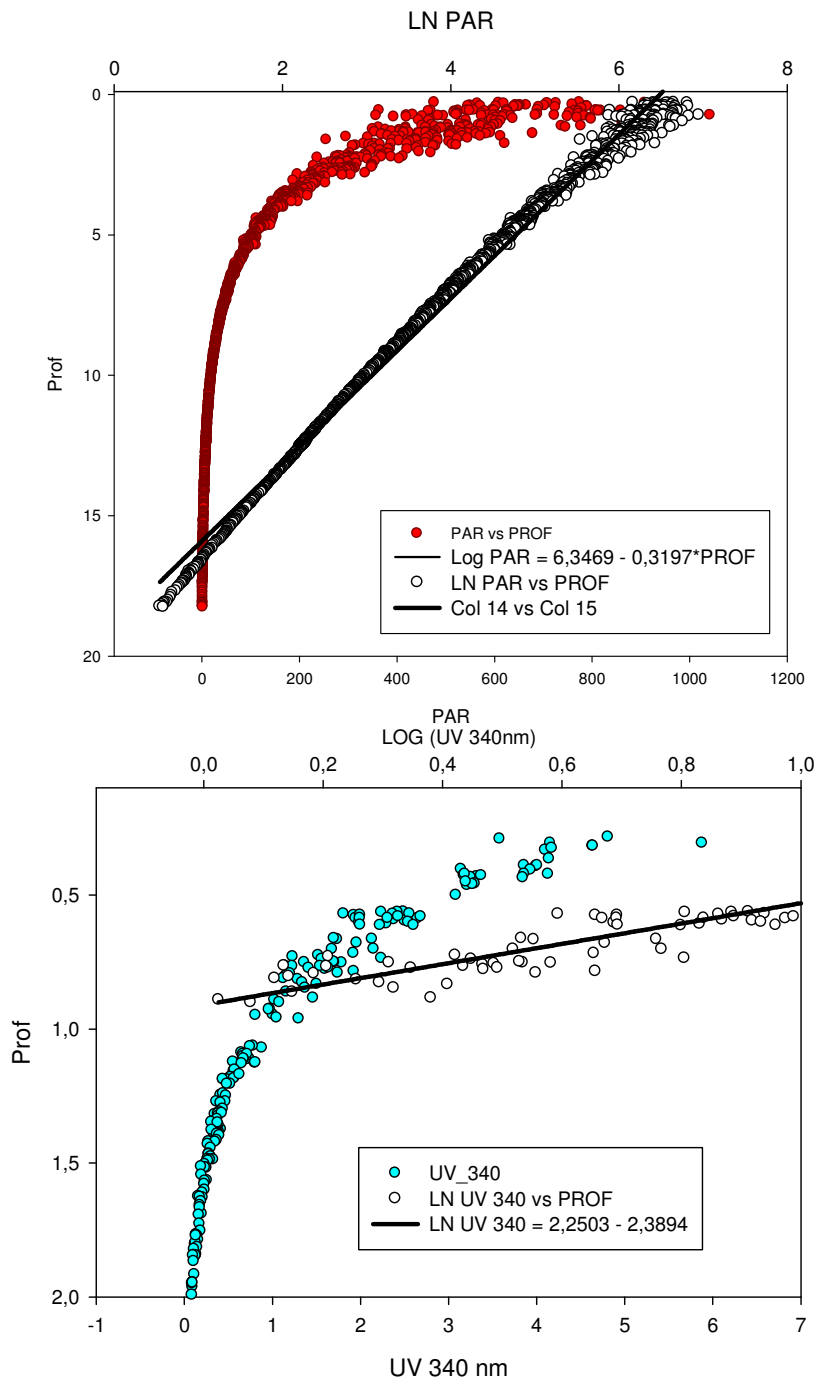


Fig. 51 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_01, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 07 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

## IG\_02

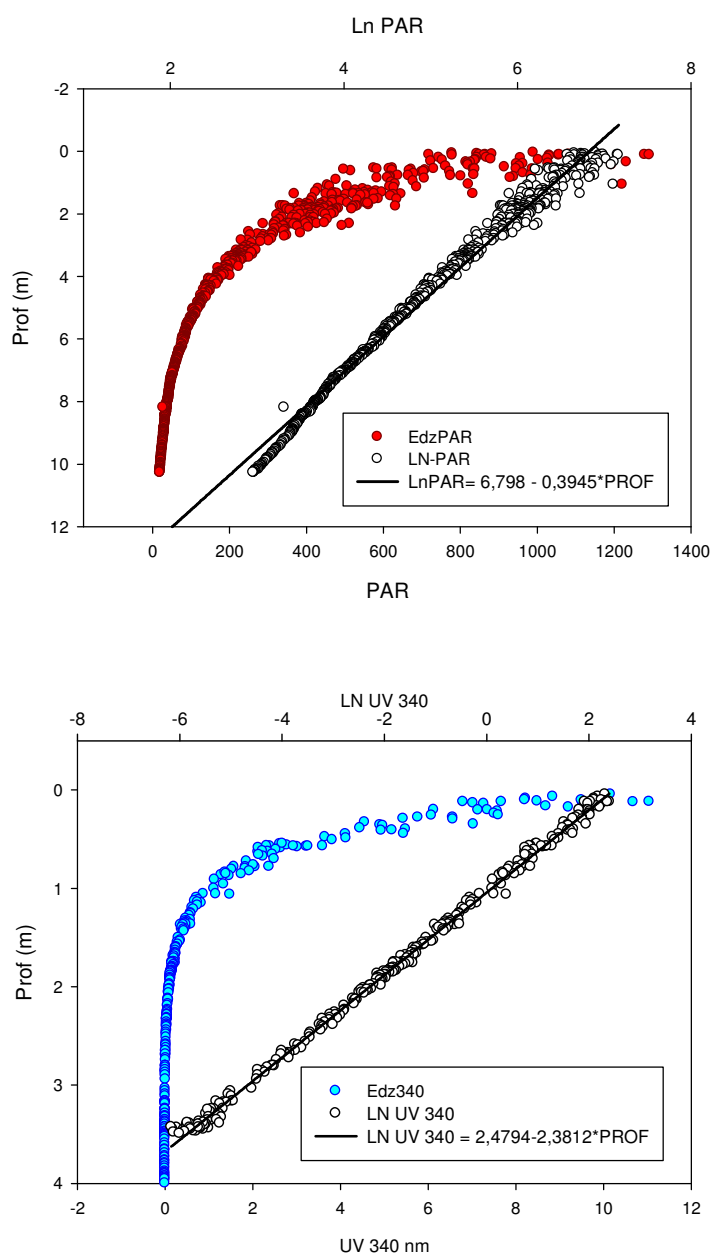


Fig. 52 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d'água do ponto de coleta IG\_02, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 07 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.



## IG 03

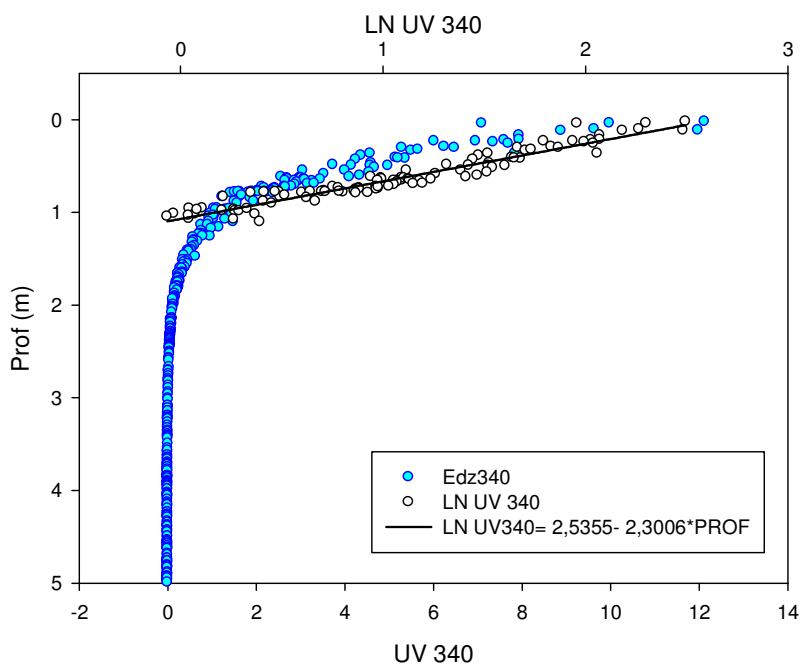
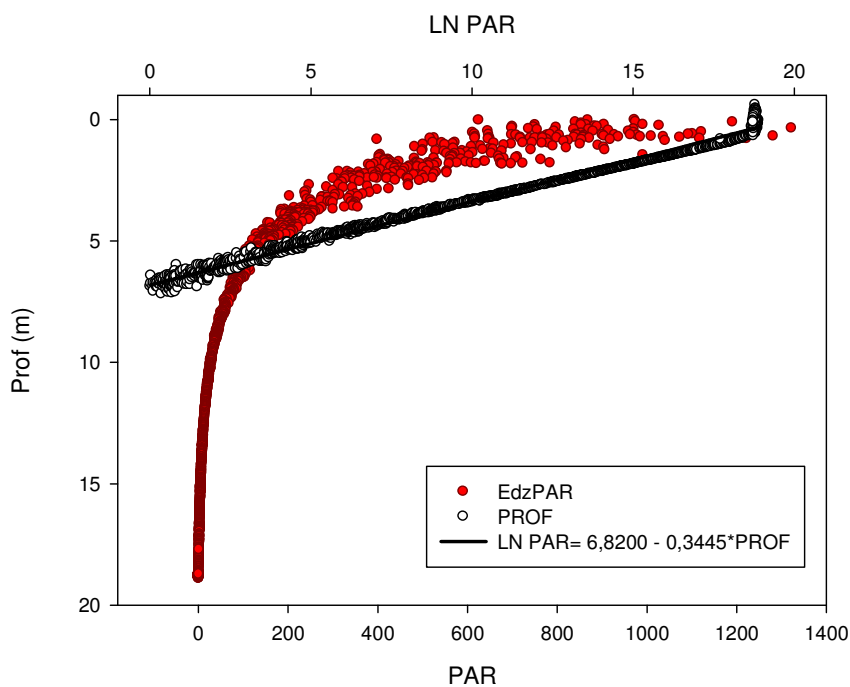


Fig. 53 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d'água do ponto de coleta IG\_03, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 07 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

## IG 04

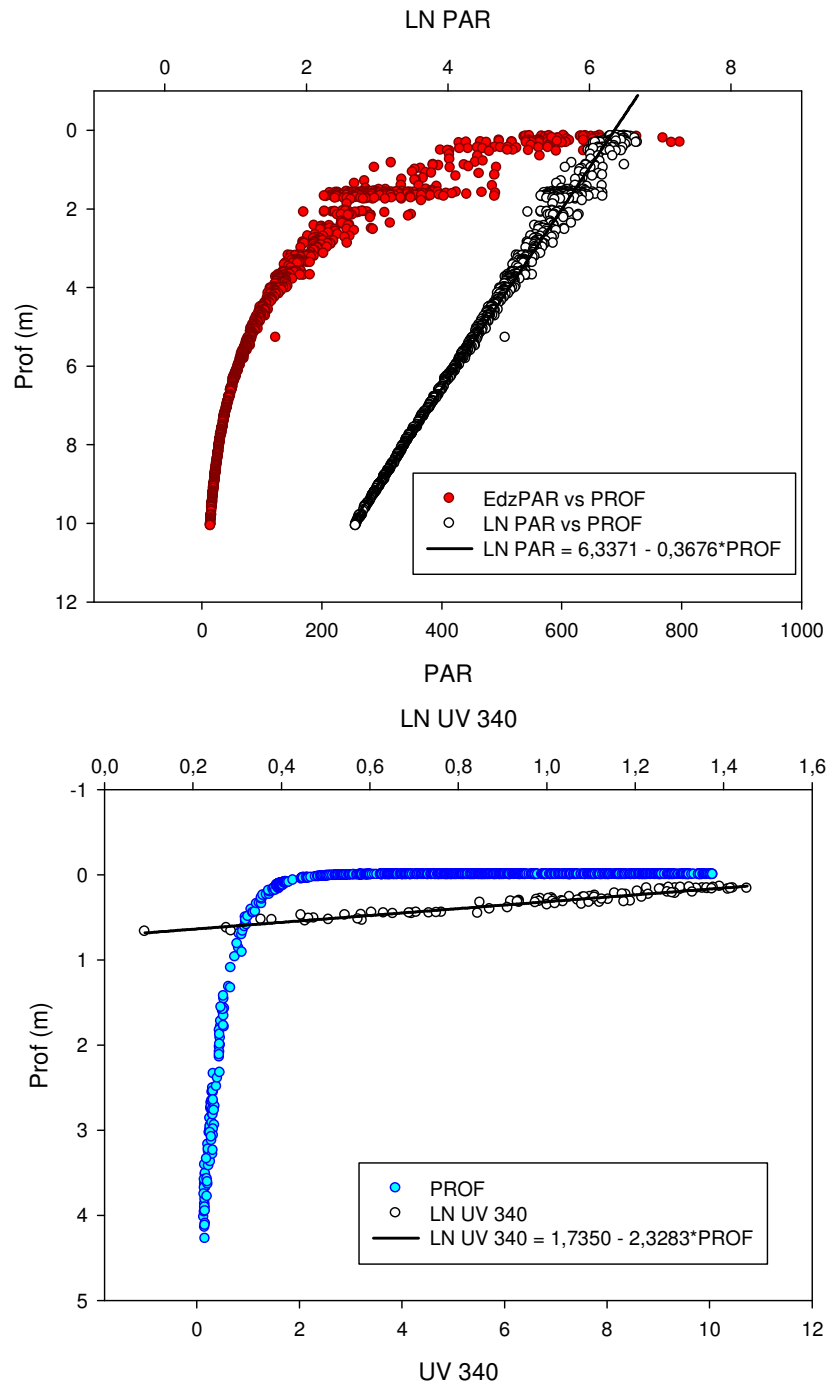


Fig. 54 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_04, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 07 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

## IG\_05

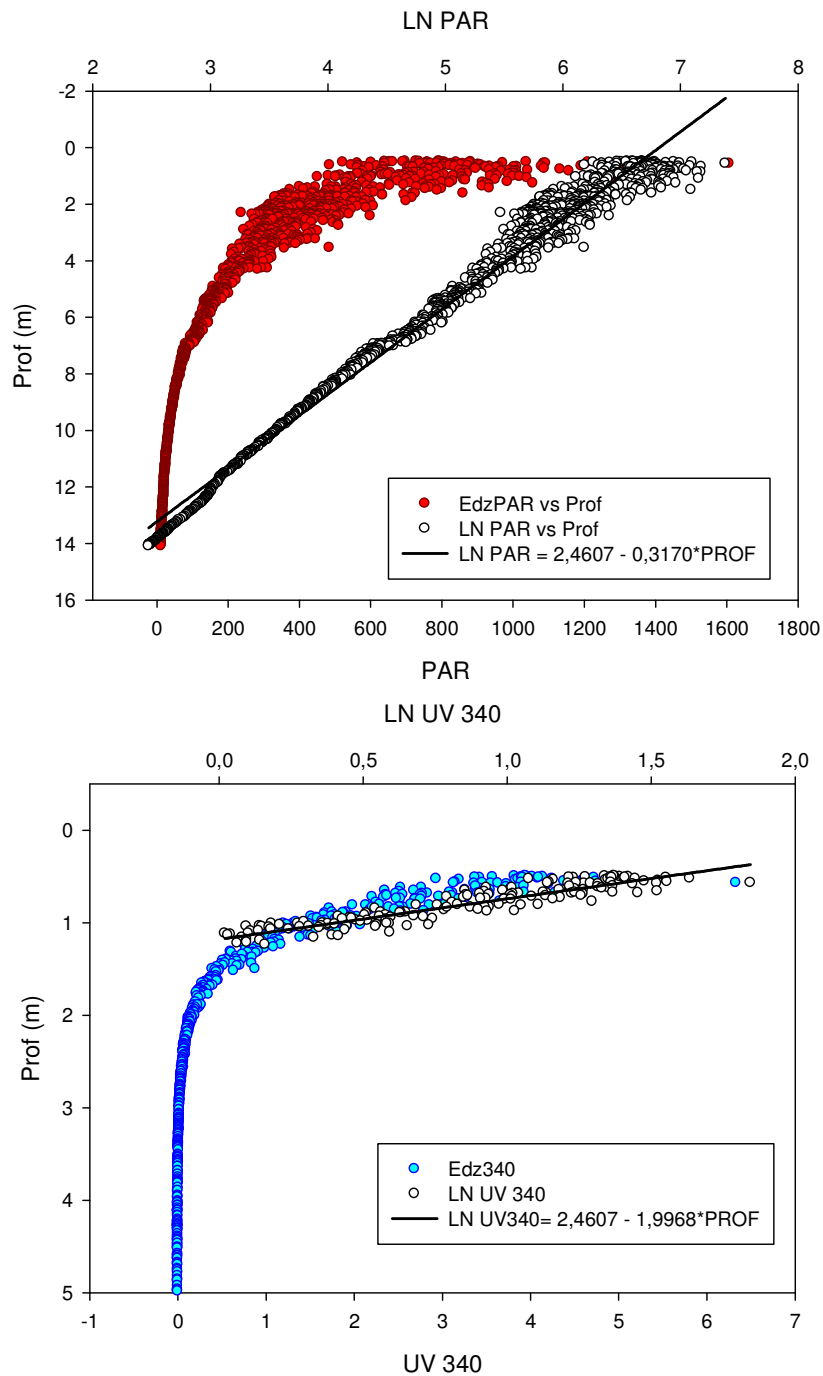


Fig. 55 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d'água do ponto de coleta IG\_05, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 07 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

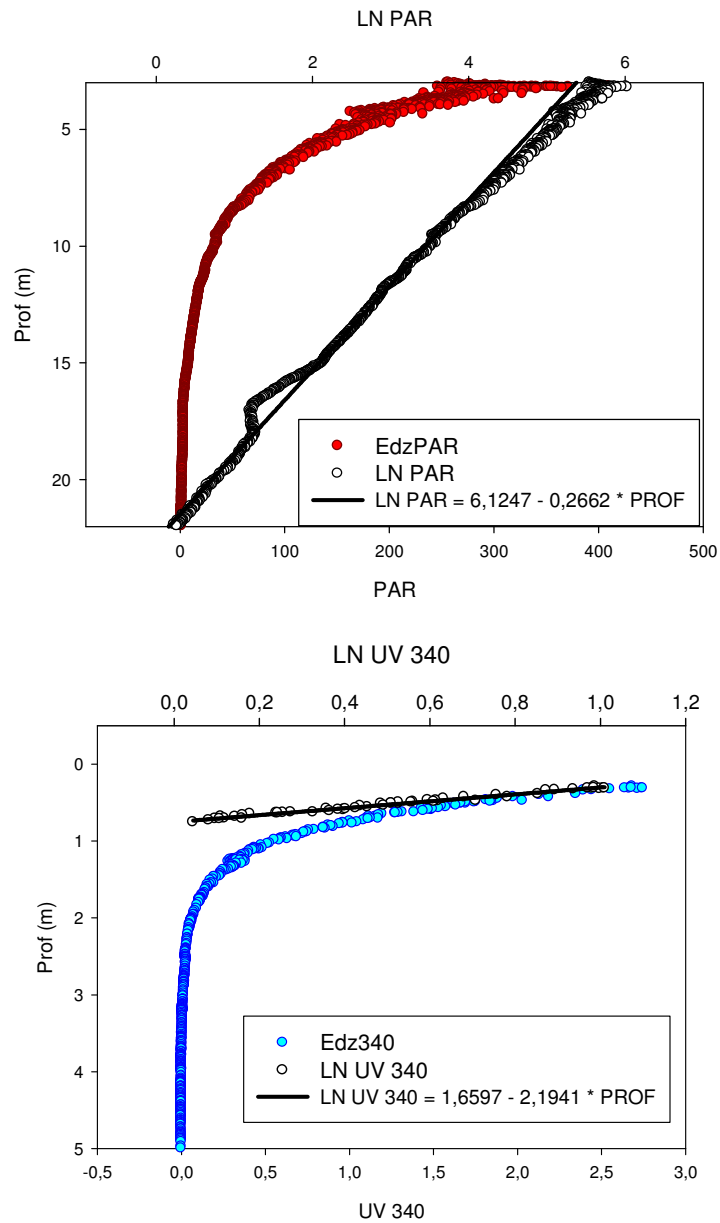


Fig. 56 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d'água do ponto de coleta IG\_06, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 07 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.



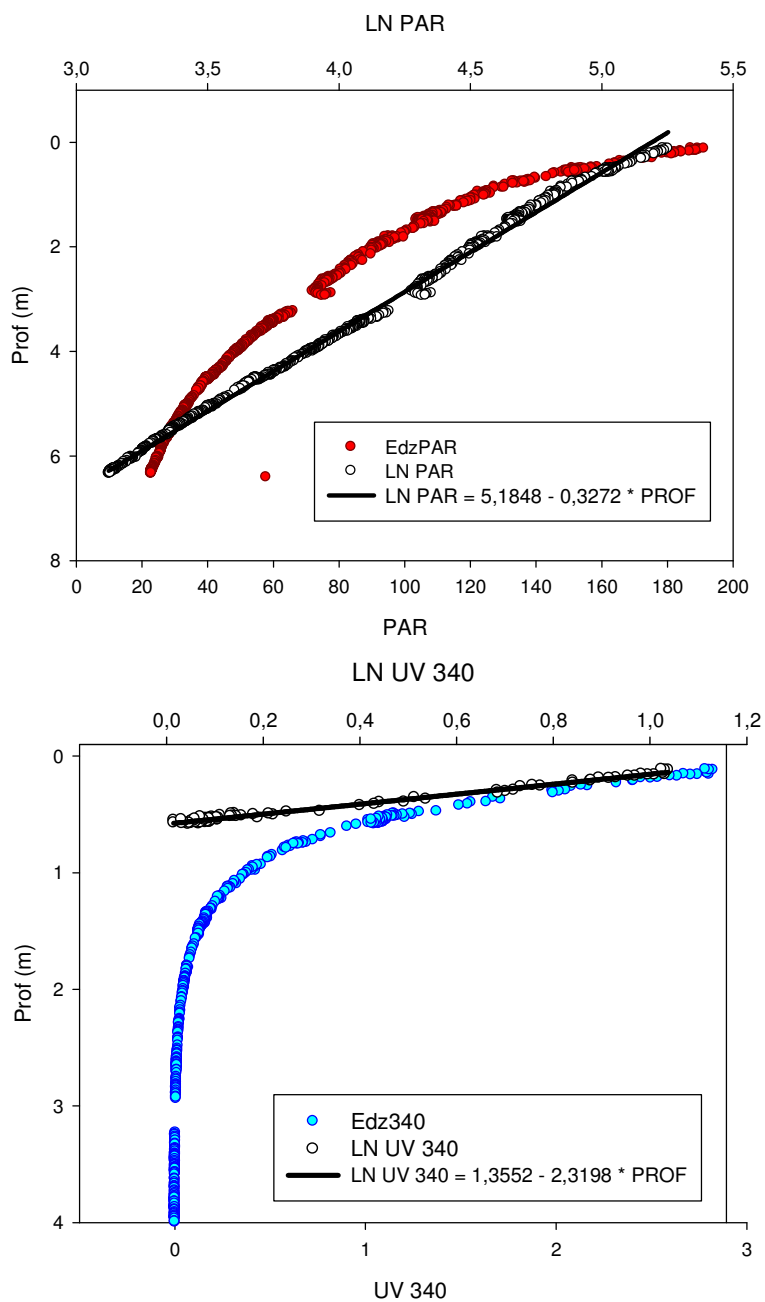


Fig. 57 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d'água do ponto de coleta IG\_07, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 07 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

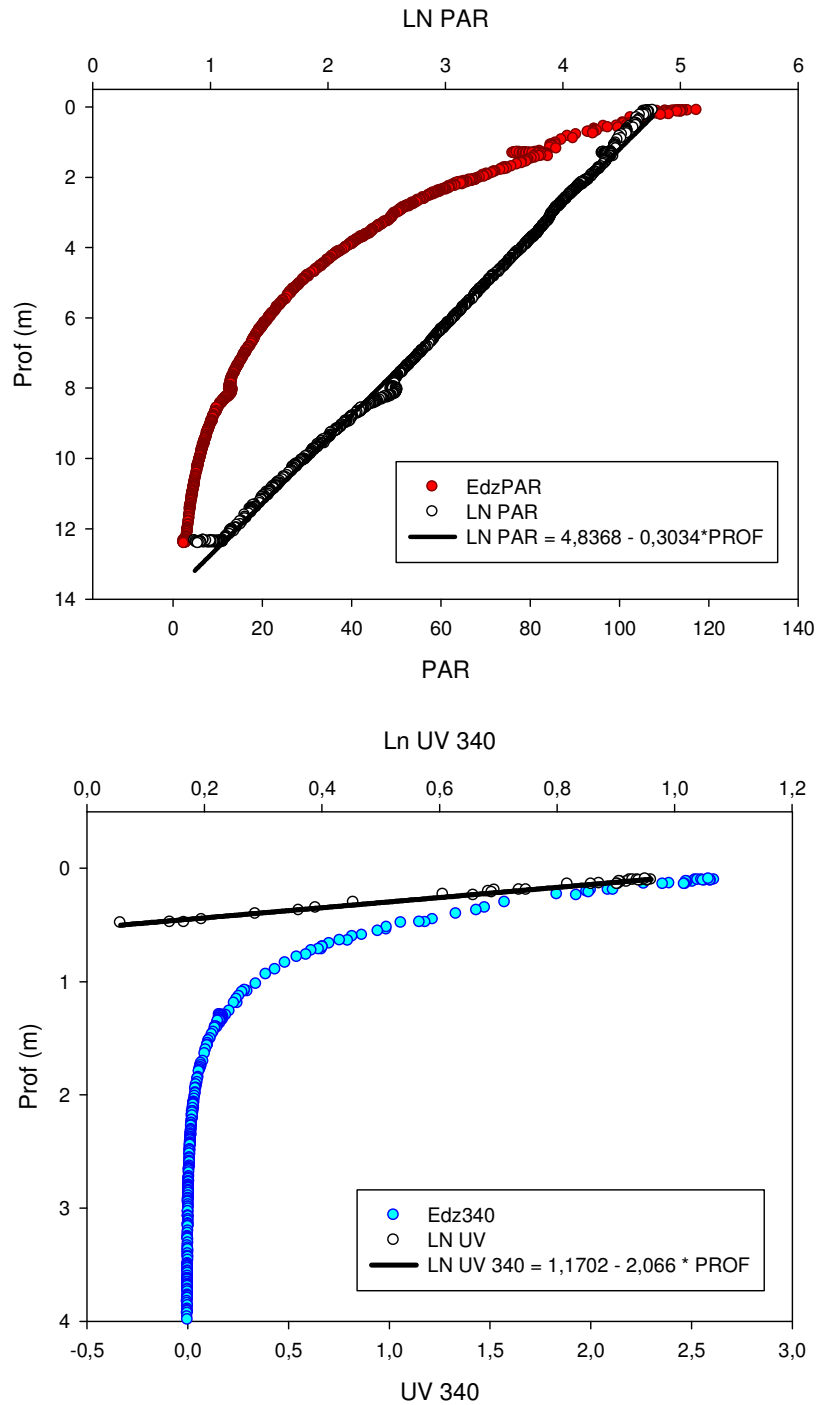


Fig. 58 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_08, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 07 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

# IG\_09

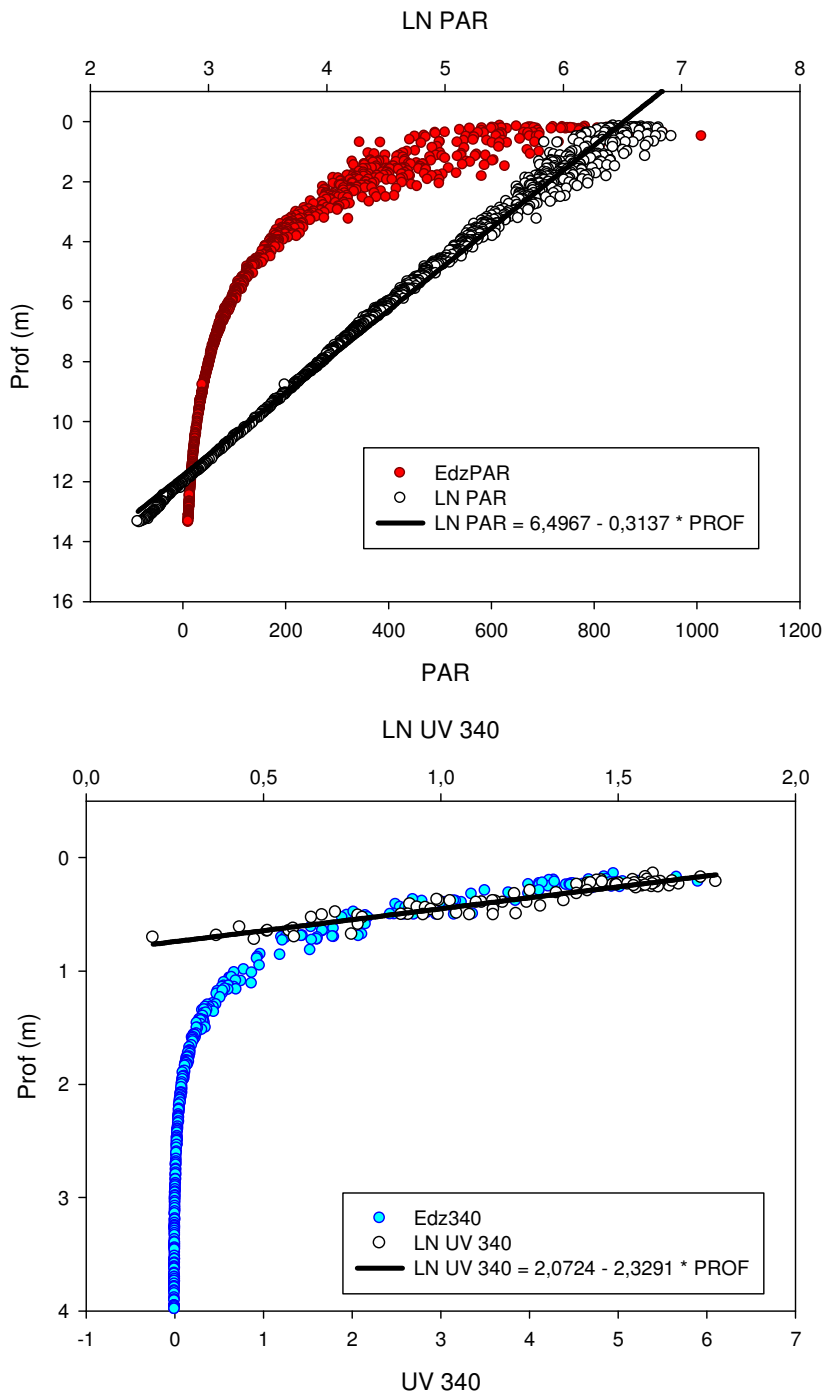


Fig. 59 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_09, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 07 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

# IG\_10

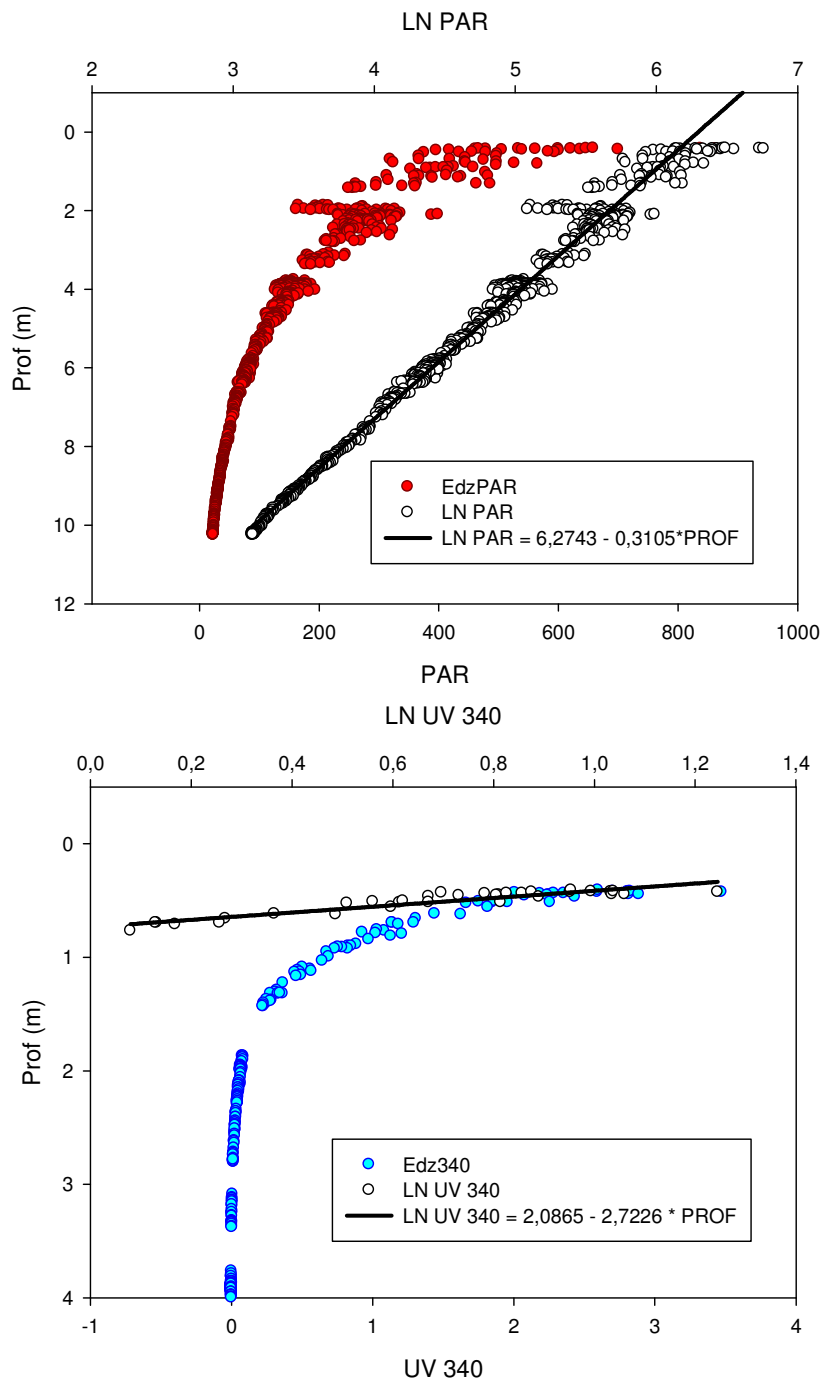


Fig. 60 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_10, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 07 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

# IG\_11

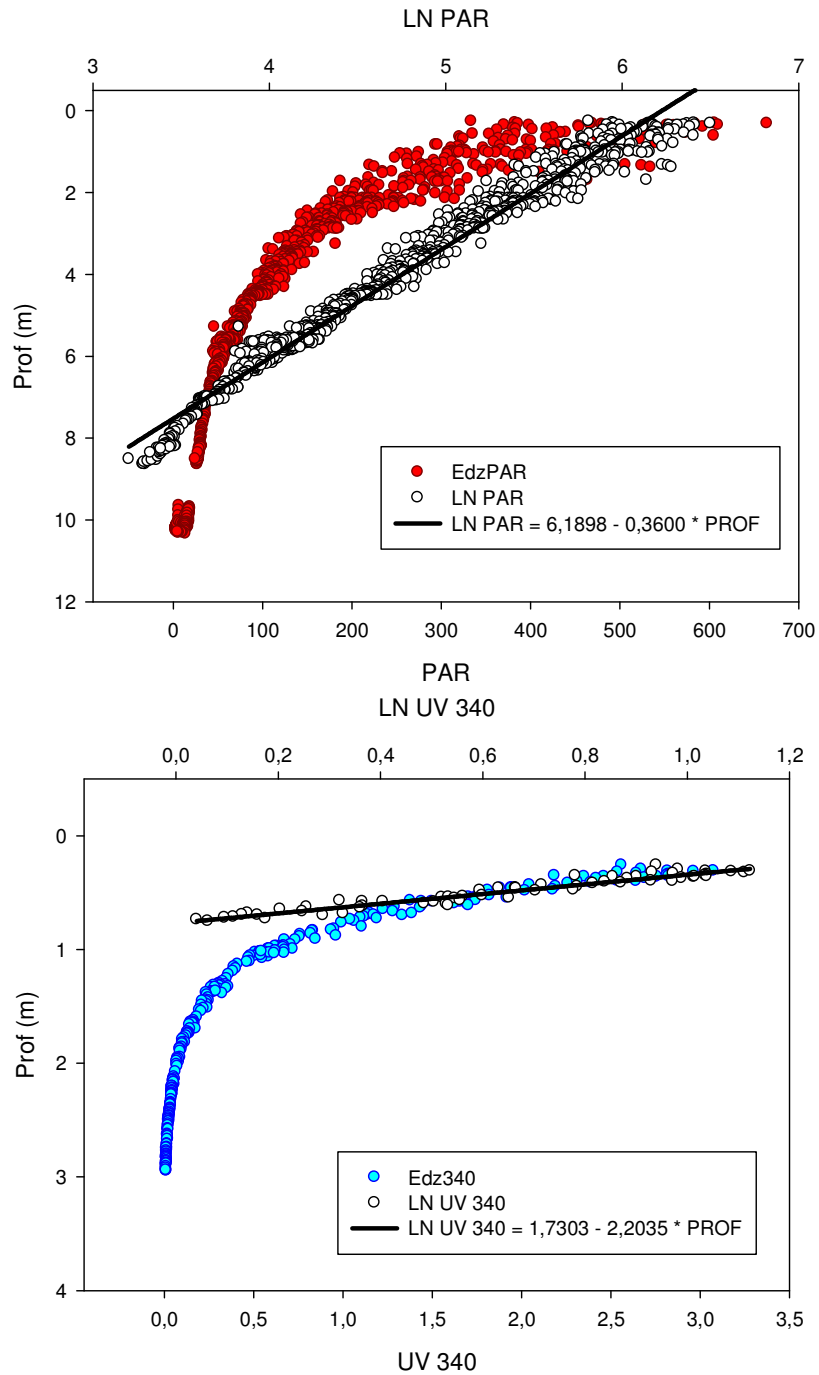


Fig. 61 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_11, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados



# IG\_12

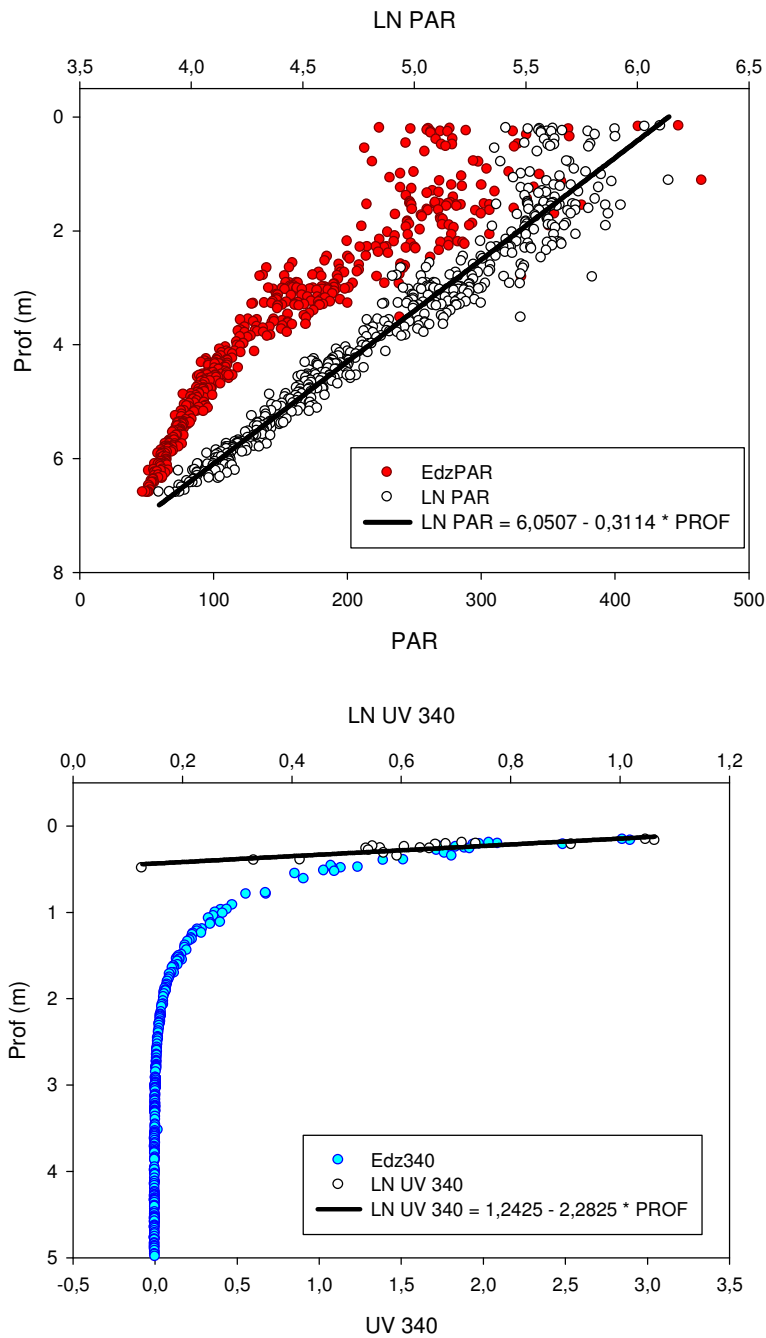


Fig. 62 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_12, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

# IG\_13

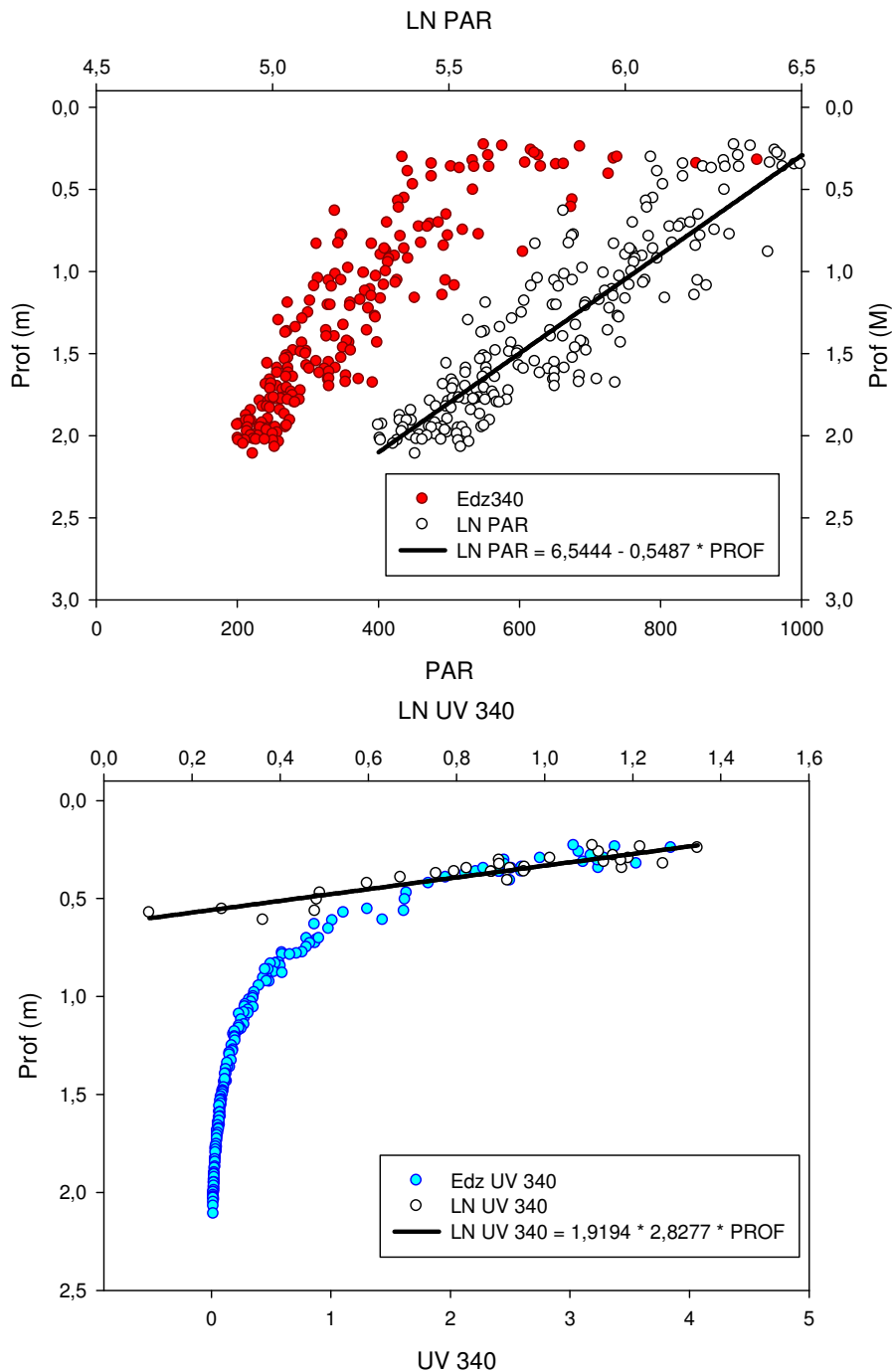


Fig. 63 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_13, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados

# IG\_14

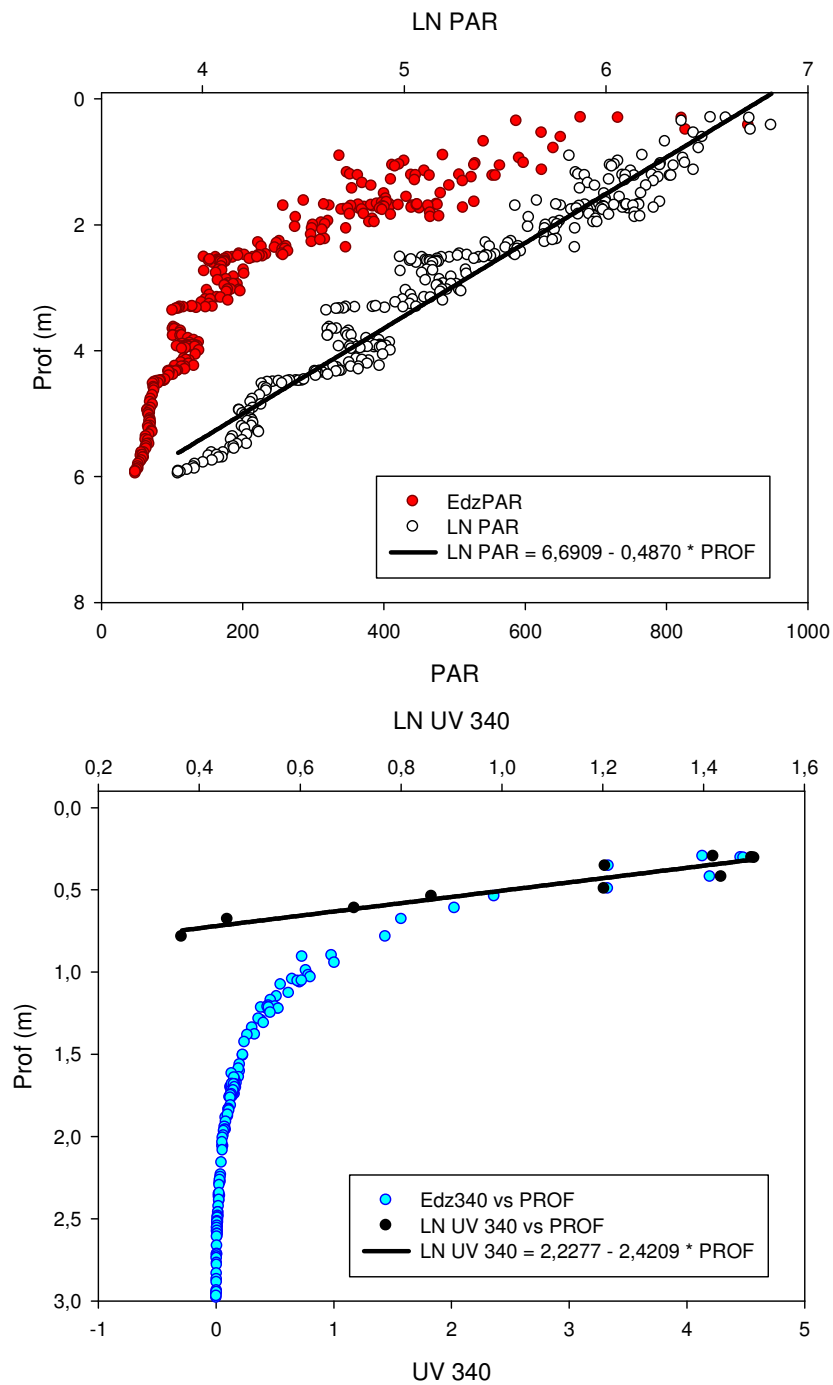


Fig. 64 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_14, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e In-transformados

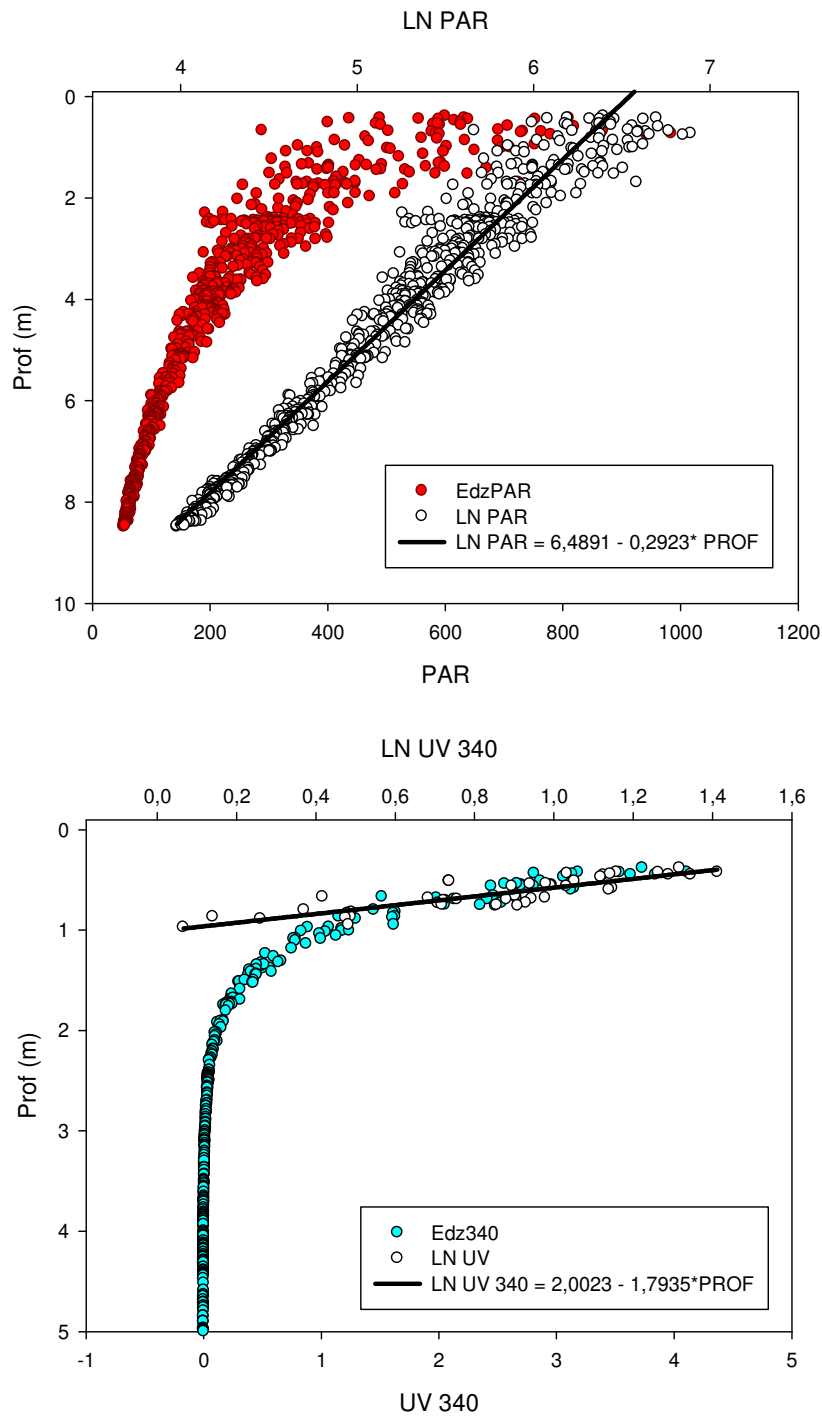


Fig. 65 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_15, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e In-transformados

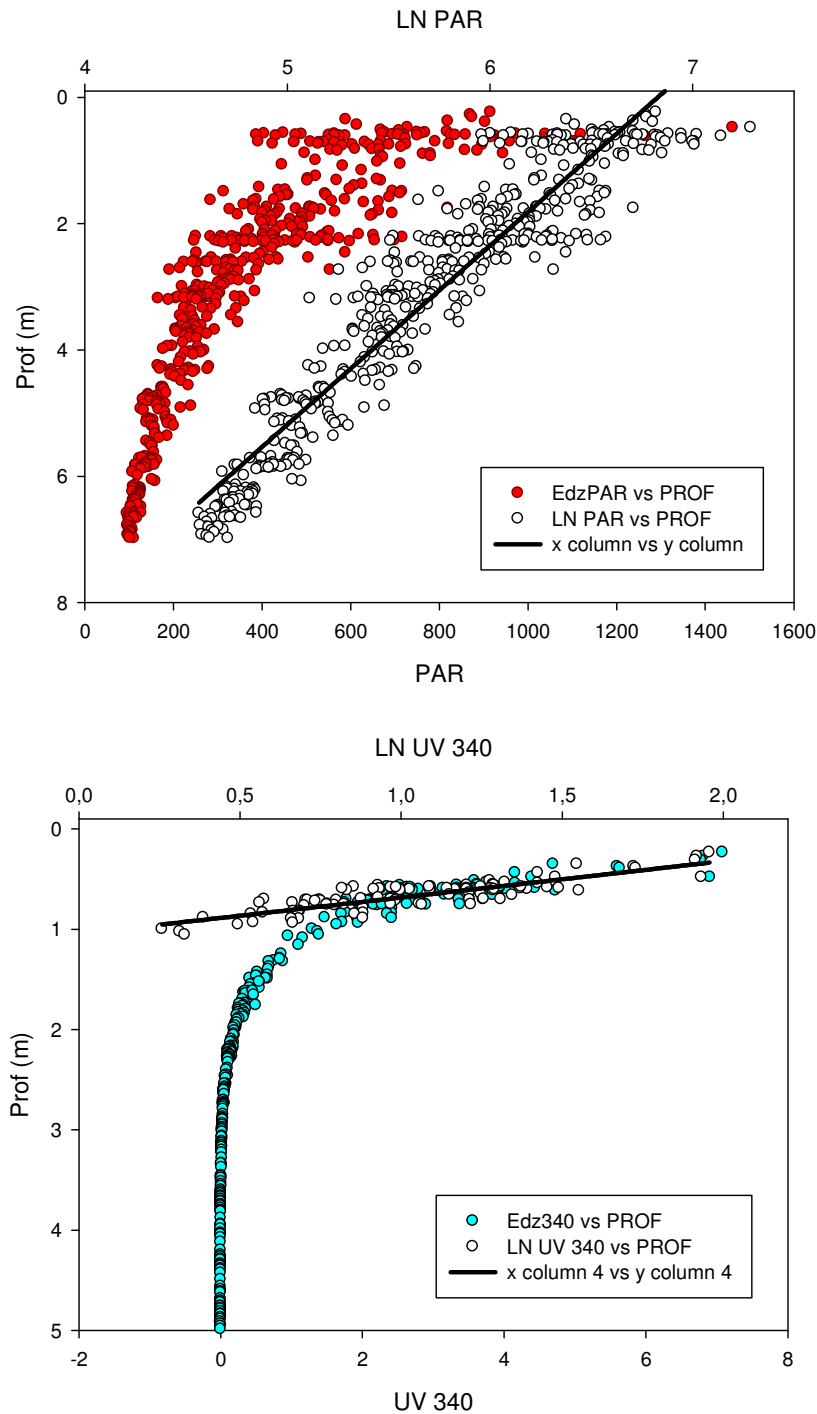


Fig. 66 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_16, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados



# IG\_17

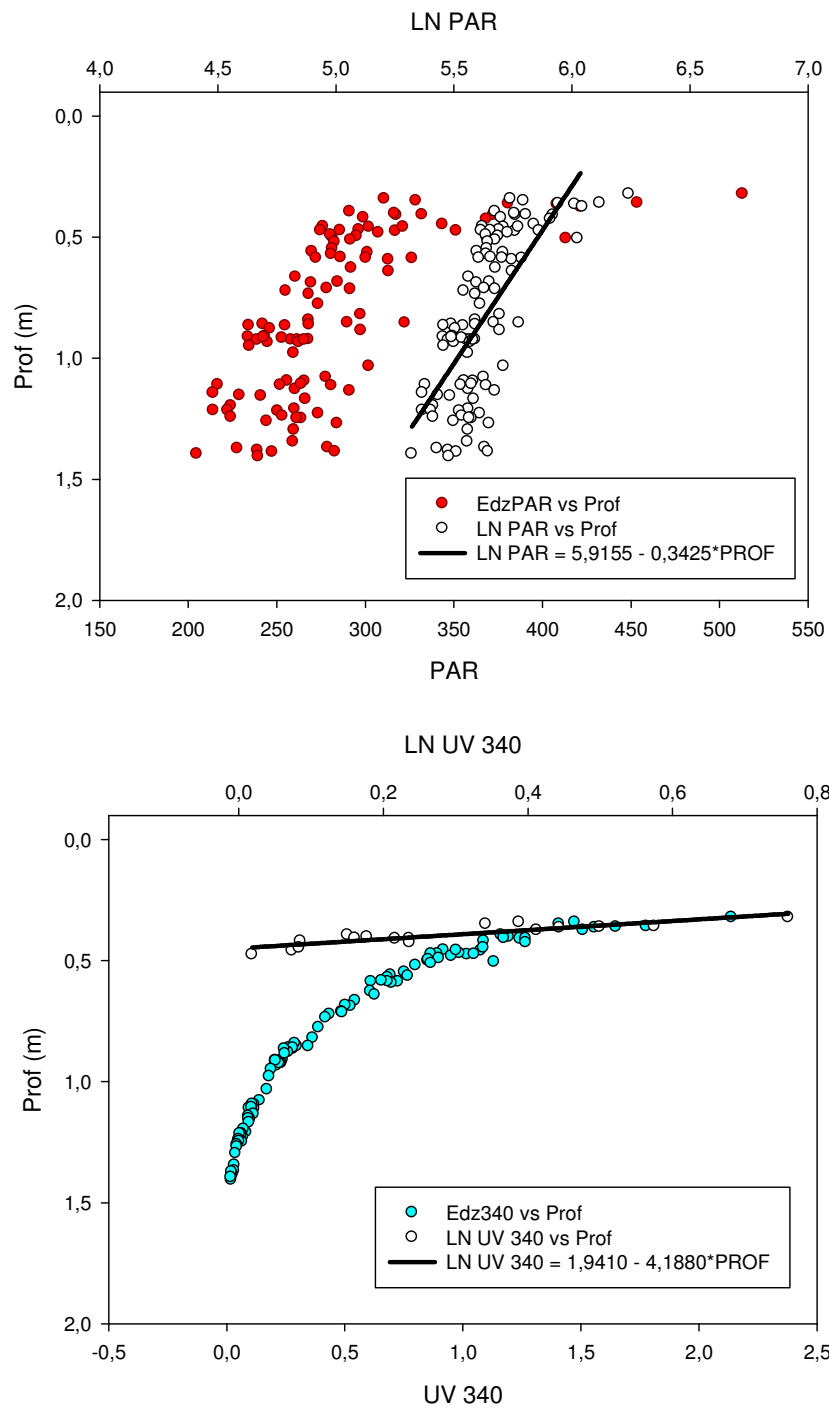


Fig. 67 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_17, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados

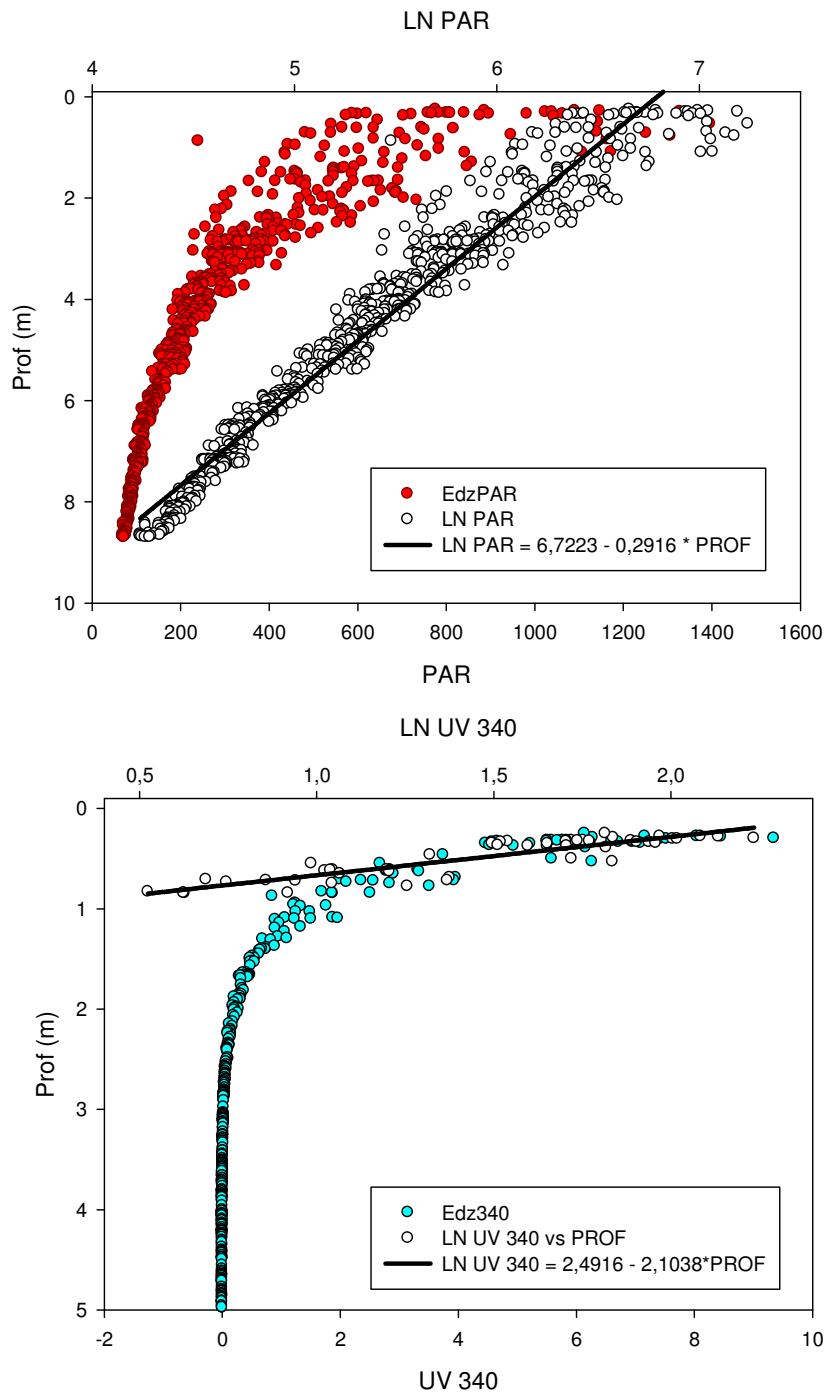


Fig. 68 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_18, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados

# IG\_19

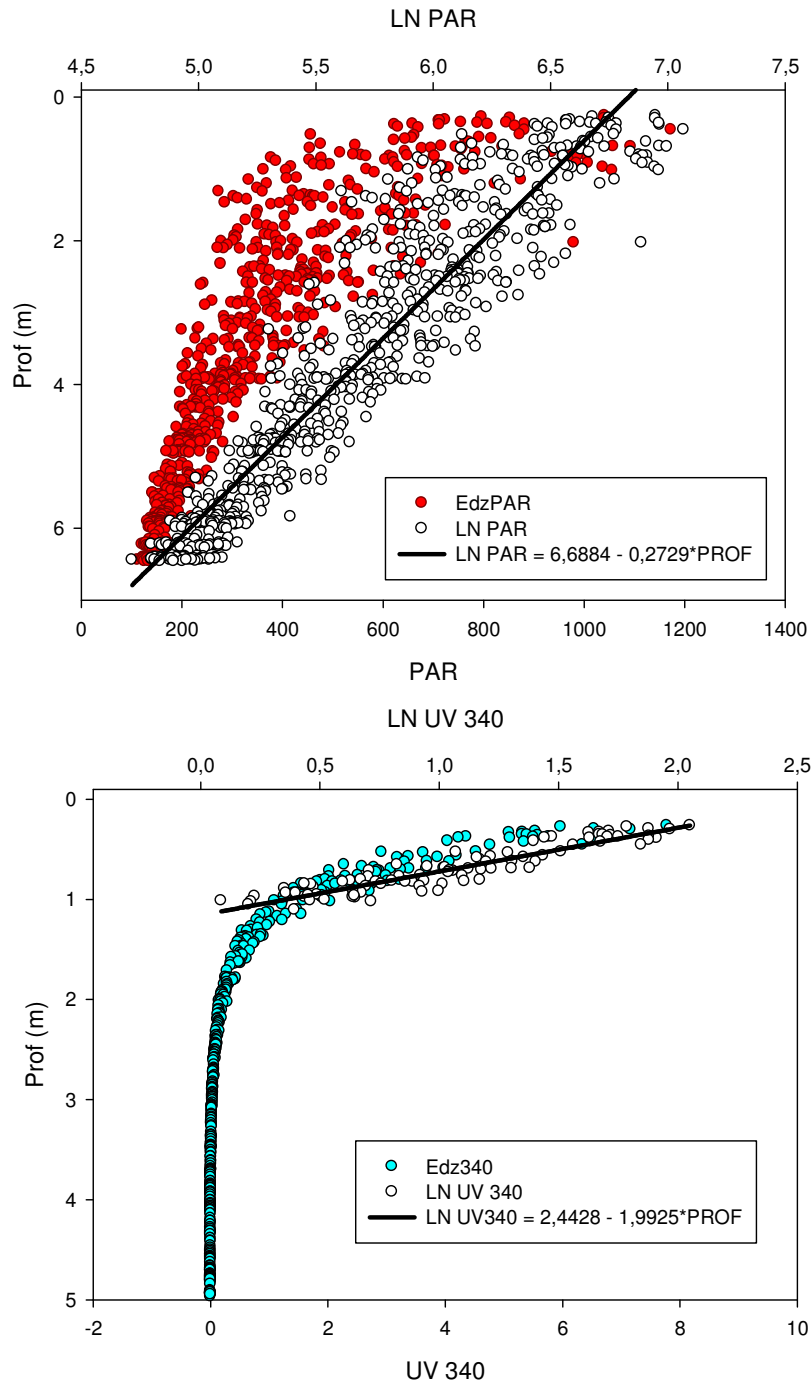


Fig. 69 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_19, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados

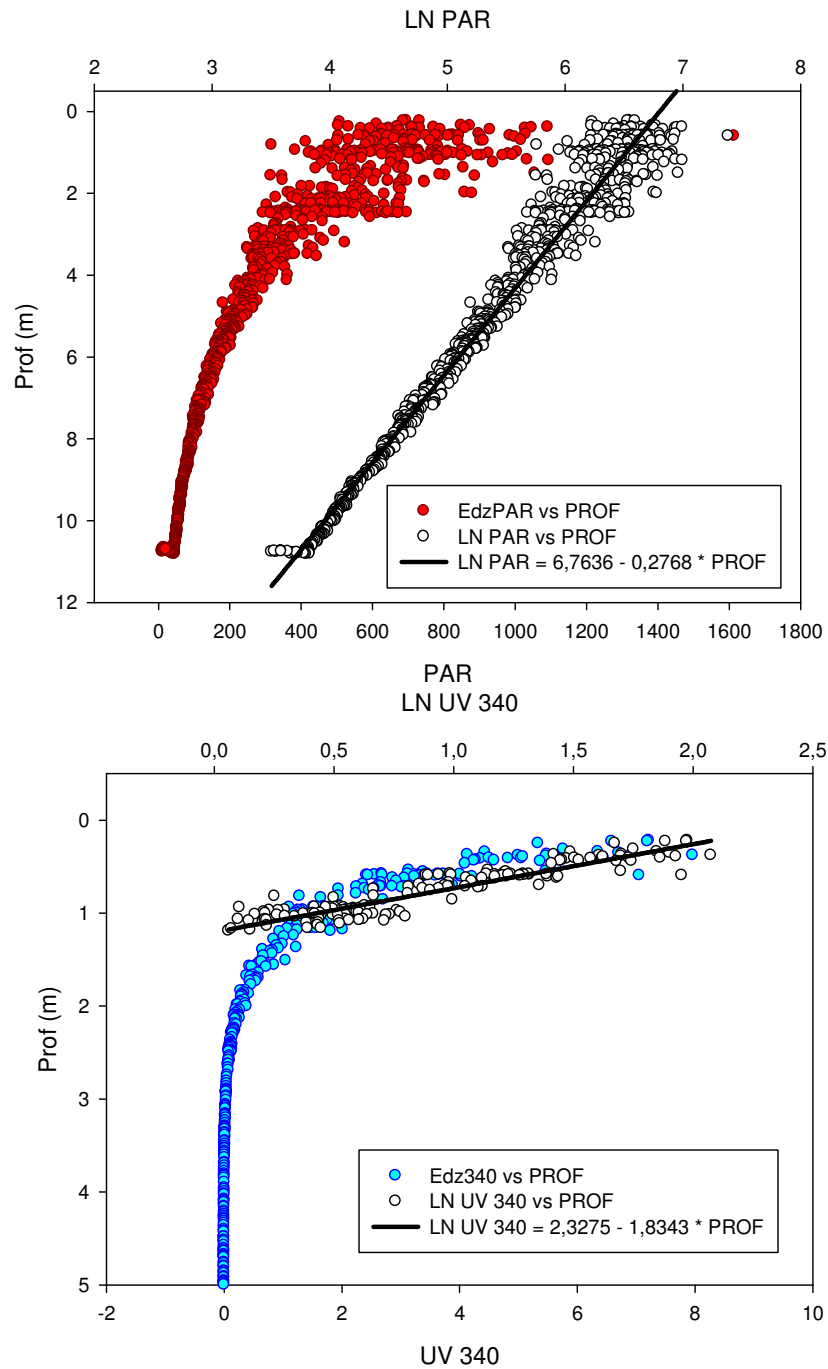


Fig. 70 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d'água do ponto de coleta IG\_20, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados

## IG\_21

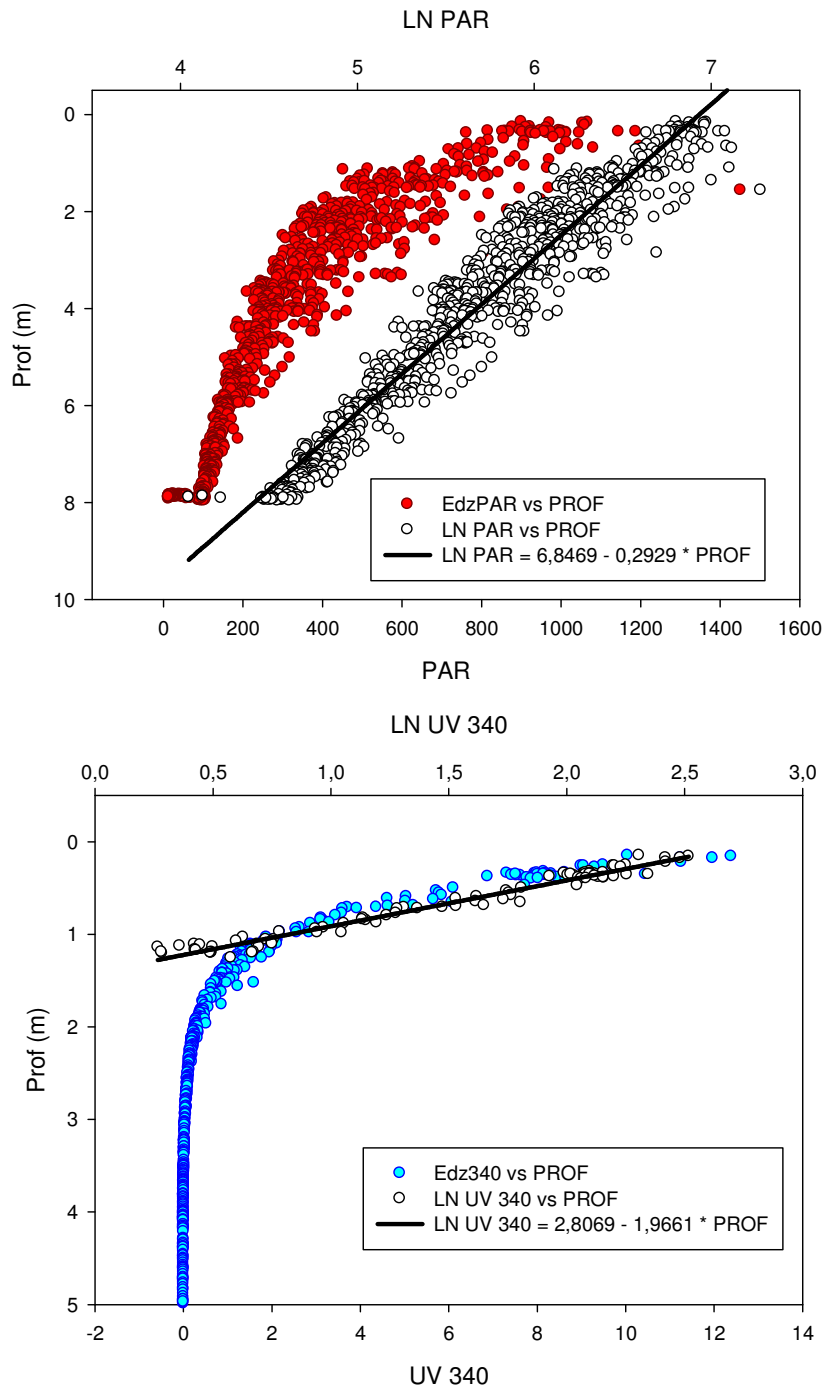


Fig. 71 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_21, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.



# IG\_22

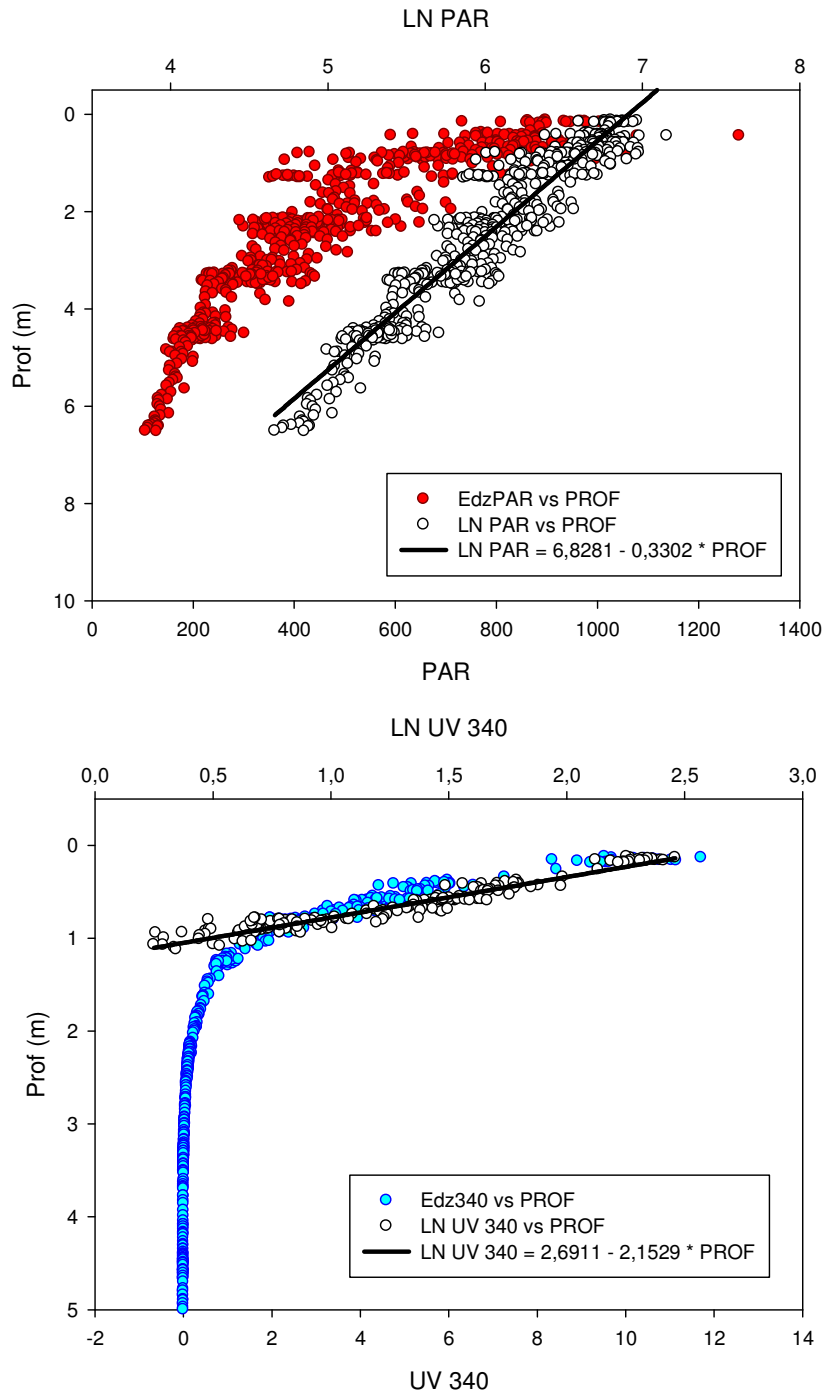


Fig. 72 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_22, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

# IG\_23

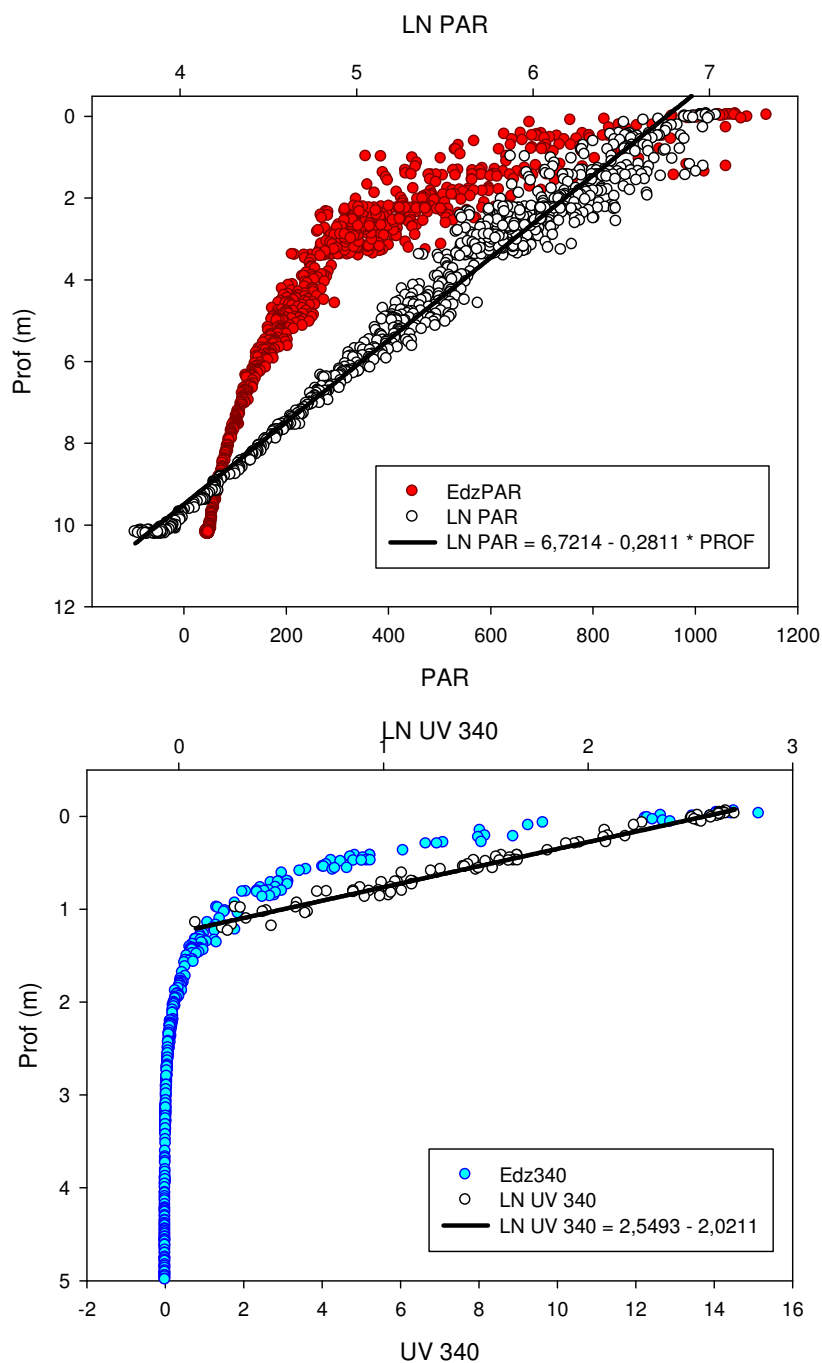


Fig. 73 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_23, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

# IG\_24

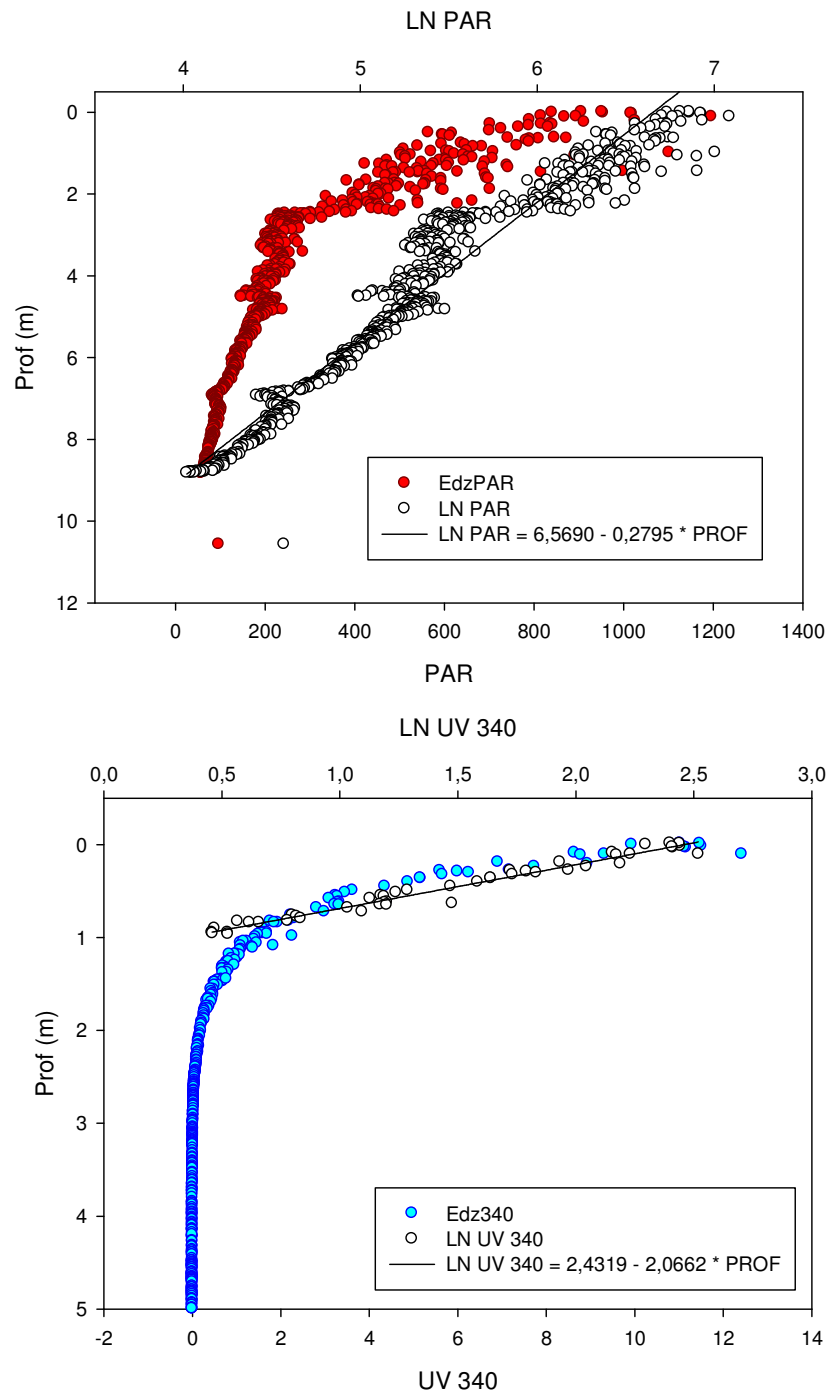


Fig. 74 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_24, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

# IG\_25

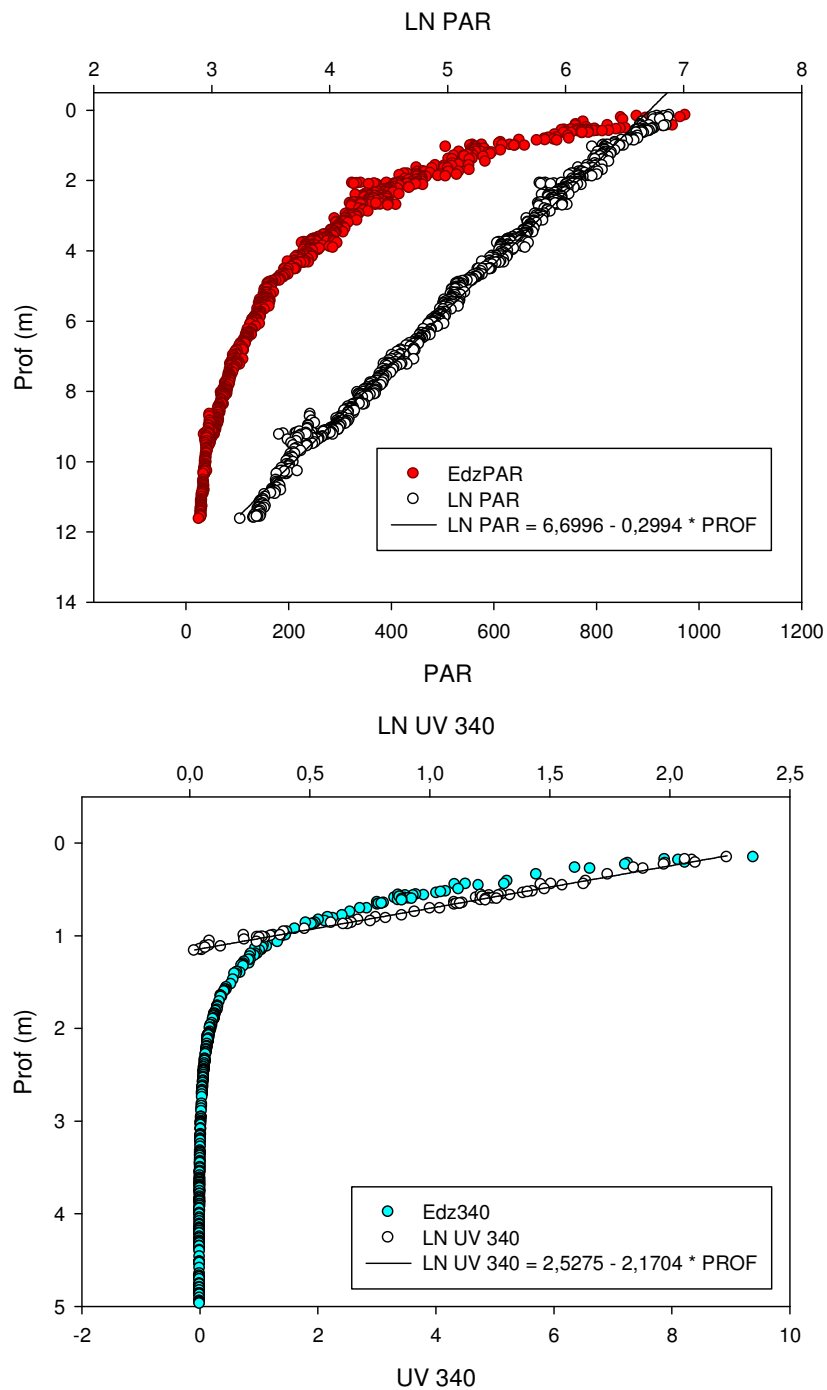


Fig. 75 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_25, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

## IG\_26

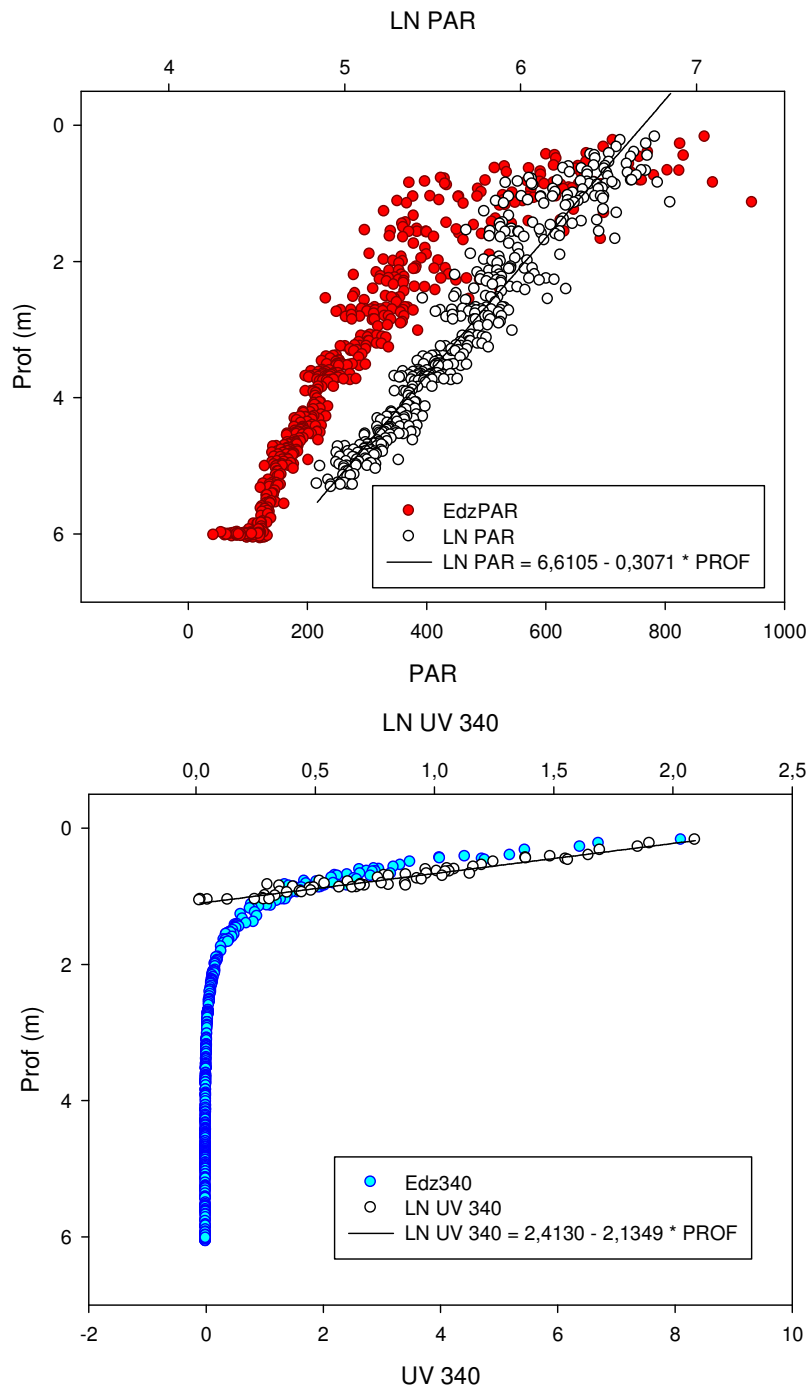


Fig. 76 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d'água do ponto de coleta IG\_26, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.



# IG\_27

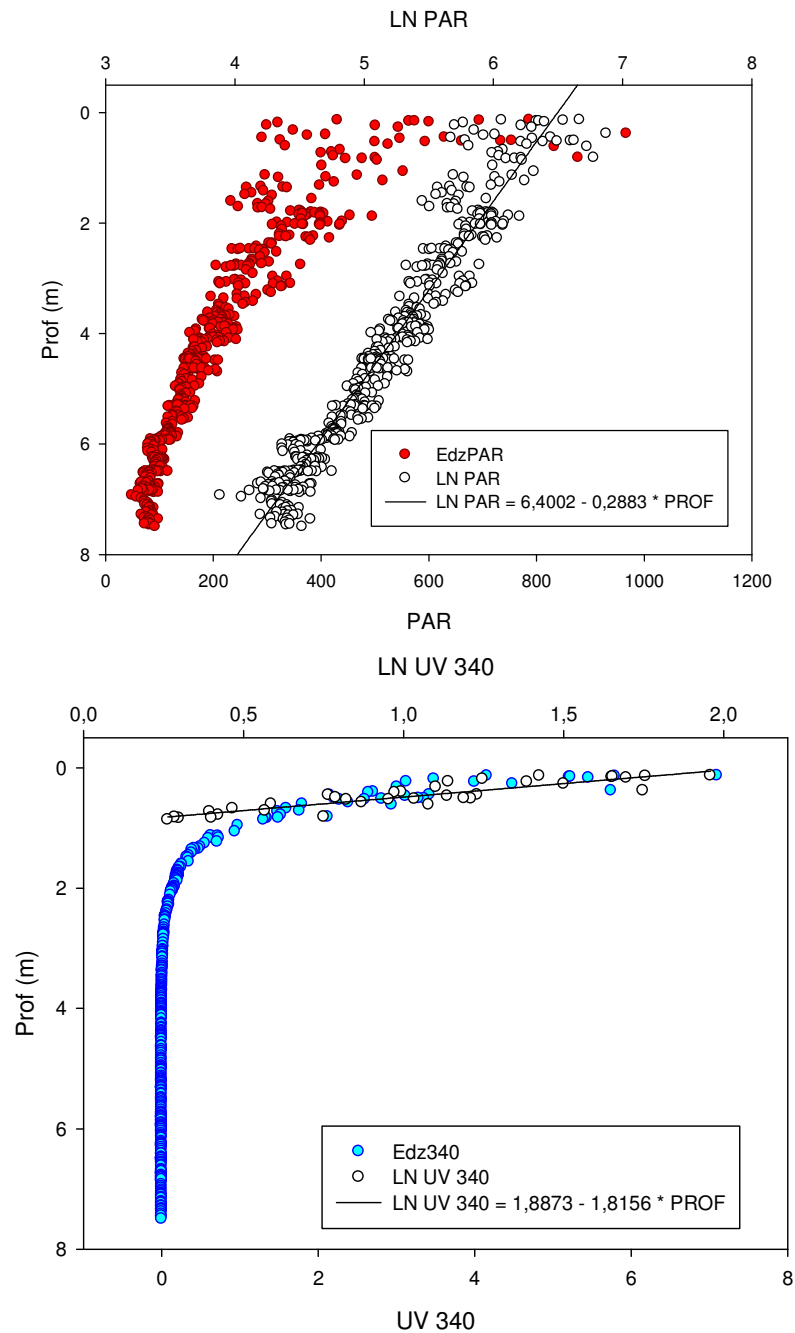


Fig. 77 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_27, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

## IG\_28

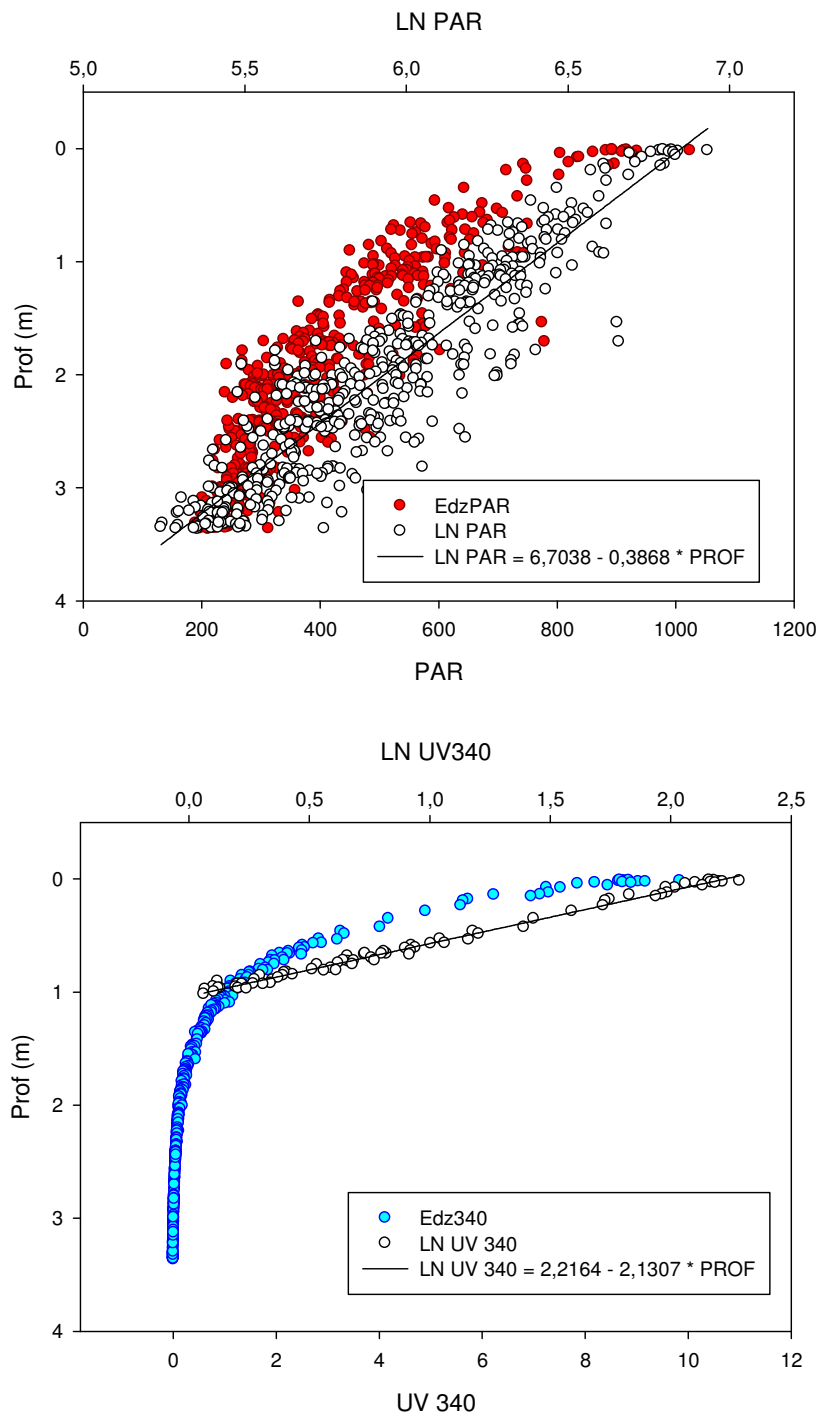


Fig. 78 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d'água do ponto de coleta IG\_28, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

# IG\_29

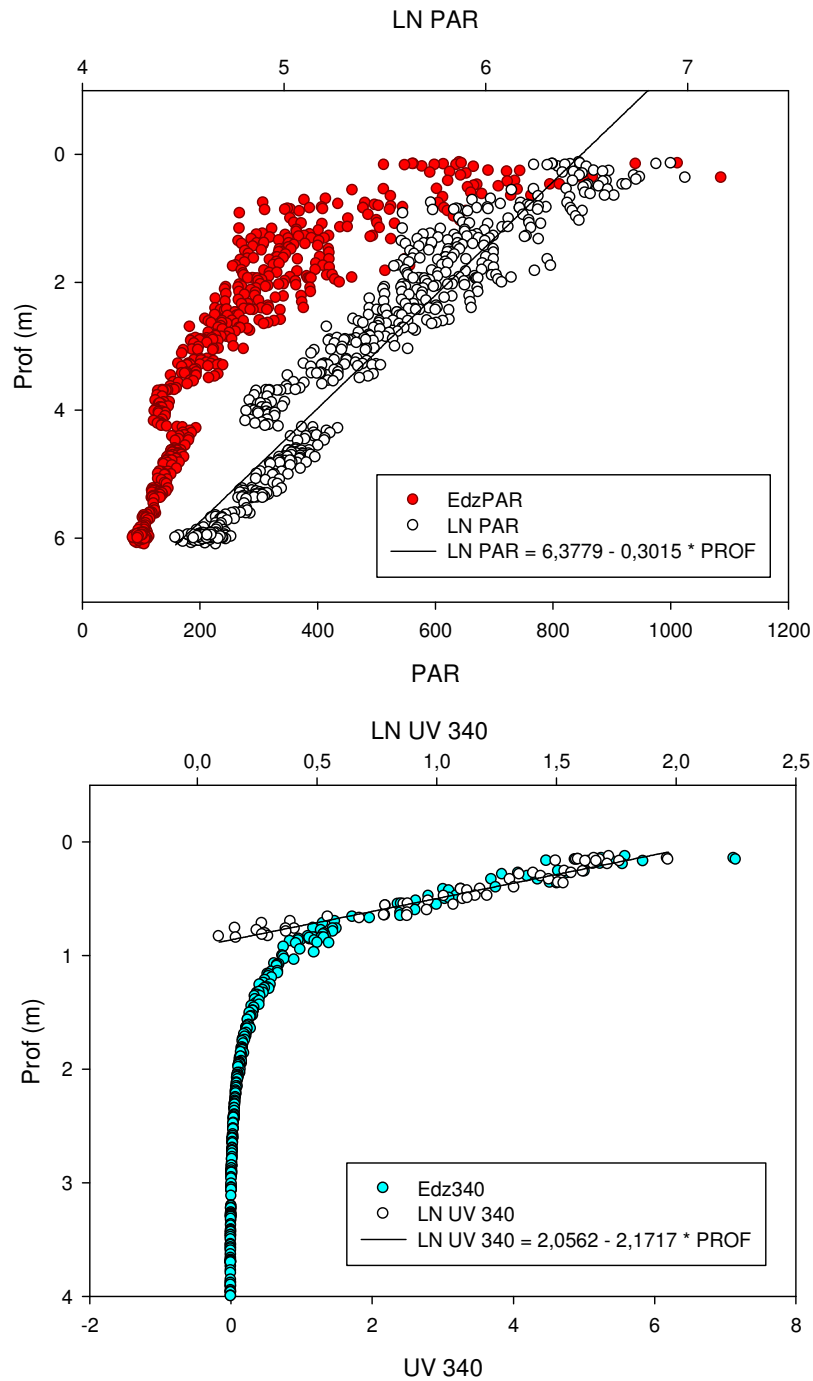


Fig. 79 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_29, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

# IG\_30

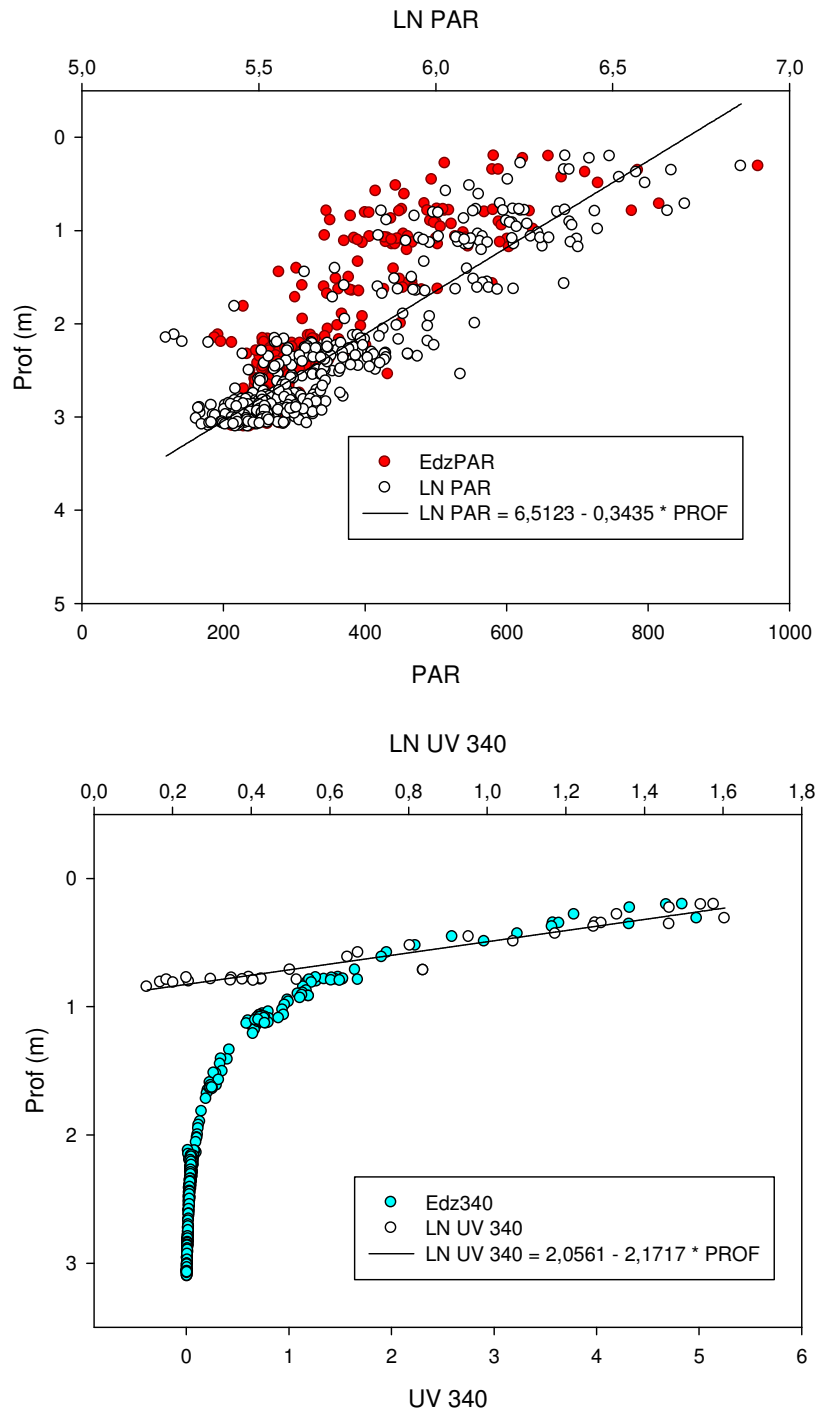


Fig. 80 – Penetração da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR, 430 nm-700 nm) e da radiação UV (340 nm), na coluna d’água do ponto de coleta IG\_30, Reservatório de Igarapava (MG-SP), no dia 08 de agosto de 2012. São apresentados os dados brutos e ln-transformados.

Tab 13 – Coeficientes de extinção das radiações PAR e UV 340nm em 30 diferentes pontos do Reservatório de Igarapava.

<b>Ponto</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>KD PAR</b>	<b>KD UV 340</b>
IG01	-19.991258°	-47.748190°	-0,3197	-2,3894
IG02	-19.991975°	-47.728022°	-0,3945	-2,3812
IG03	-19.981077°	-47.717686°	-0,3445	-2,3006
IG04	-19.987082°	-47.697731°	-0,3676	-2,3283
IG05	-19.994925°	-47.685475°	-0,3170	-1,9968
IG06	-20.007918°	-47.674479°	-0,2662	-2,1941
IG07	-20.017296°	-47.673492°	-0,3272	-2,3199
IG08	-20.025754°	-47.667025°	-0,3004	-2,0660
IG09	-20.031182°	-47.658328°	-0,3137	-2,3291
IG10	-20.040840°	-47.647669°	-0,3105	-2,7226
IG11	-20.048595°	-47.639574°	-0,3600	-2,2035
IG12	-20.042464°	-47.623628°	-0,3114	-2,2835
IG13	-20.047106°	-47.605381°	-0,5487	-2,8277
IG14	-20.036093°	-47.608165°	-0,4870	-2,4209
IG15	-20.025746°	-47.597708°	-0,2923	-1,7935
IG16	-20.014476°	-47.593497°	-0,3158	-2,0604
IG17	-20.000184°	-47.599029°	-0,3425	-4,1880
IG18	-20.003200°	-47.587039°	-0,2925	-2,1038
IG19	-19.993799°	-47.579080°	-0,2729	-1,9925
IG20	-19.995861°	-47.562349°	-0,2768	-1,8343
IG21	-19.989492°	-47.543663°	-0,2929	-1,9661
IG22	-19.980565°	-47.538202°	-0,3302	-2,1529
IG23	-19.983930°	-47.523548°	-0,2911	-2,0211
IG24	-19.982687°	-47.511316°	-0,2795	-2,0662
IG25	-19.978426°	-47.504250°	-0,2994	-2,1704
IG26	-19.971157°	-47.496549°	-0,3071	-2,1349
IG27	-19.968414°	-47.485623°	-0,2883	-1,8156
IG28	-19.964221°	-47.476341°	-0,3868	-2,1307
IG29	-19.969207°	-47.460823°	-0,3015	-2,2345
IG30	-19.982196°	-47.453694°	-0,3435	-2,1717



#### 4.2.2 - PADRÕES VERTICAIS DAS DEMAIS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS

O reservatório de Igarapava apresentou, durante o período de estudos, a coluna de água praticamente sem estratificação vertical (Figs. 81 a 110). A temperatura geralmente variou em menos de 1,0 °C da superfície até o fundo na grande maioria dos pontos de coletas. A condutividade elétrica foi muito constante entre as diferentes profundidades ficando sempre na faixa dos 40-41  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em todo os perfis amostrados. A saturação de oxigênio dissolvido bem como o pH mostraram quase sempre um paralelismo em suas curvas caracterizado por um ligeiro decréscimo de seus valores da superfície em direção ao fundo. O reservatório mostrou em geral uma boa oxigenação de toda a coluna de água com valores de saturação sempre maiores do que 90% na grande maioria dos pontos amostrados. Já a turbidez mostrou flutuações nítidas nos perfis verticais que podem estar associadas ao transporte e a dinâmica de sedimentos no reservatório ou mesmo a estratificação biológica de organismos planctônicos.

Em muitos casos, há aumentos inesperados de variáveis tais como a condutividade ou da turbidez em regiões próximas ao fundo (IG 01, IG 02, IG 07, IG 10, IG 17,) . Isso provavelmente é devido ao fato de que a sonda tocou os sedimentos e os revolveu, daí o aumento observado. Por ser uma consequência da operação da sonda, tal fato não deve ser levado em consideração nas análises limnológicas da qualidade de água.

Apesar da boa qualidade de água atestada pelos valores absolutos das variáveis apresentadas nos parágrafos acima, chama a atenção o leve decréscimo observado para a saturação do oxigênio em direção ao fundo e às variações sempre presentes na turbidez na coluna de água. As curvas de oxigênio sugerem que existe uma demanda grande desse elemento nas regiões mais profundas onde provavelmente o metabolismo devido aos microrganismos é elevado. As variações bruscas da turbidez na coluna falam em favor da existência de gradientes verticais que podem ser indícios de transporte de sedimentos finos de uma região para outra dentro do reservatório. Como já visto anteriormente, existem indícios de assoreamento em vários pontos do reservatório e as variações bruscas variações da turbidez na coluna de água podem ser um indício do transporte de sedimentos dentro do reservatório.

# IG\_01

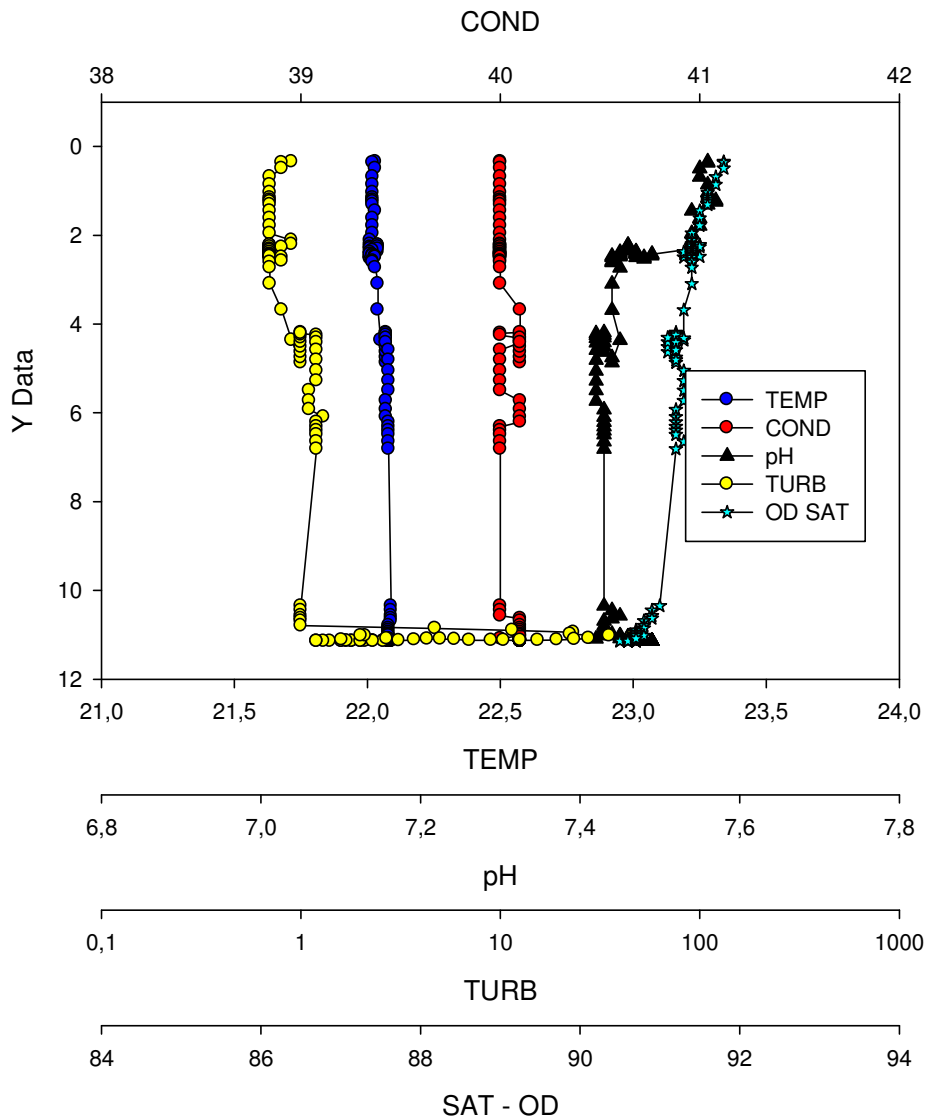


Fig. 81 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_01, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 07 de agosto de 2012.

## IG 02

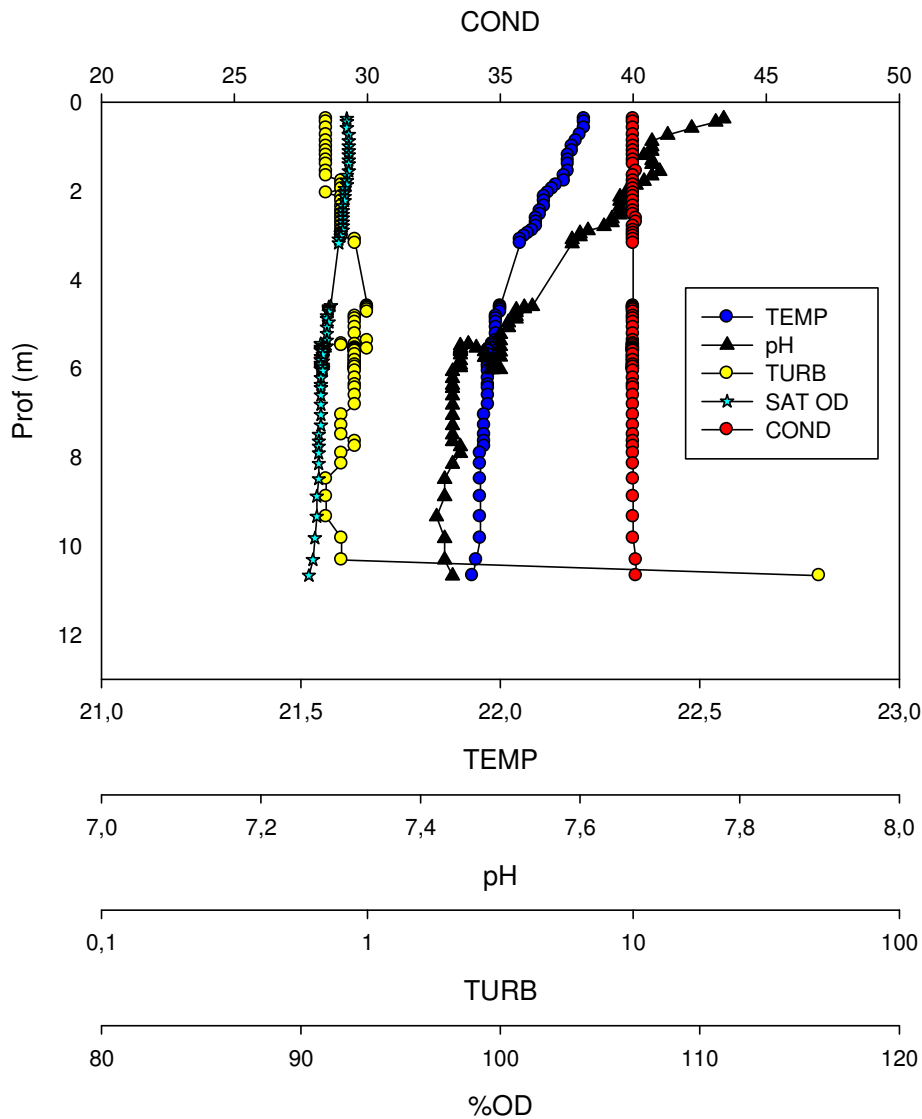


Fig. 82 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_02, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 07 de agosto de 2012.

## IG 03

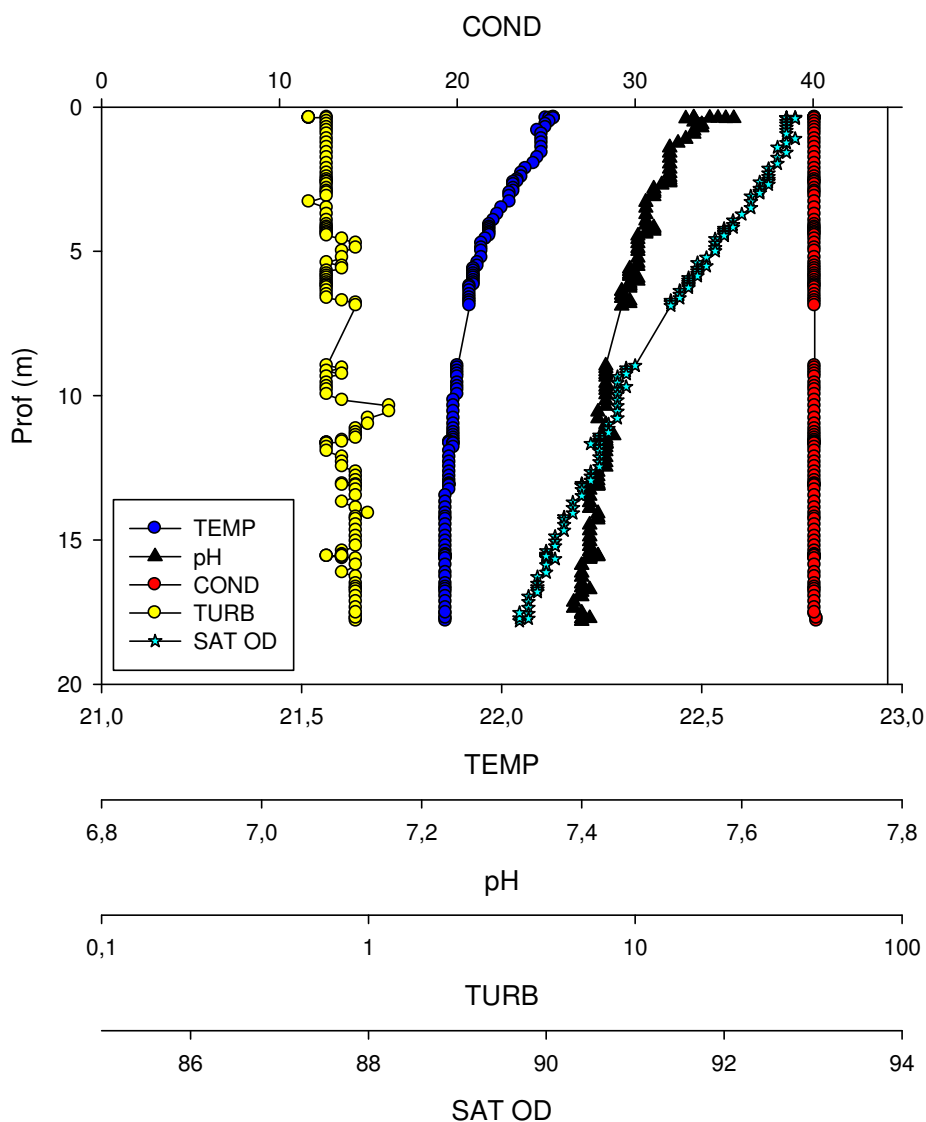


Fig. 83 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_03, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 07 de agosto de 2012.

## IG 04

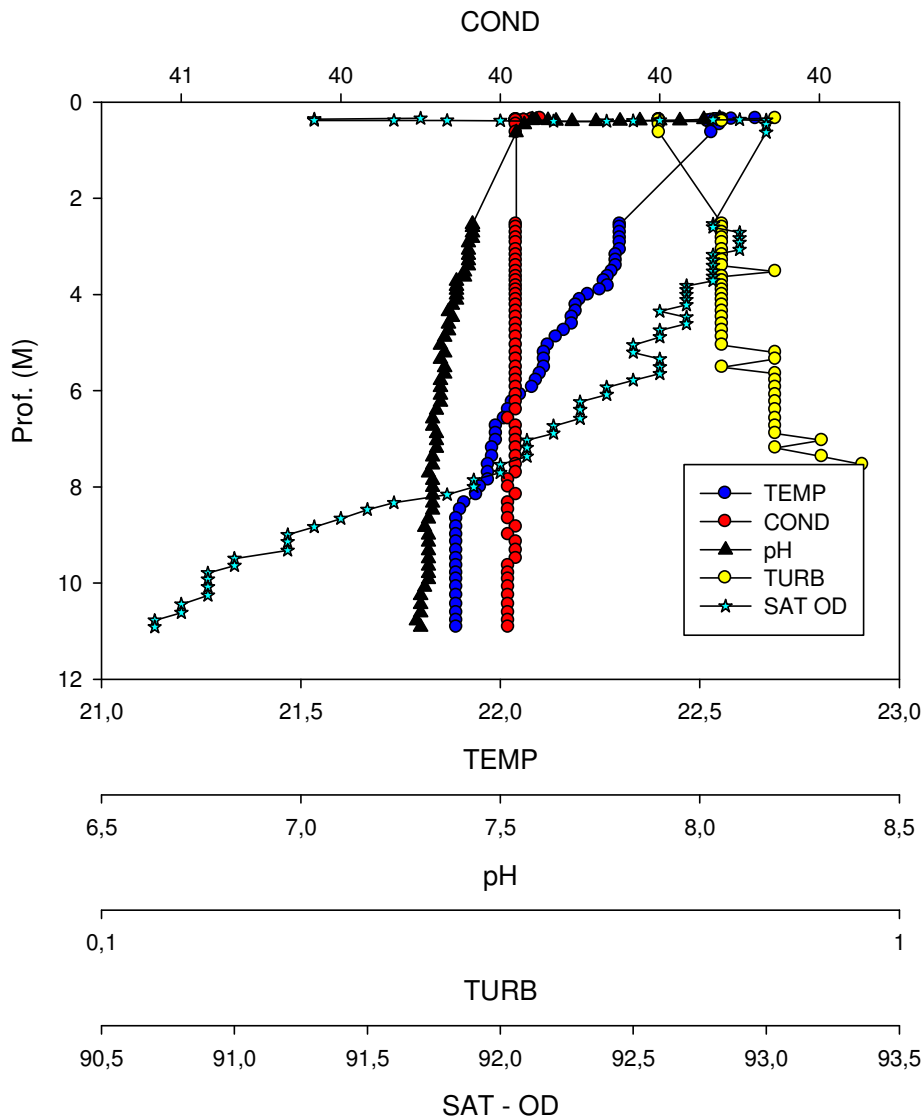


Fig. 84 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_04, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 07 de agosto de 2012.



## IG 05

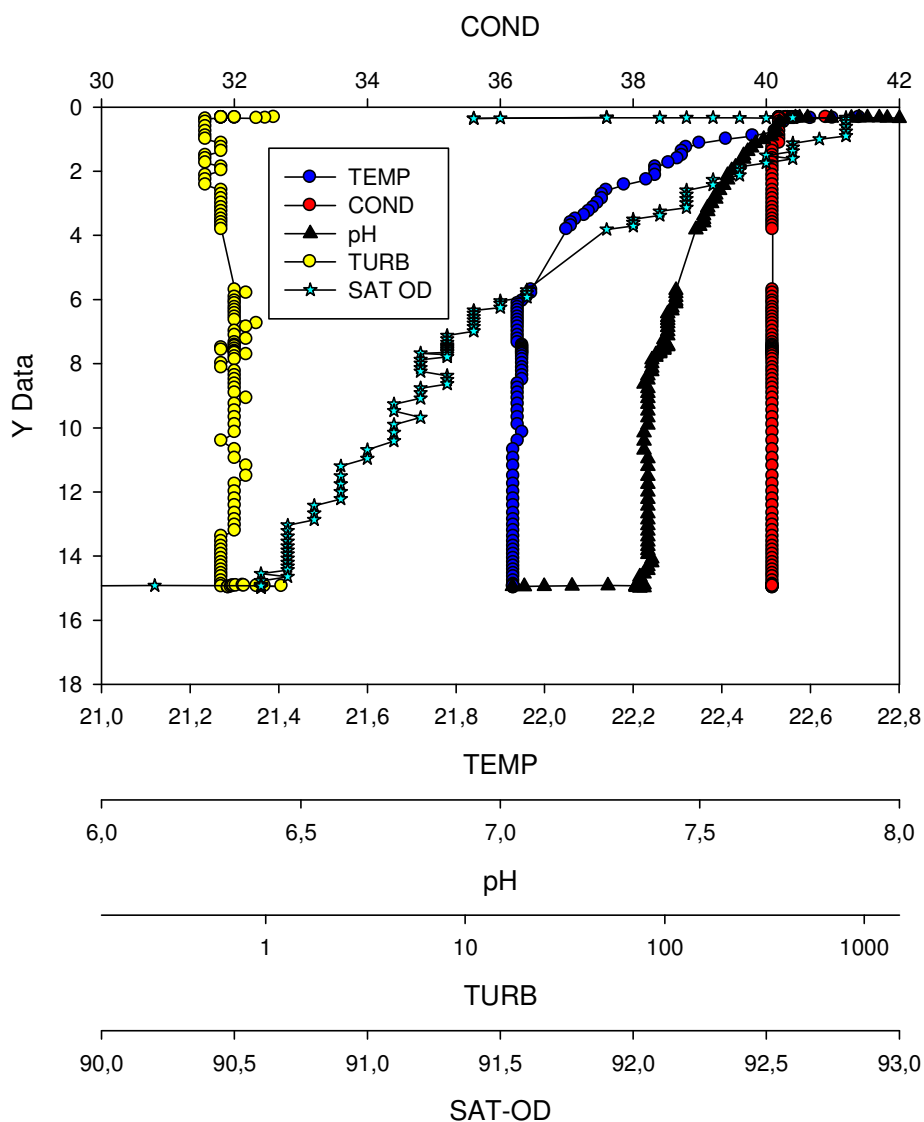


Fig. 85 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_05, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 07 de agosto de 2012.

## IG 06

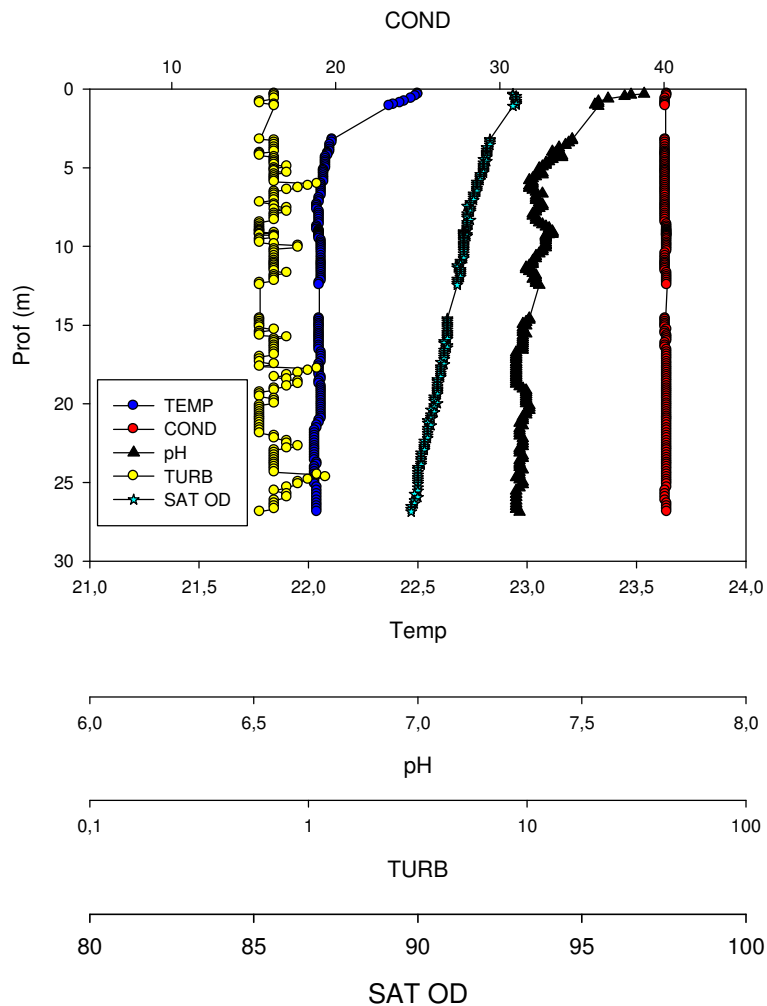


Fig. 86 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_06, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 07 de agosto de 2012.

## IG 07

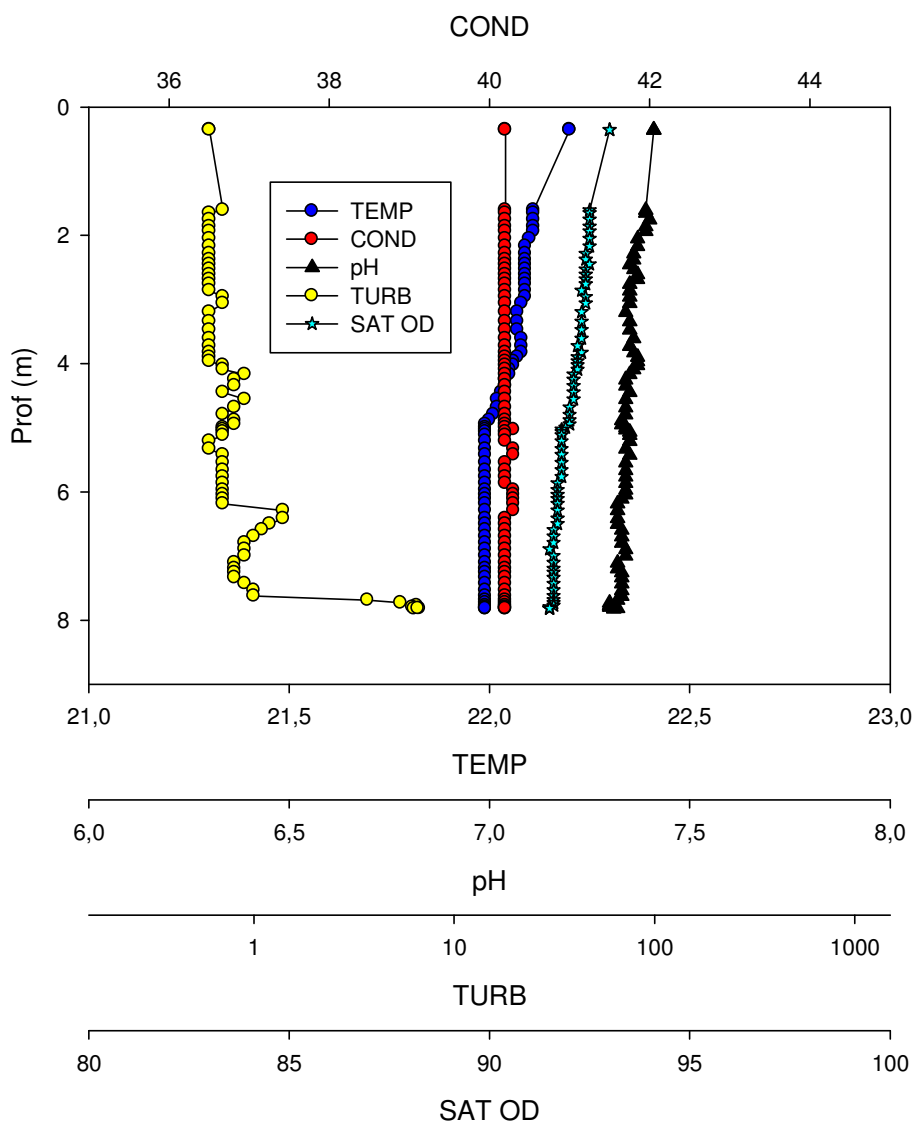


Fig. 87 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_07, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 07 de agosto de 2012.

## IG 08

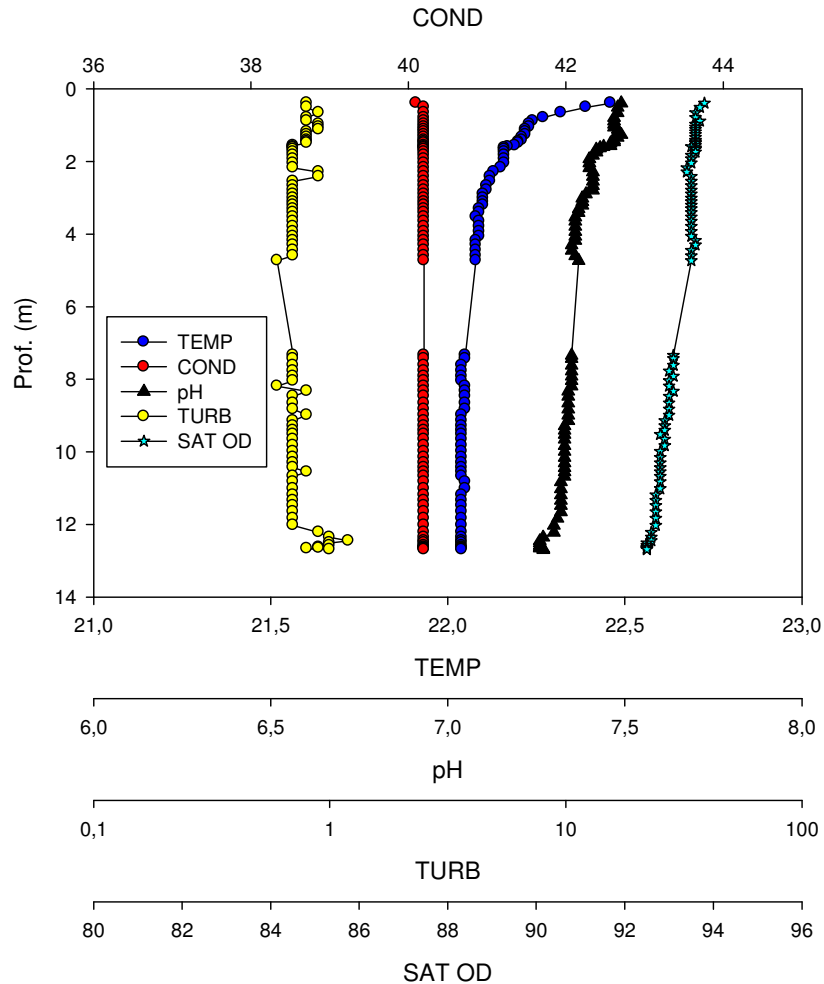


Fig. 88 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_08, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 07 de agosto de 2012.

## IG 09

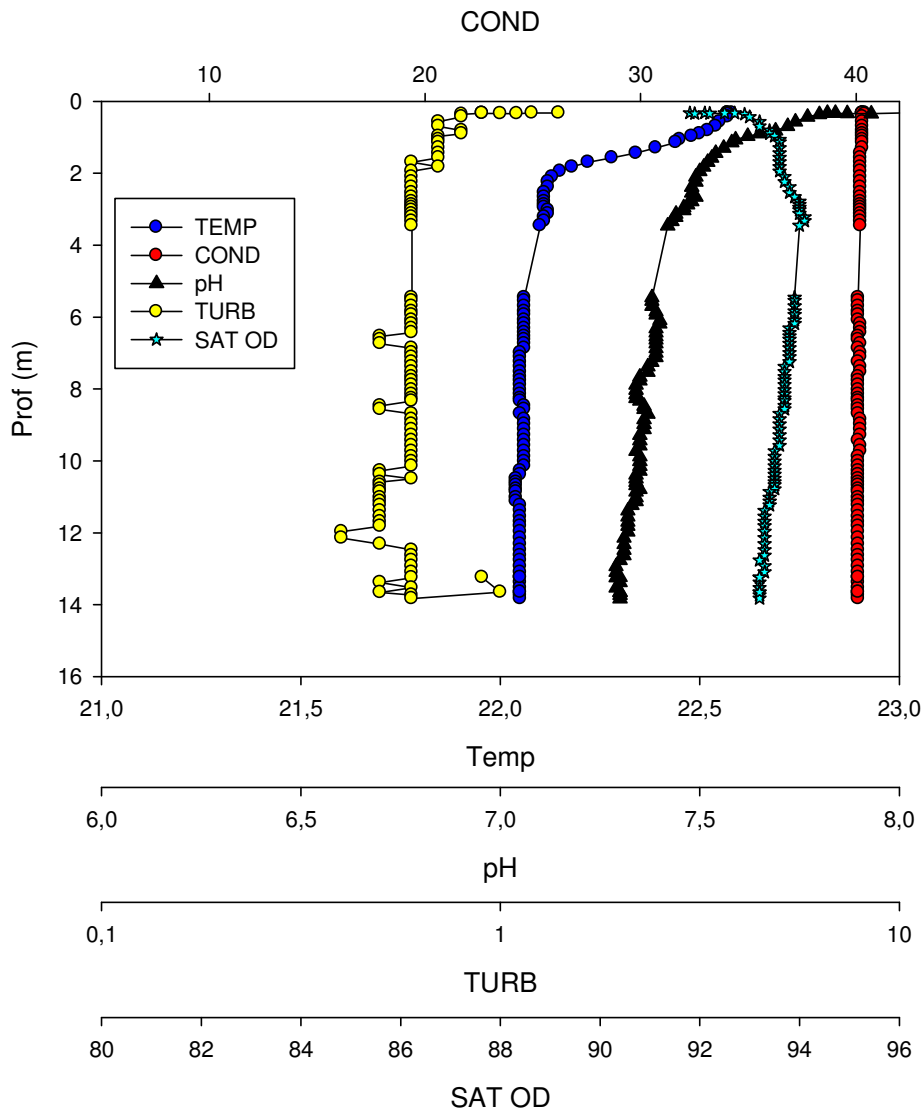


Fig. 89 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_09, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 07 de agosto de 2012.



## IG 10

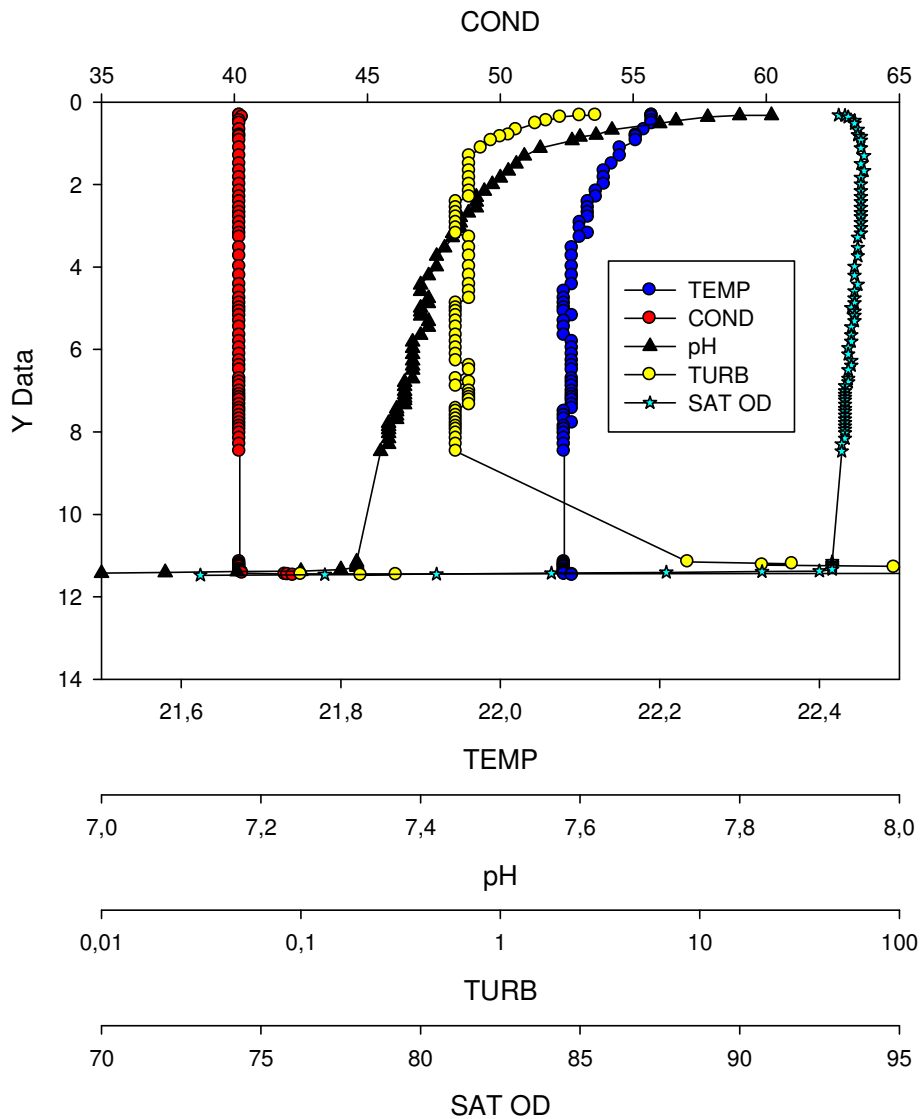


Fig. 90 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_10, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 07 de agosto de 2012.

# IG11

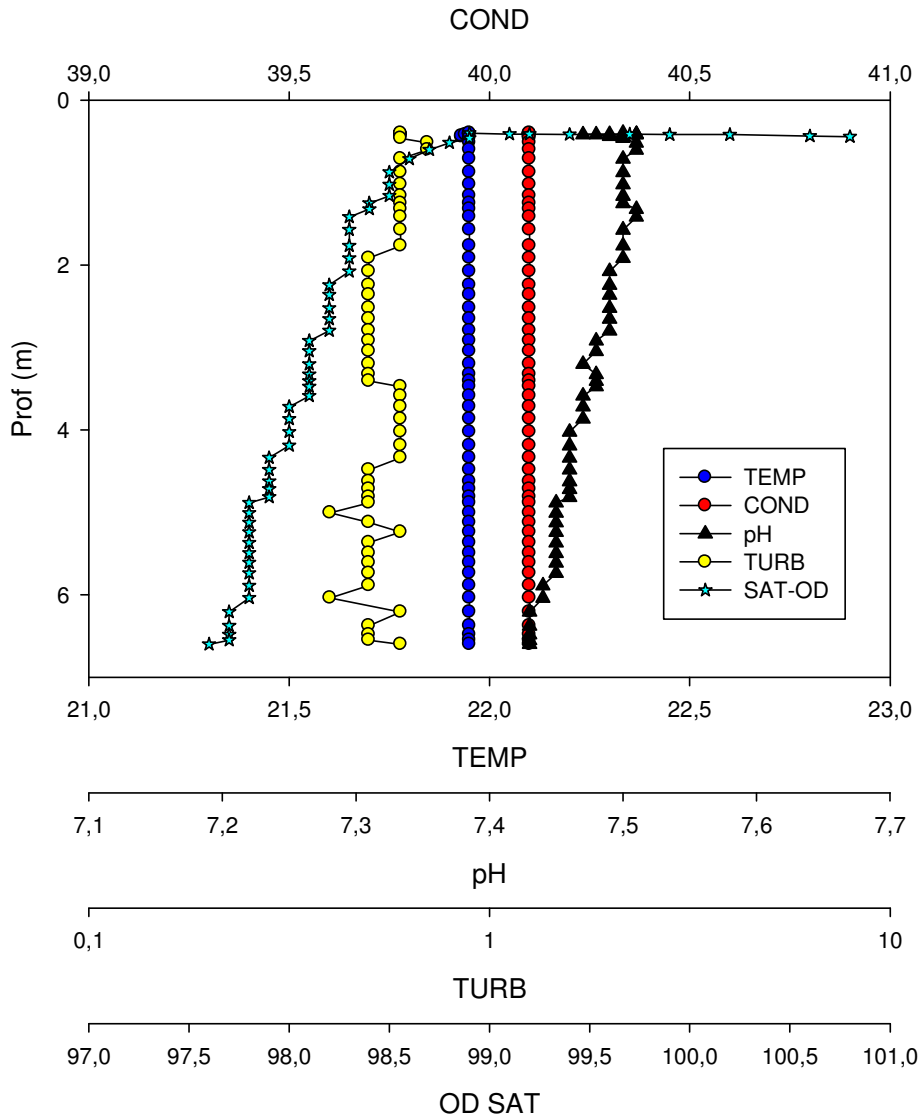


Fig. 91 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_11, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG\_12

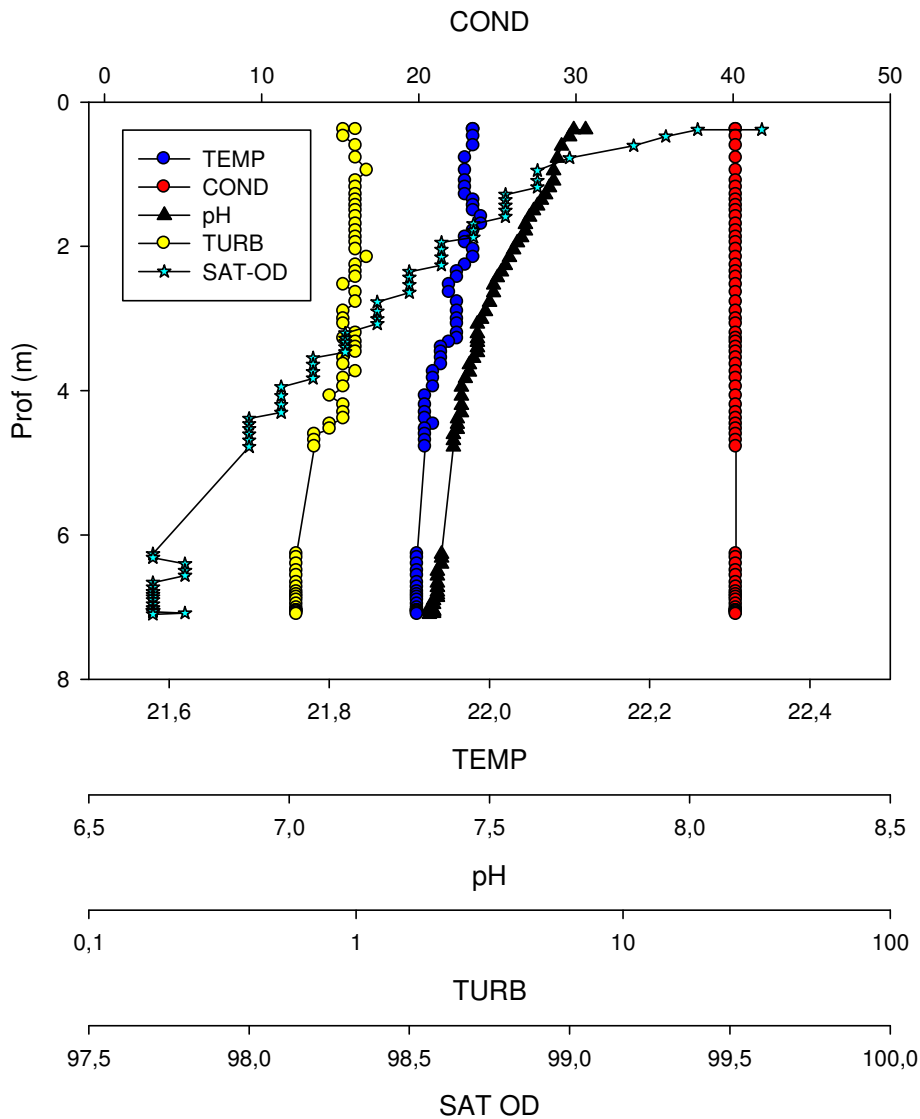


Fig. 92 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_12, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG\_13

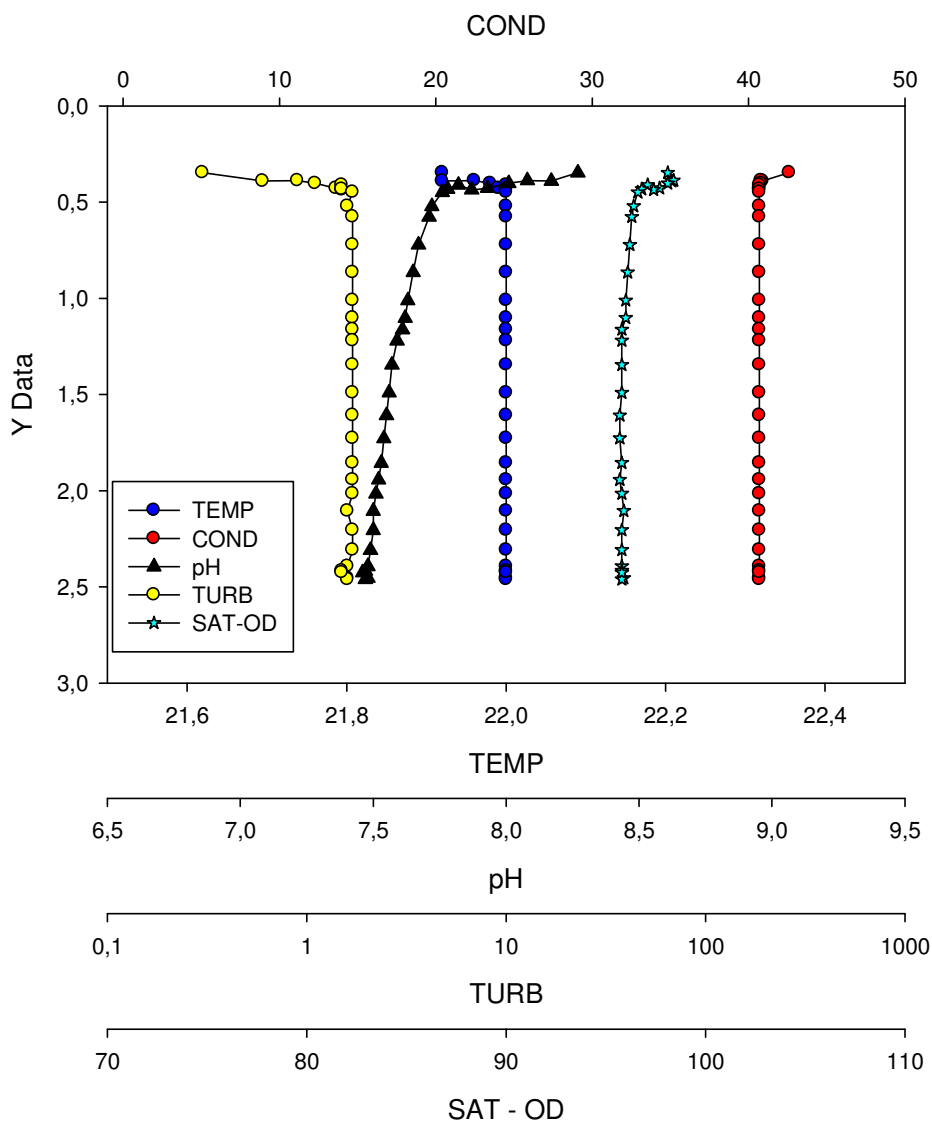


Fig. 93 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_13, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

# IG\_14

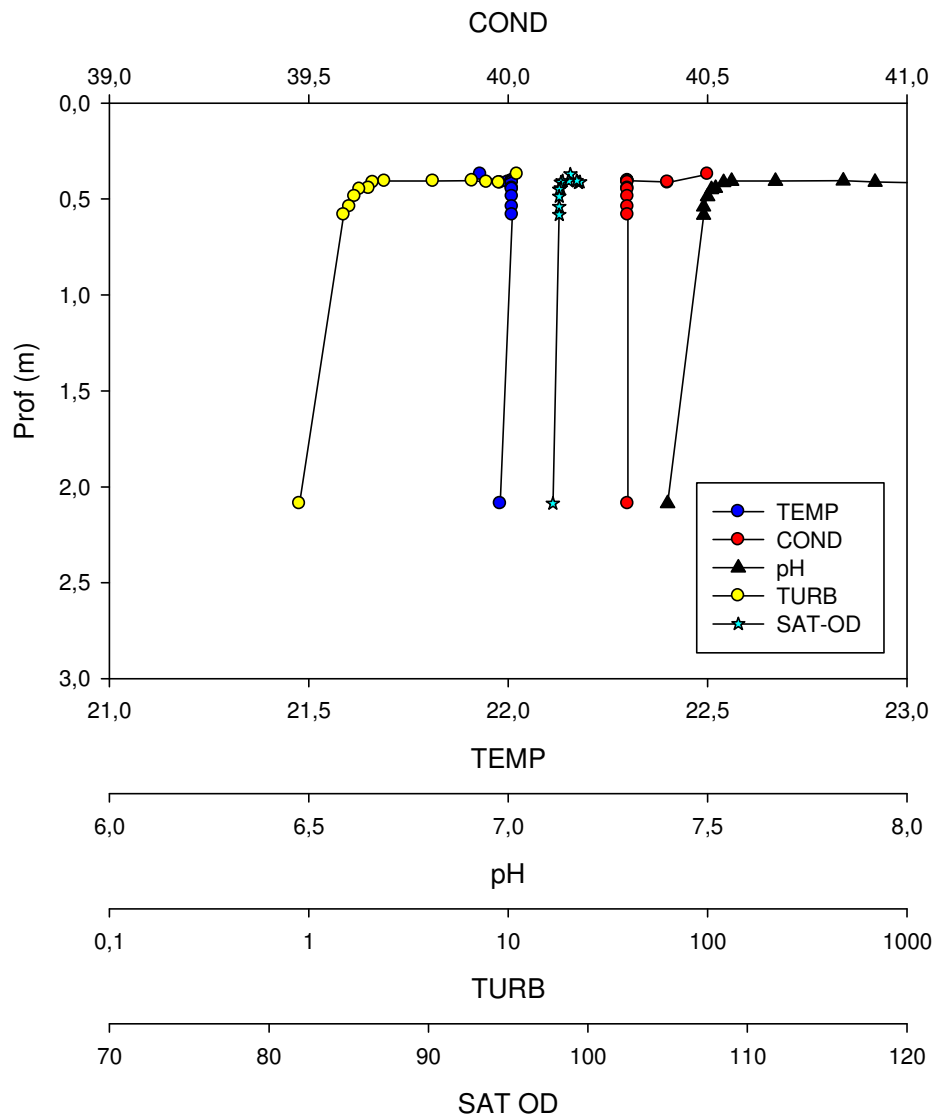


Fig. 94 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_14, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

# IG\_15

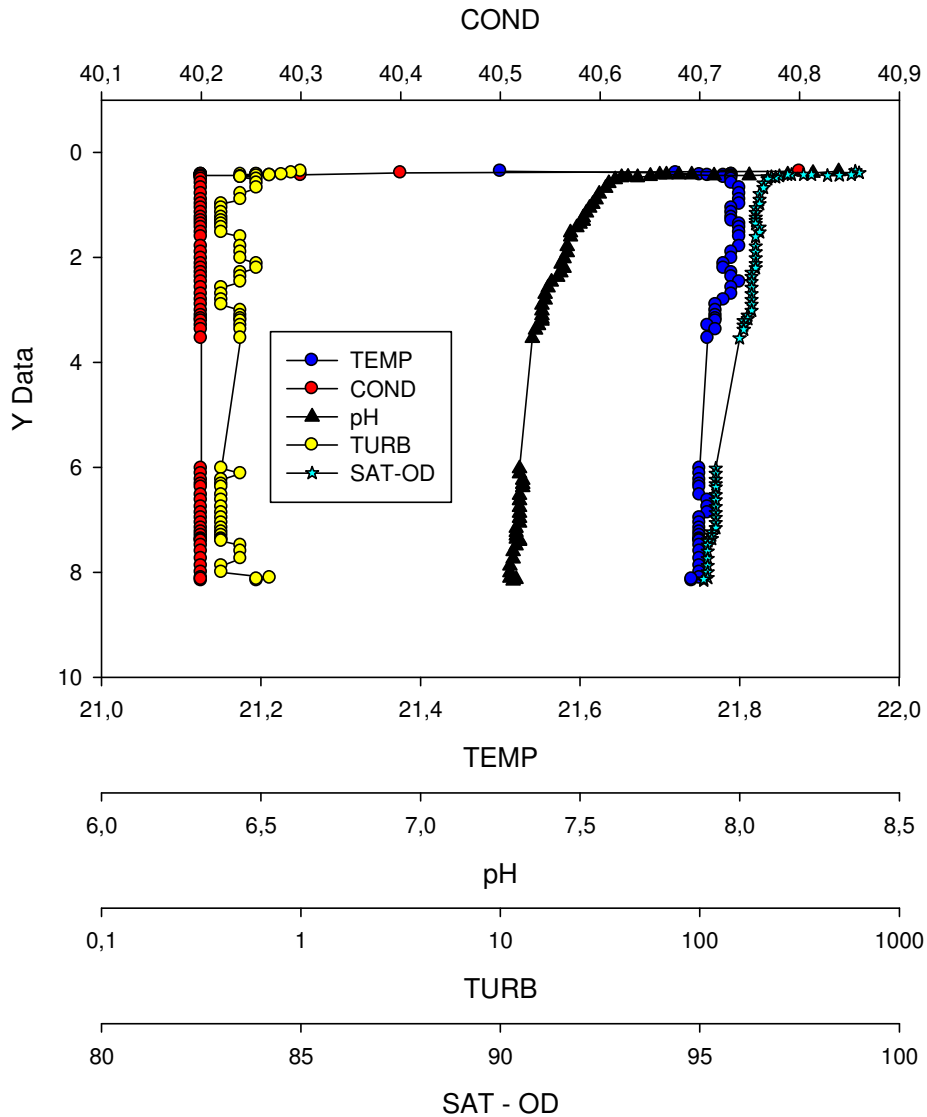


Fig. 95 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em  $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_15, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.



## IG\_16

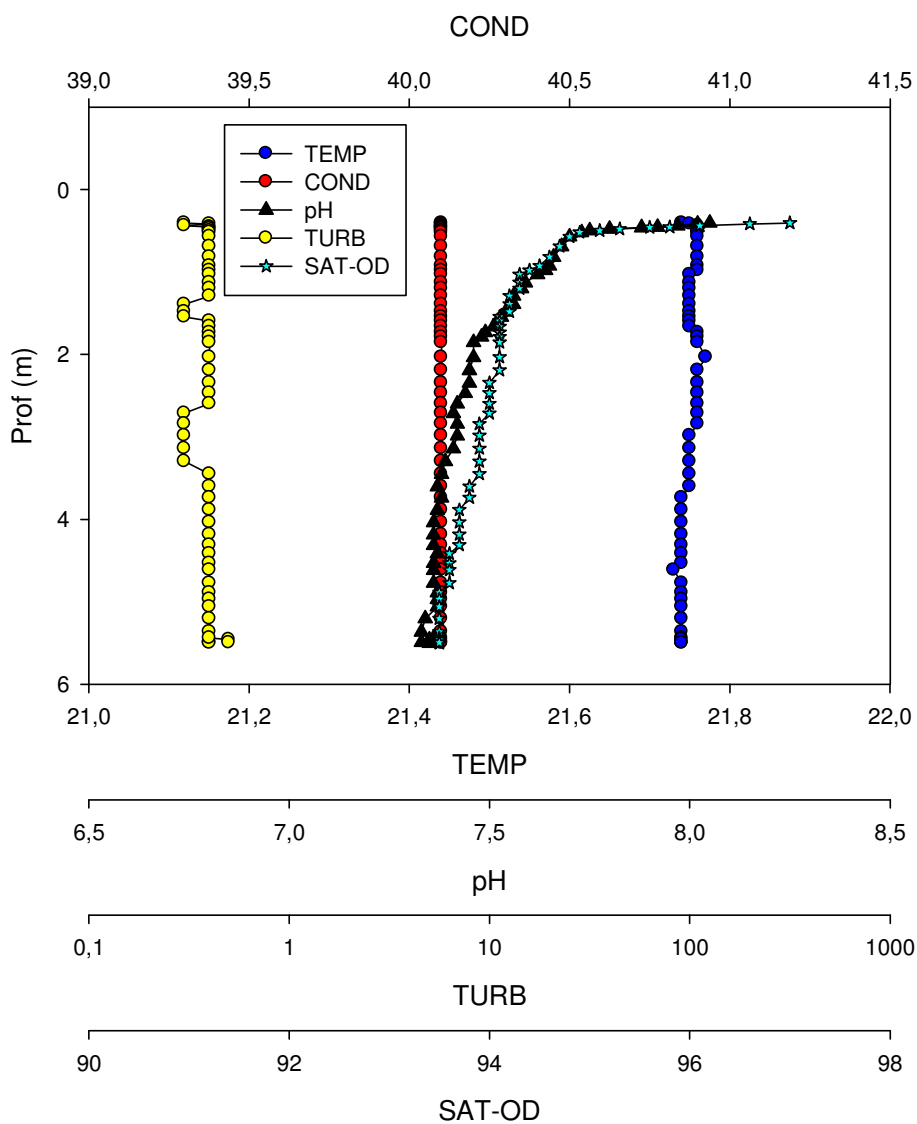


Fig. 96 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_16, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

# IG\_17

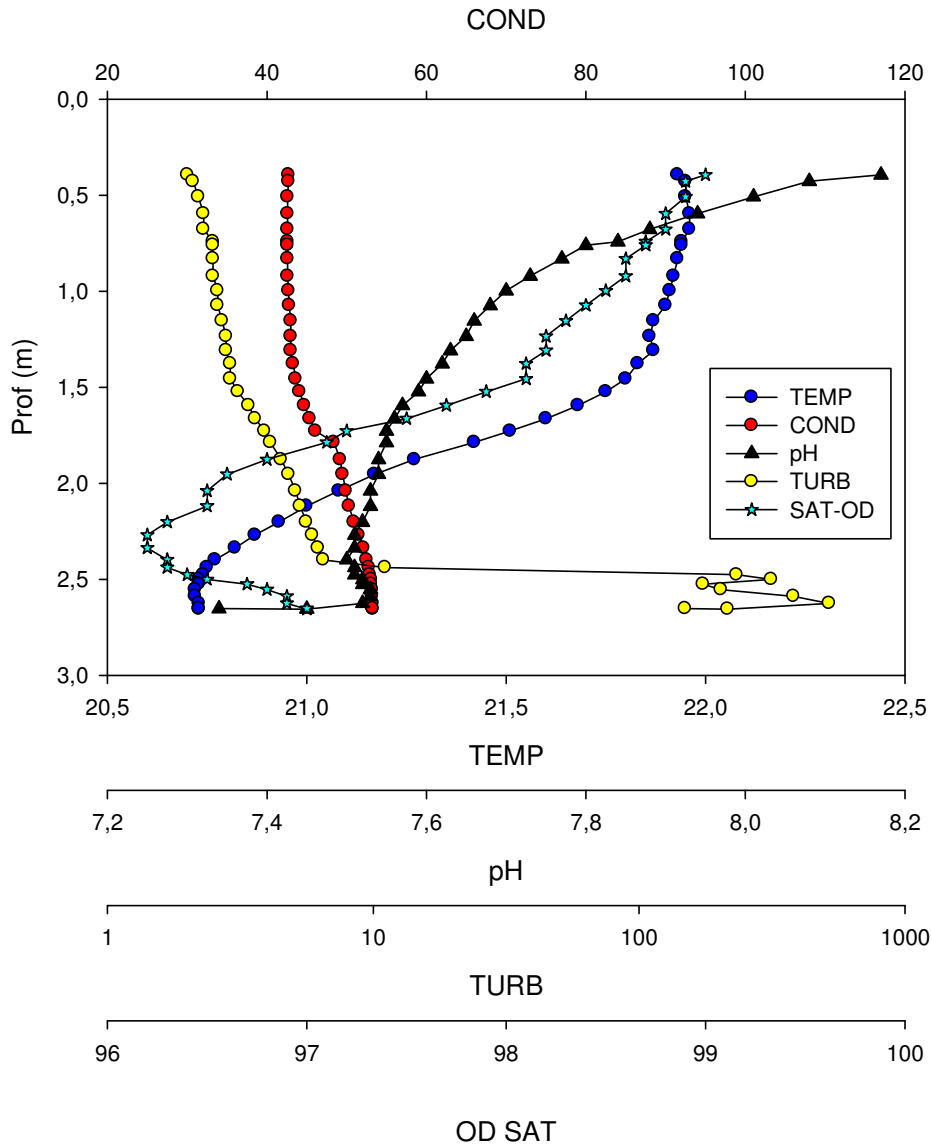


Fig. 97 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_17, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

# IG\_18

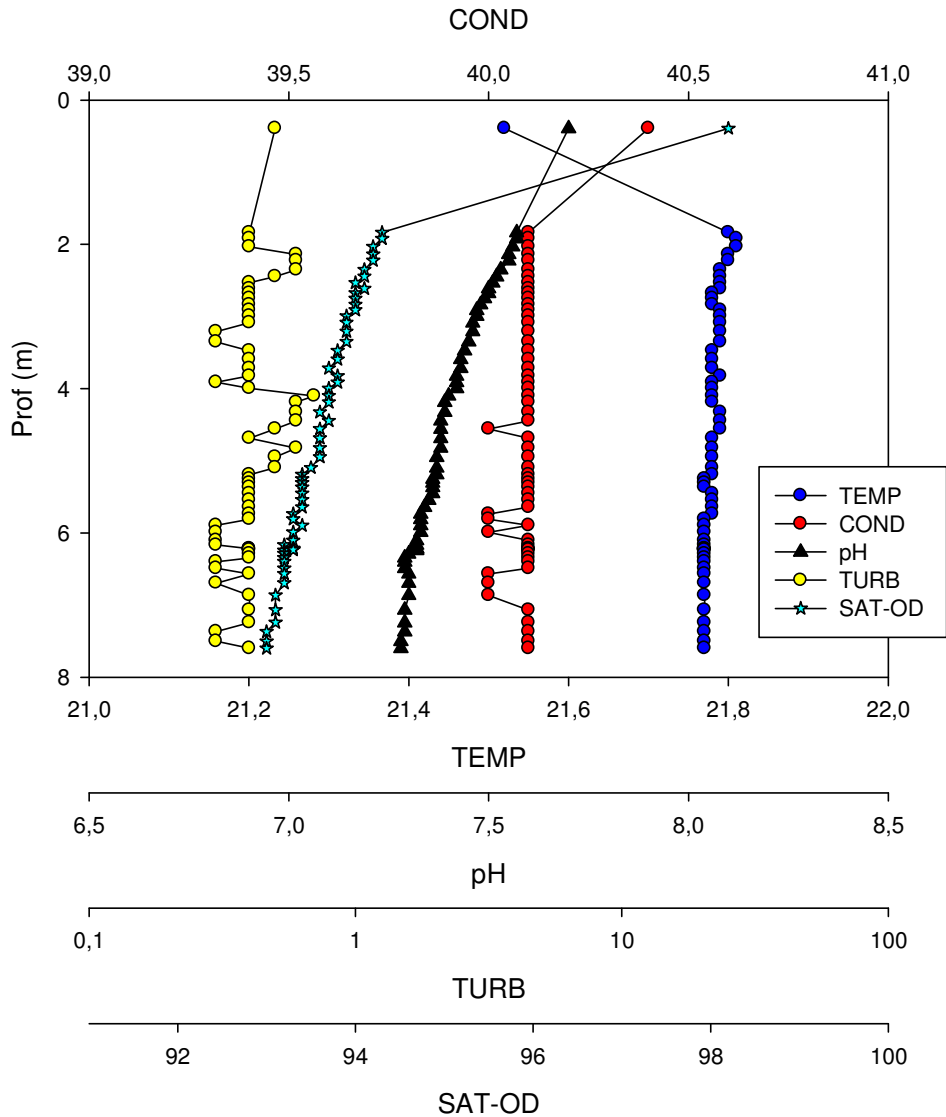


Fig. 98 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_18, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG\_19

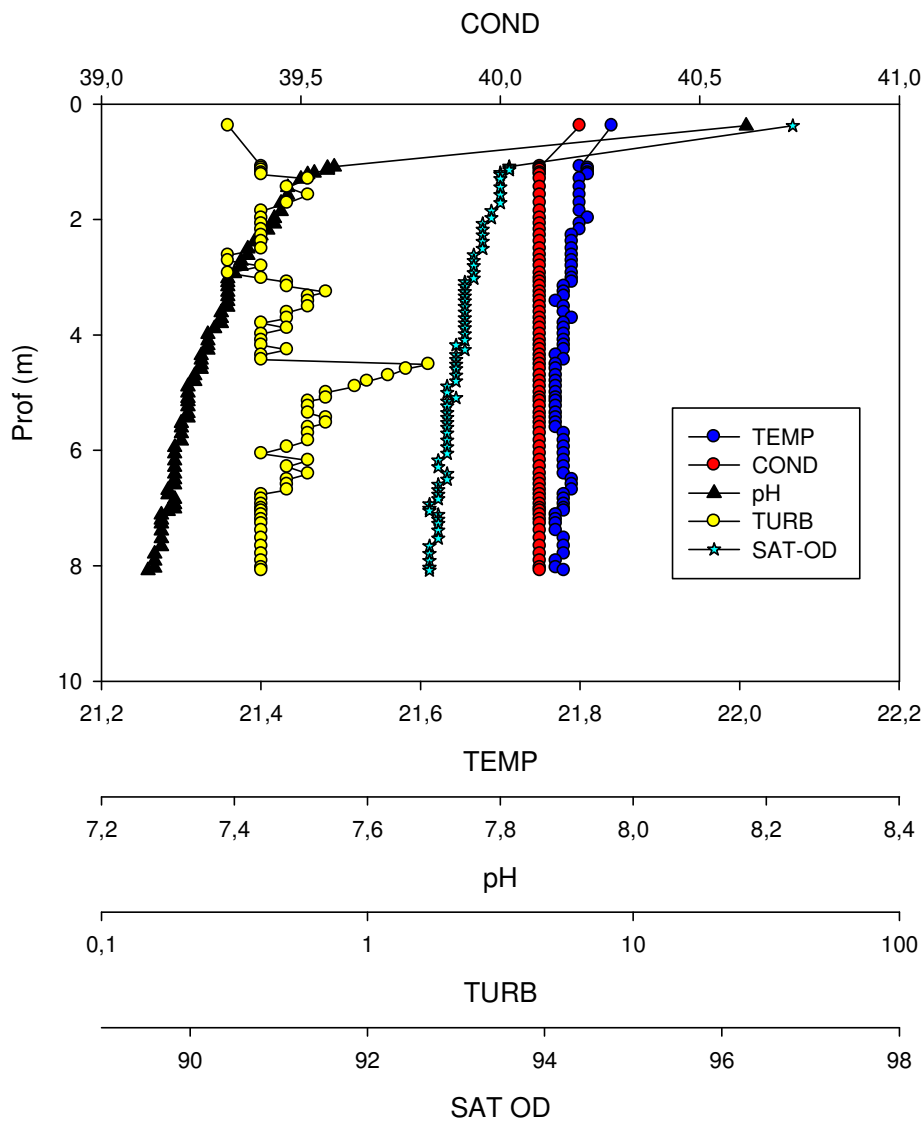


Fig. 99 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em  $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_19, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG\_20

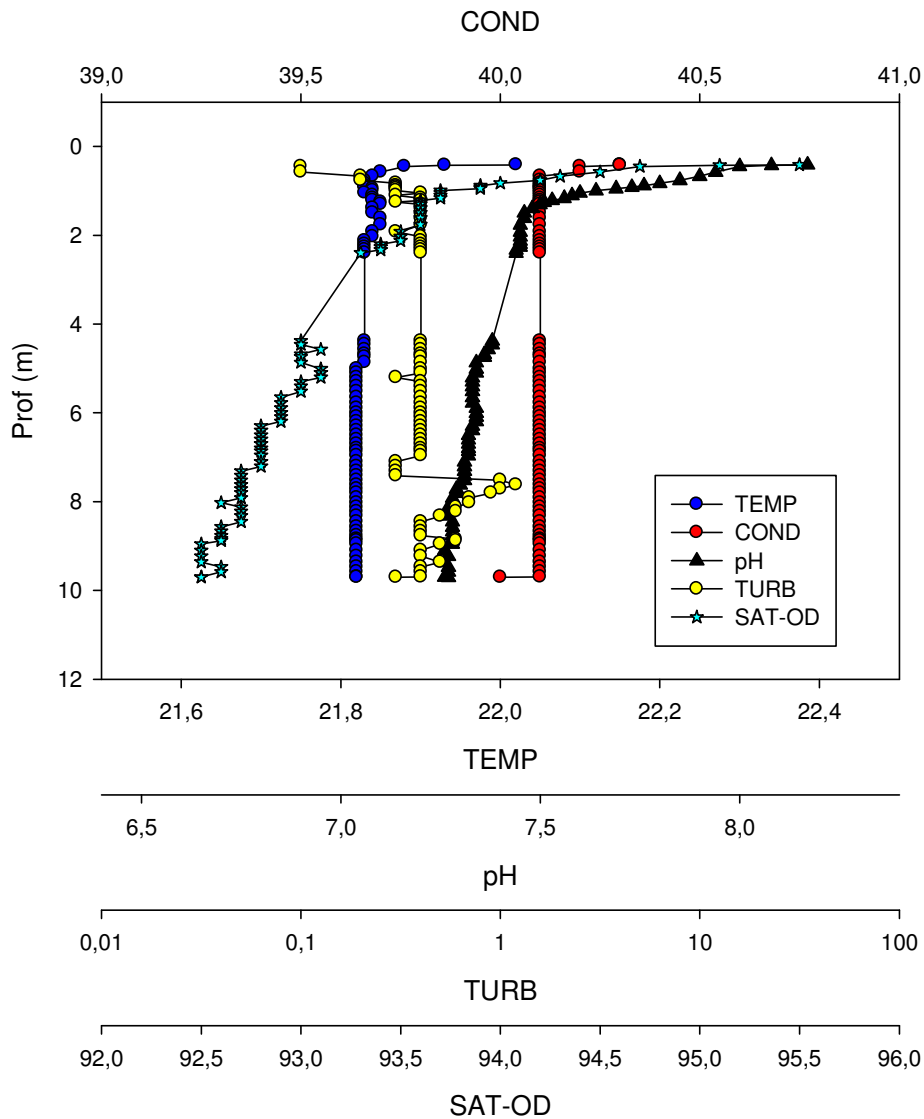


Fig. 100 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_20, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG\_21

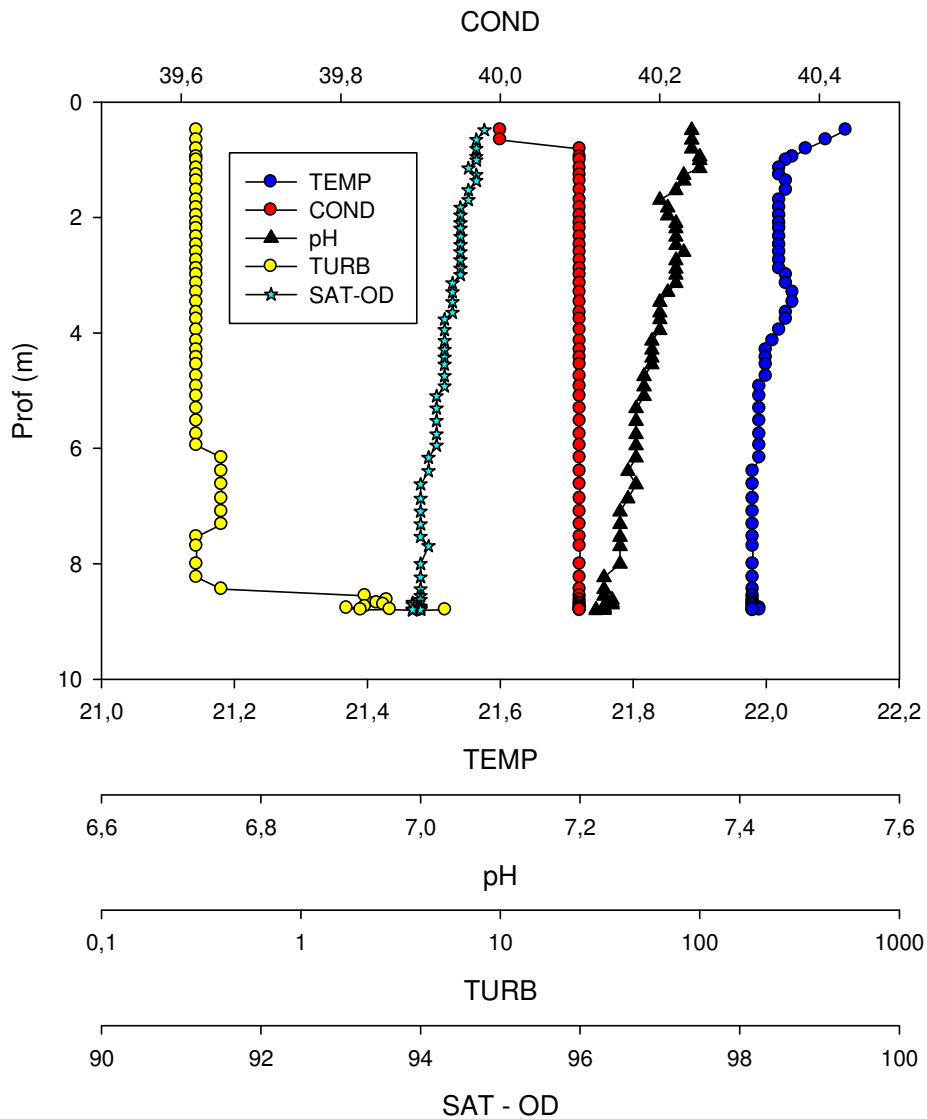


Fig. 101 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_21, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.



## IG\_22

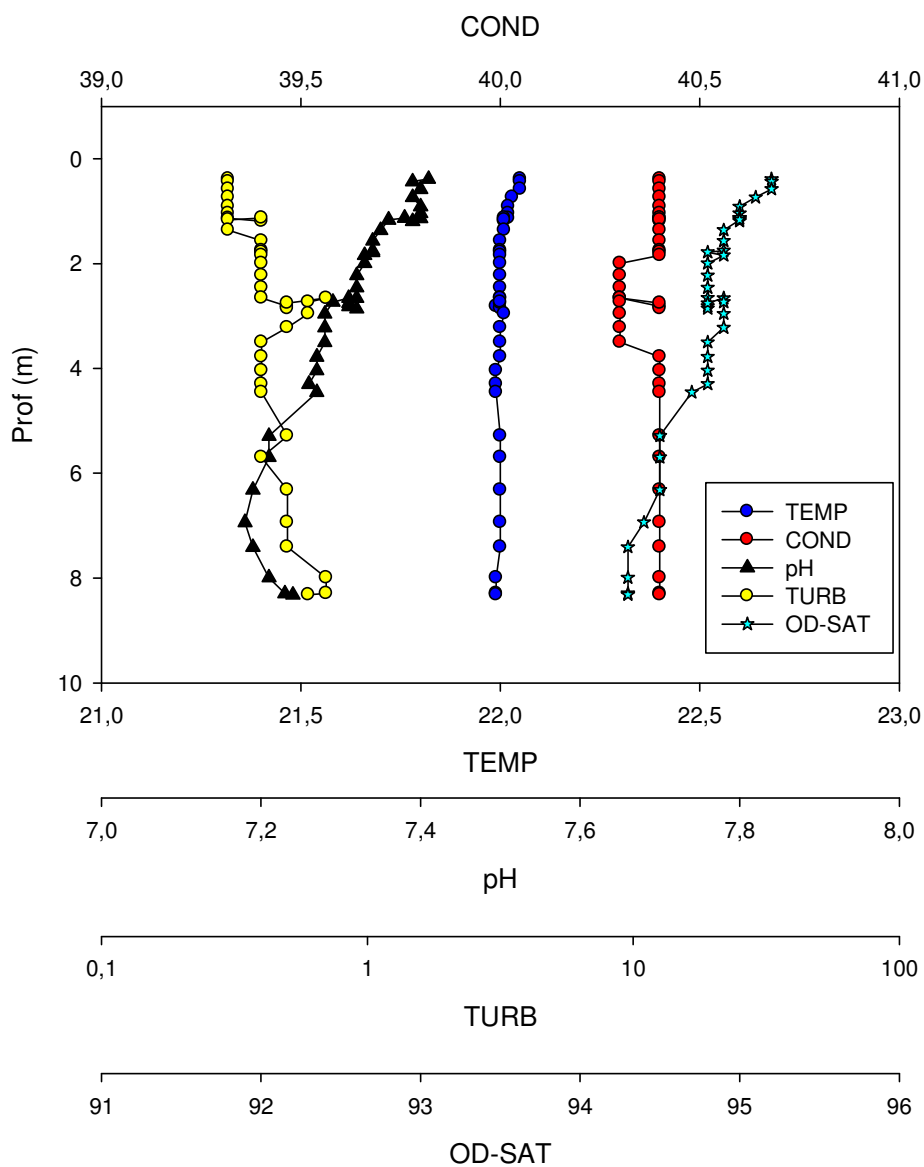


Fig. 102 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_22, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG\_23

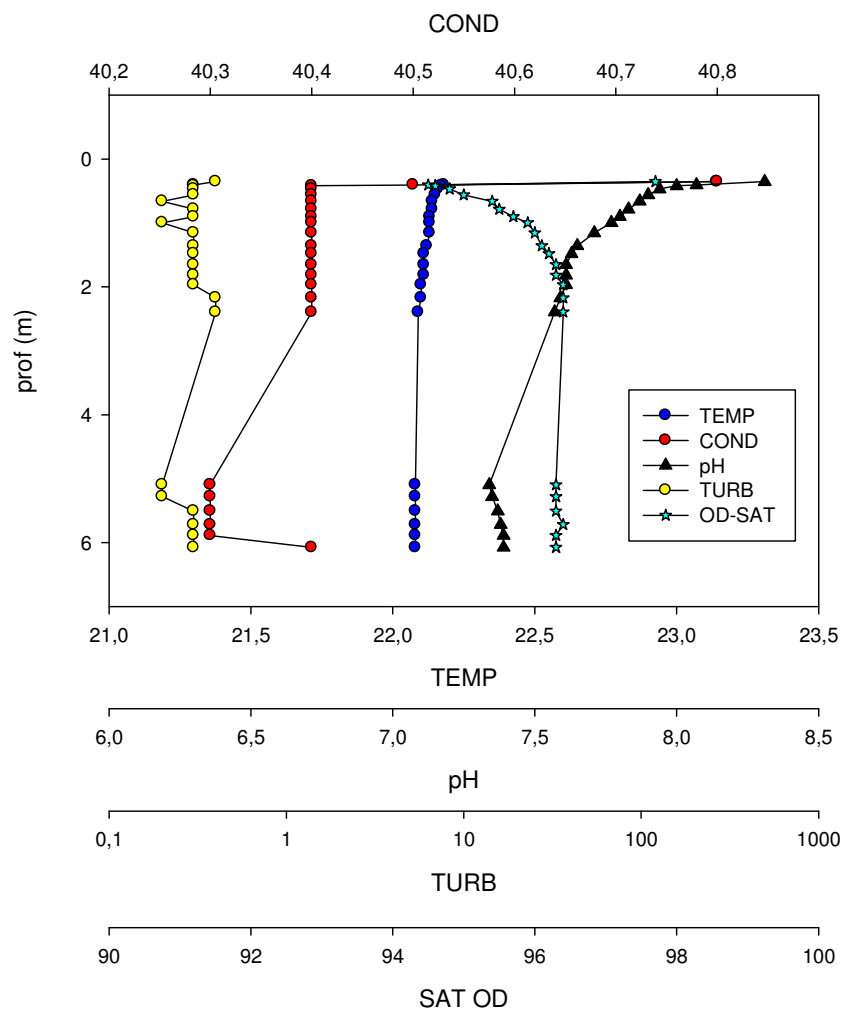


Fig. 103 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_23, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG\_24

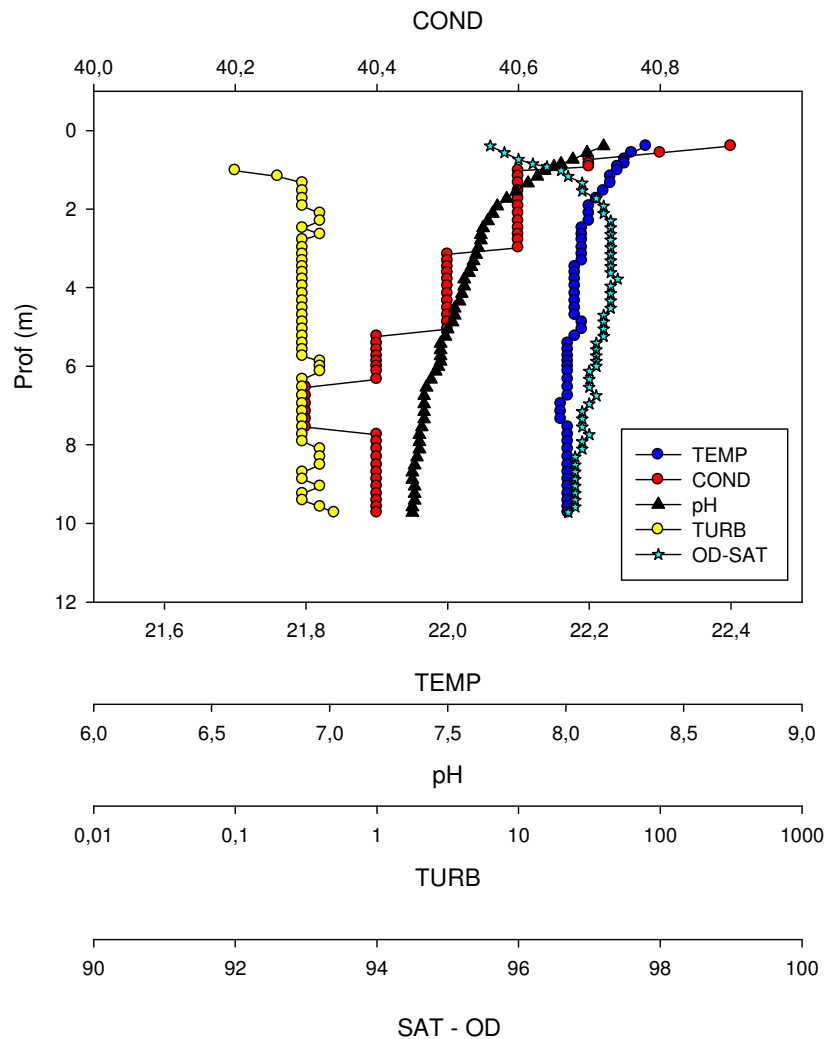


Fig. 104 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_24, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG\_25

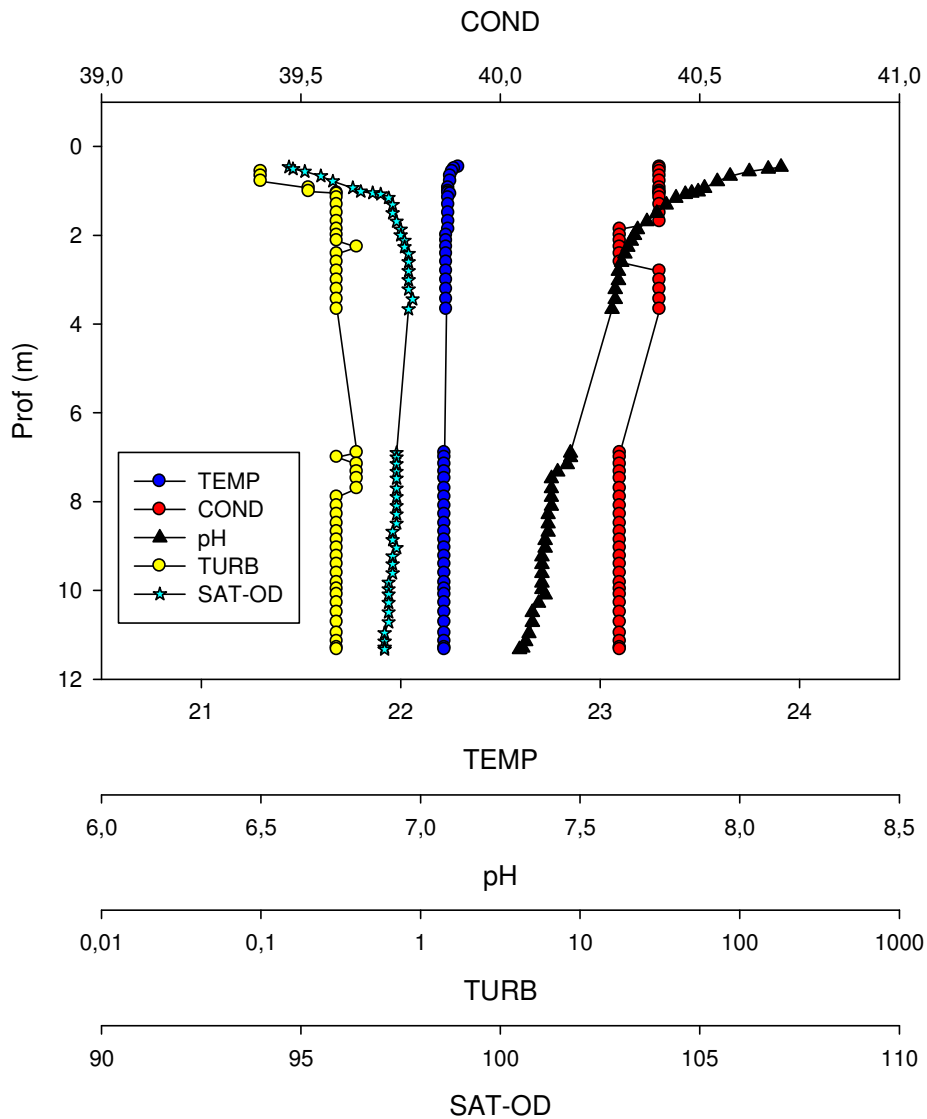


Fig. 105 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em  $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_25, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG 26

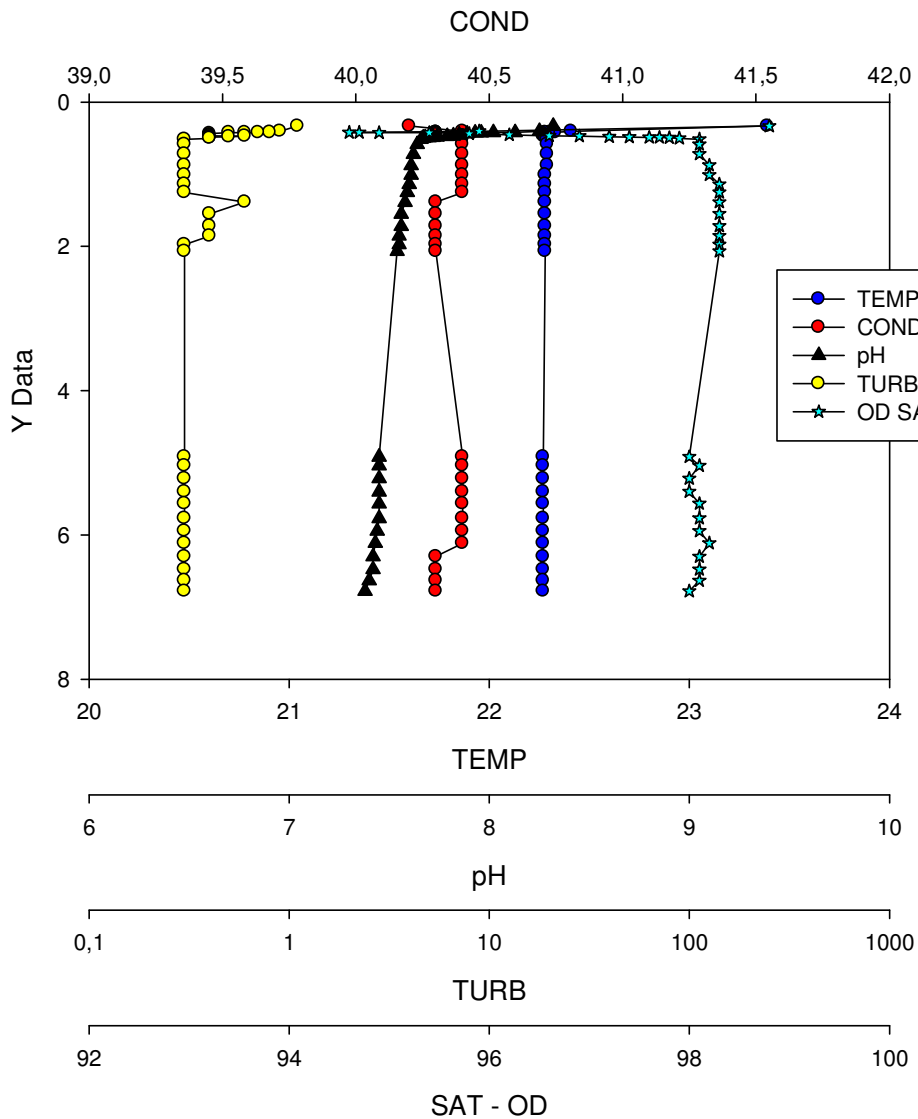


Fig. 106 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em  $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_26, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG 27

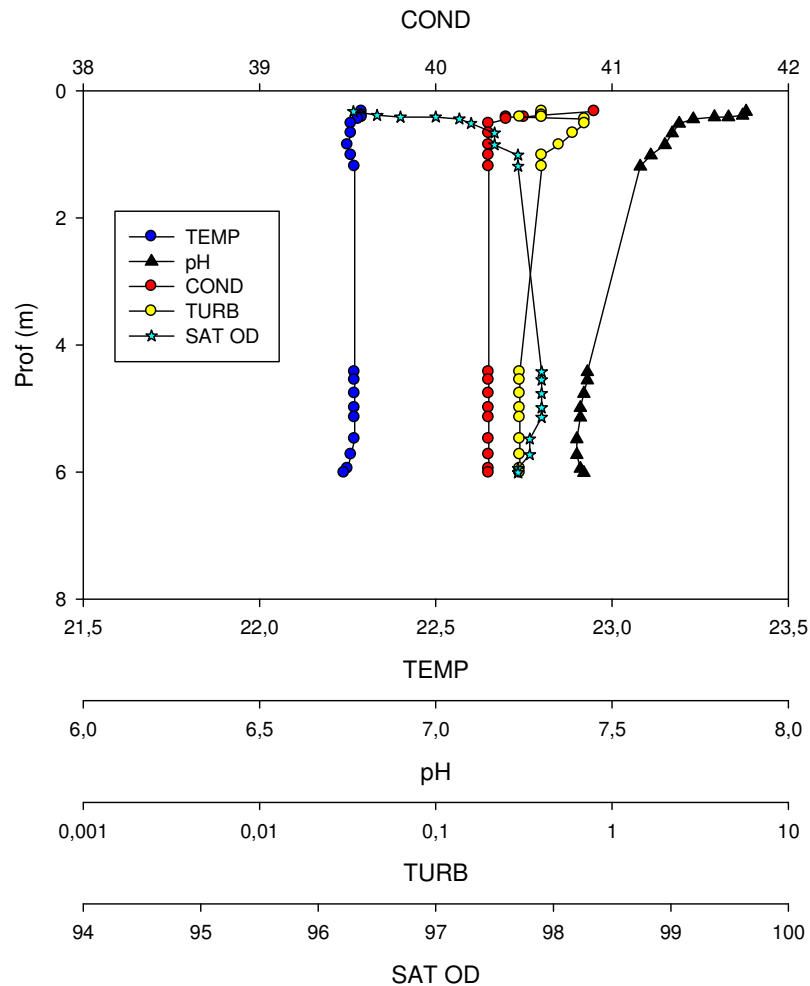


Fig. 107 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em  $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_27, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.



## IG 28

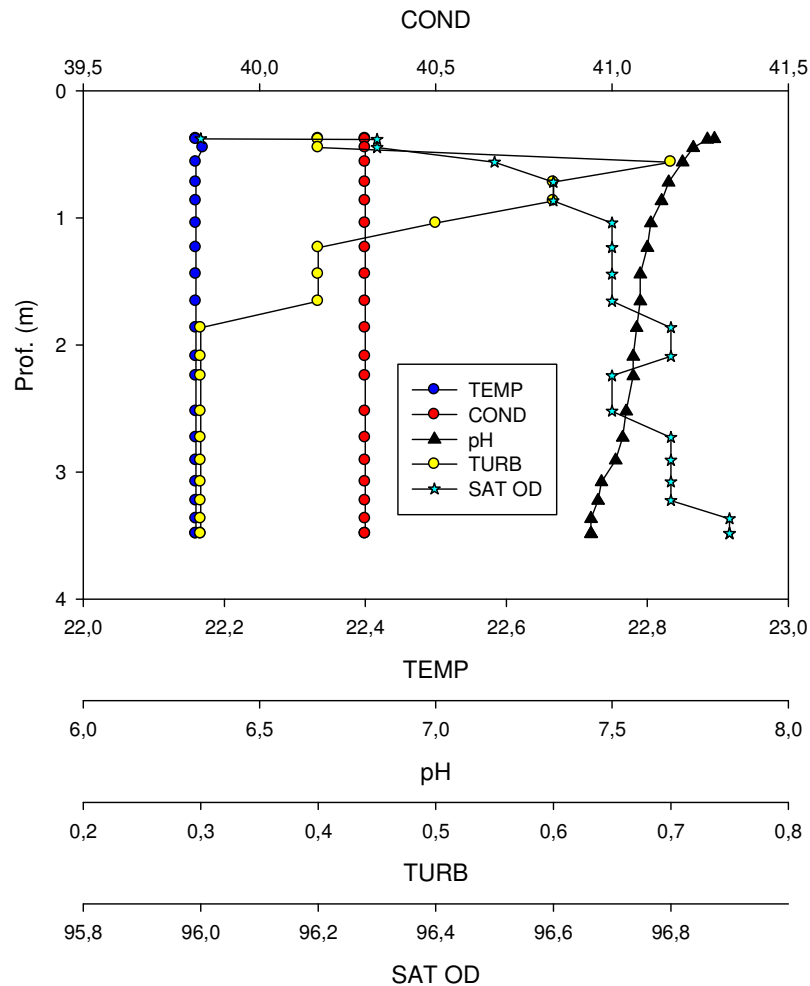


Fig. 108 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em  $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_28, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

## IG 29

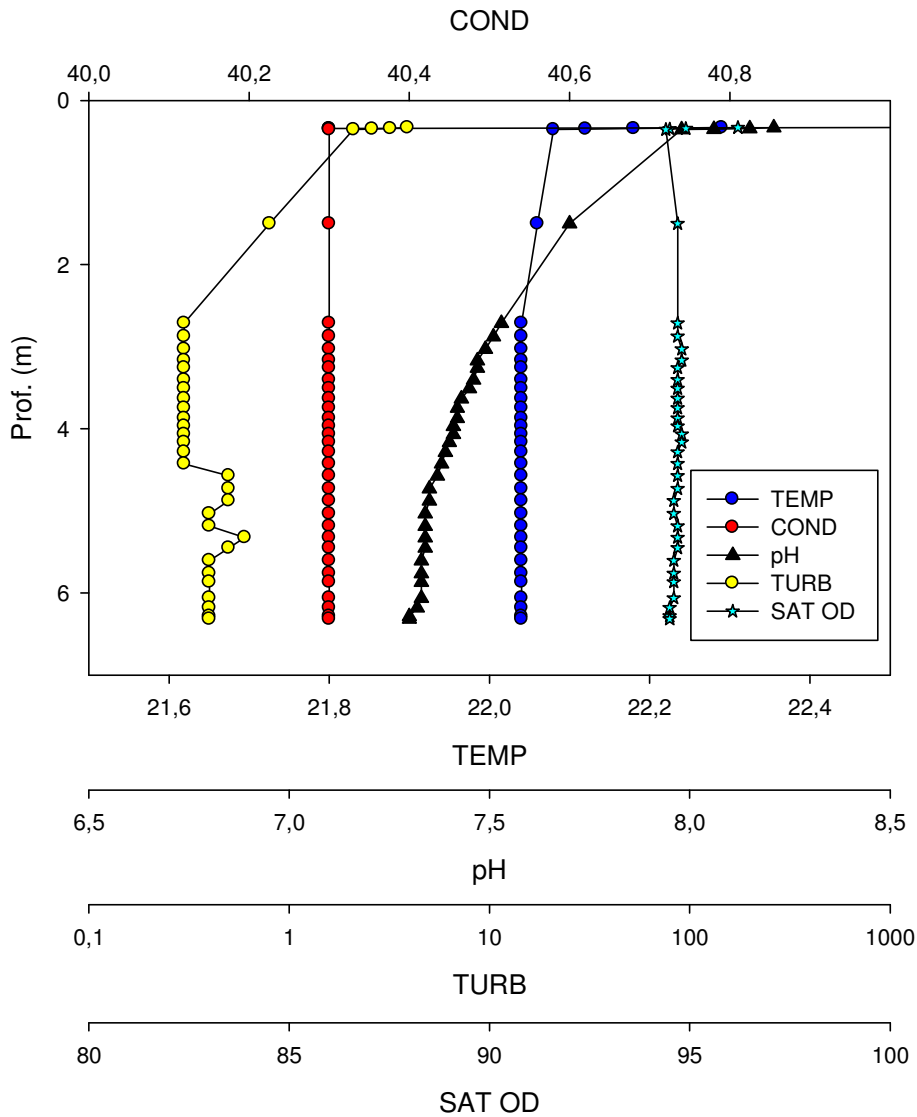


Fig. 109 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_29, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

# IG 30

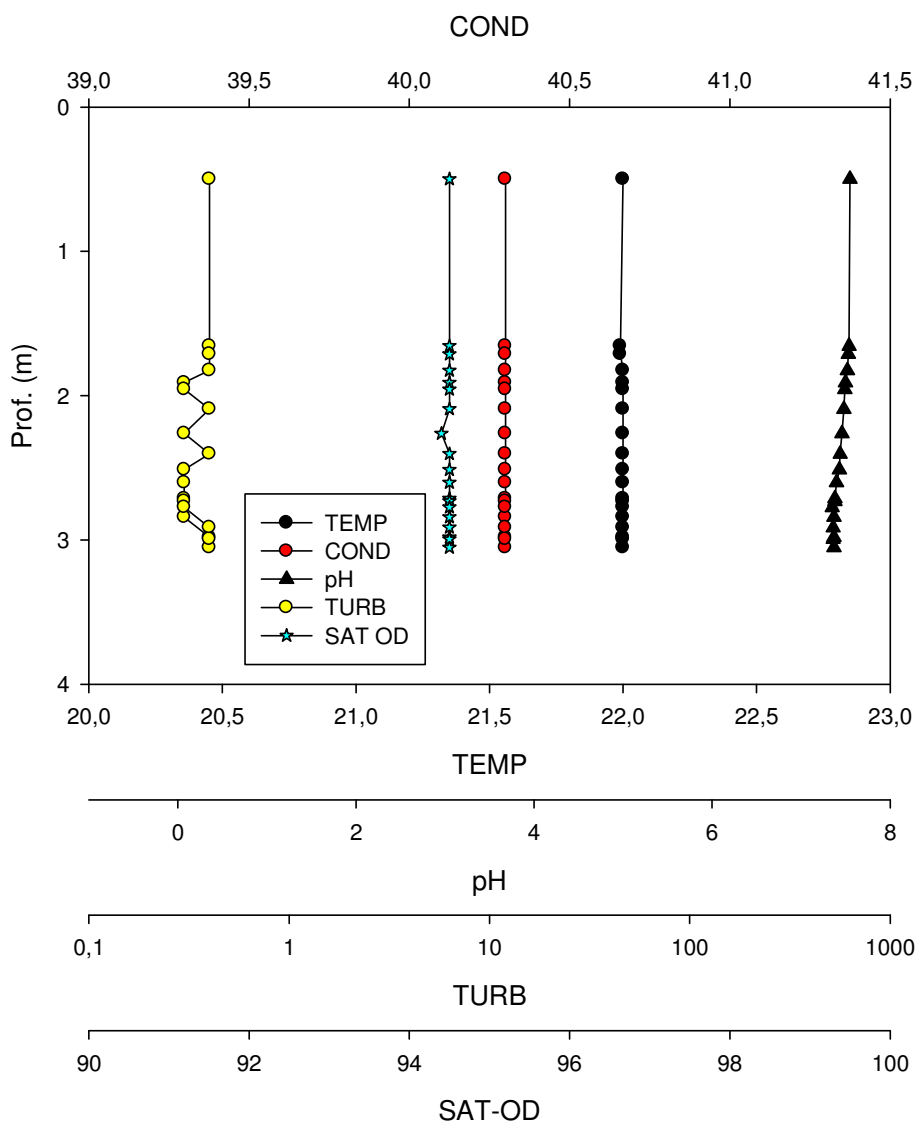


Fig. 110 – Perfis verticais de temperatura da água (TEMP, em °C), condutividade elétrica (COND, em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH (PH), turbidez (TURB, em NTU) e saturação de oxigênio (SAT-OD, em %) no ponto de coleta IG\_30, Reservatório de Igarapava (MG-SP). Data da medida: 08 de agosto de 2012.

#### 4.2.3 – Padrões Horizontais das variáveis limnológicas

As variáveis limnológicas selecionadas no presente estudo bem como a estratégia de escolha de pontos de coletas foram muito eficazes em demonstrar claramente a existência de nítidos compartimentos no reservatório. As cartas temáticas apresentadas a seguir (Figs. 111 a 125) puderam isolar claramente a existência dos seguintes compartimentos

- (a) Compartimento 1: formado pelos pontos de coletas IG 02, IG 03 e IG 04;
- (b) Compartimento 2: formado pelos pontos de coletas IG 11, IG 12, IG 13 e IG 14;
- (c) Compartimento 3: formado pelos ponto IG 17;
- (d) Compartimento 4: formado pelos pontos IG 21, IG 22 e IG23.

Esses compartimentos apresentaram bolsões típicos para algumas variáveis que são descritos a seguir. O compartimento 1 pode ser evidenciado pelas variáveis transparência pelo disco de Secchi (Fig. 111), sólidos em suspensão (Fig. 115), nitratos (Fig. 120) e sulfatos (Fig. 124).

O compartimento 2 foi claramente evidenciado pelas variáveis transparência do disco de Secchi (Fig. 111), Kd (PAR) (Fig. 112), Kd (UV 340) (Fig. 113), DBO (Fig. 121), DQO (Fig. 122), sólidos em suspensão (Fig. 115), clorofila-a (Fig. 117).

O compartimento 3 foi identificado pelas seguintes variáveis: transparência pelo disco de Secchi (Fig. 111), Kd-UV 340 (Fig. 113), turbidez (Fig. 114), e DBO (Fig. 121).

O compartimento 4 foi isolado e identificado pelas seguintes variáveis: fósforo solúvel (Fig. 118), coliformes termotolerantes (Fig. 123), nitratos (Fig. 120), nitrogênio total (Fig. 119).

A compartimentação do reservatório sugere a existências de dois tipos de influências distintas: (a) assoreamento e (b) eutrofização. Em relação aos locais identificados como sendo locais ativos de assoreamento é evidente que há uma sobreposição entra



a carta indicando os locais de assoreamento e os compartimentos limnológicos de número 2 e 4. Exatamente nesses locais (compartimento 2) tivemos reduções da transparência da água, aumento nos valores de  $K_d$  (PAR), por exemplo. O compartimento 4 que sofre com o assoreamento de margens é também um ponto com evidentes indícios de eutrofização, principalmente considerando os valores de nitratos, nitrogênio total e fósforo. Dessa forma, fica claro que a escolha tanto das variáveis quanto da estratégia de coleta foi muito adequada para que os objetivos do presente trabalho pudessem ser alcançados. Recentes pesquisas têm demonstrado que a adoção de uma estratégia de coletas de dezenas de pontos de coleta concentrados no período de maior estabilidade hidrodinâmica (época da seca) em reservatórios tem sido muito eficaz para a detecção tanto de fontes pontuais quanto de fontes difusas de entradas de nutrientes em reservatórios (Pinto-Coelho ET AL. 2010)

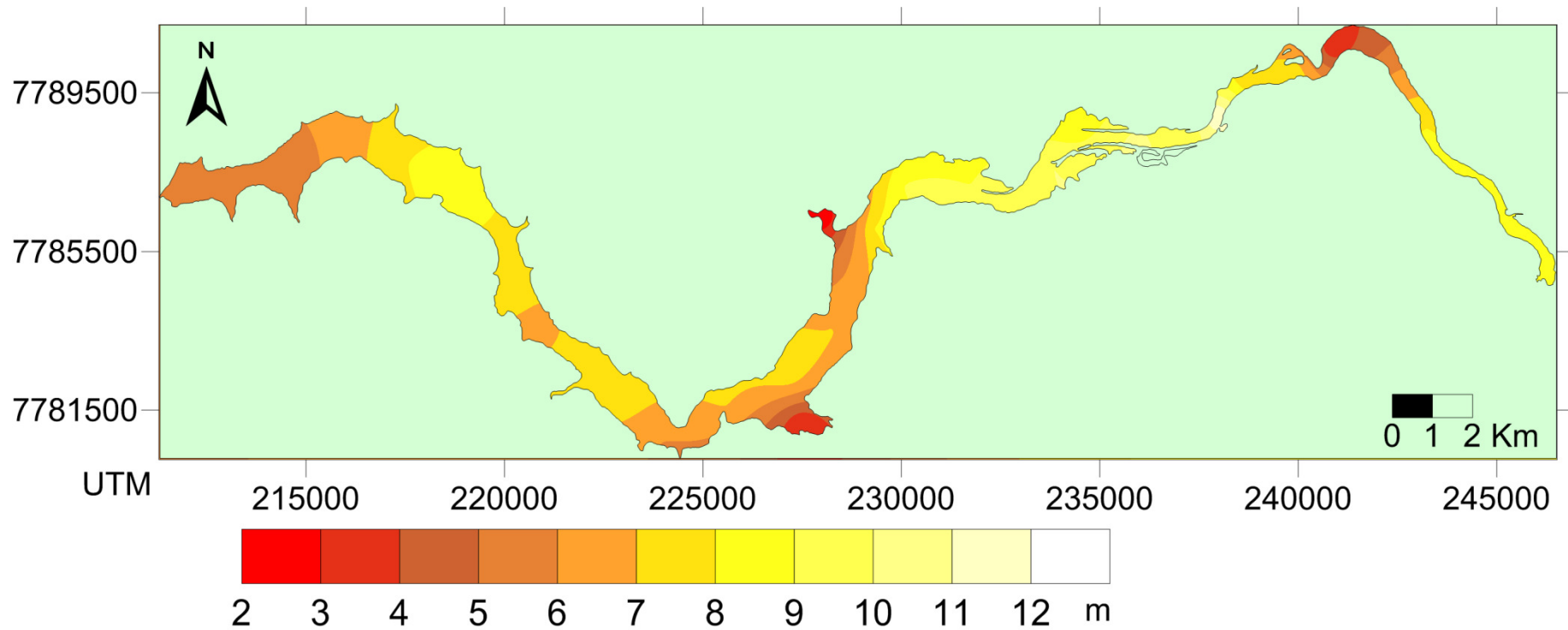


Fig. 111 –Transparência medida pelo disco de Secchi em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade: metros).



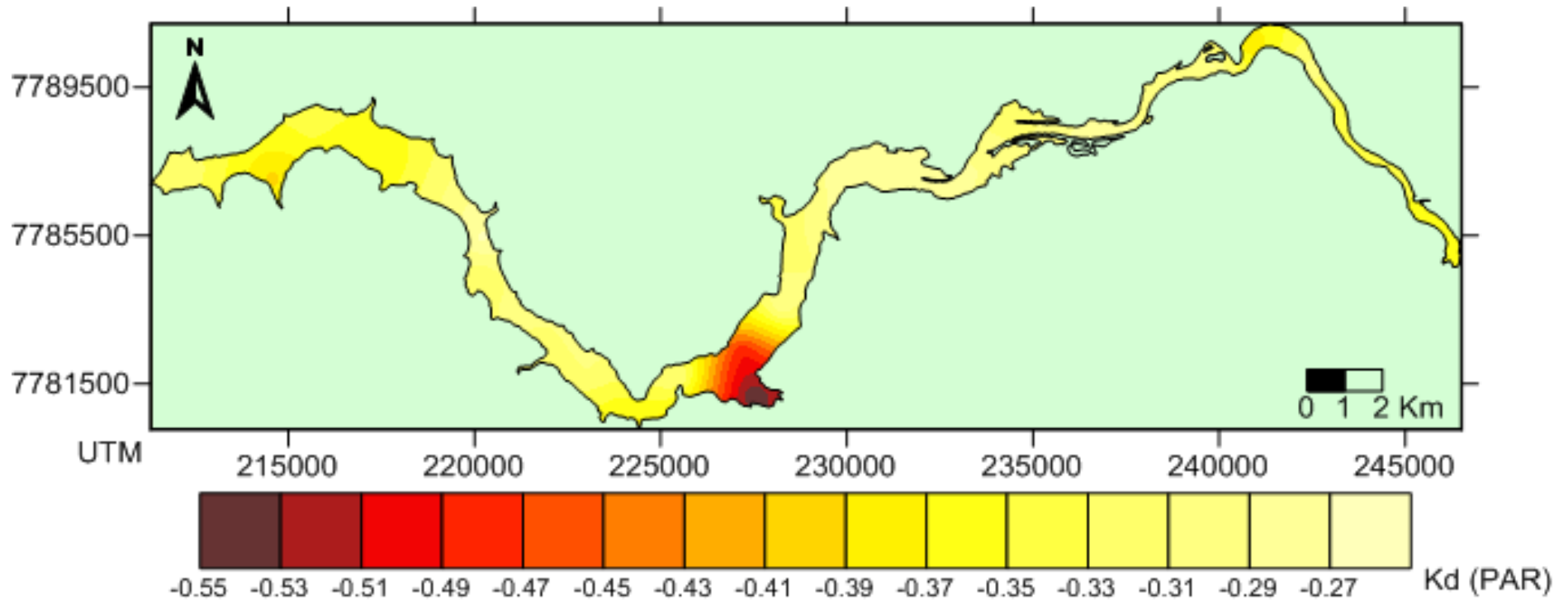


Fig. 112 – Coeficientes de extinção vertical de extinção da radiação fotossinteticamente ativa ( $K_d$ , PAR) no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012. Os coeficientes  $K_d$  referem-se a inclinação da regressão linear entre a variável radiação PAR (dados log transformados) e a profundidade em metros .

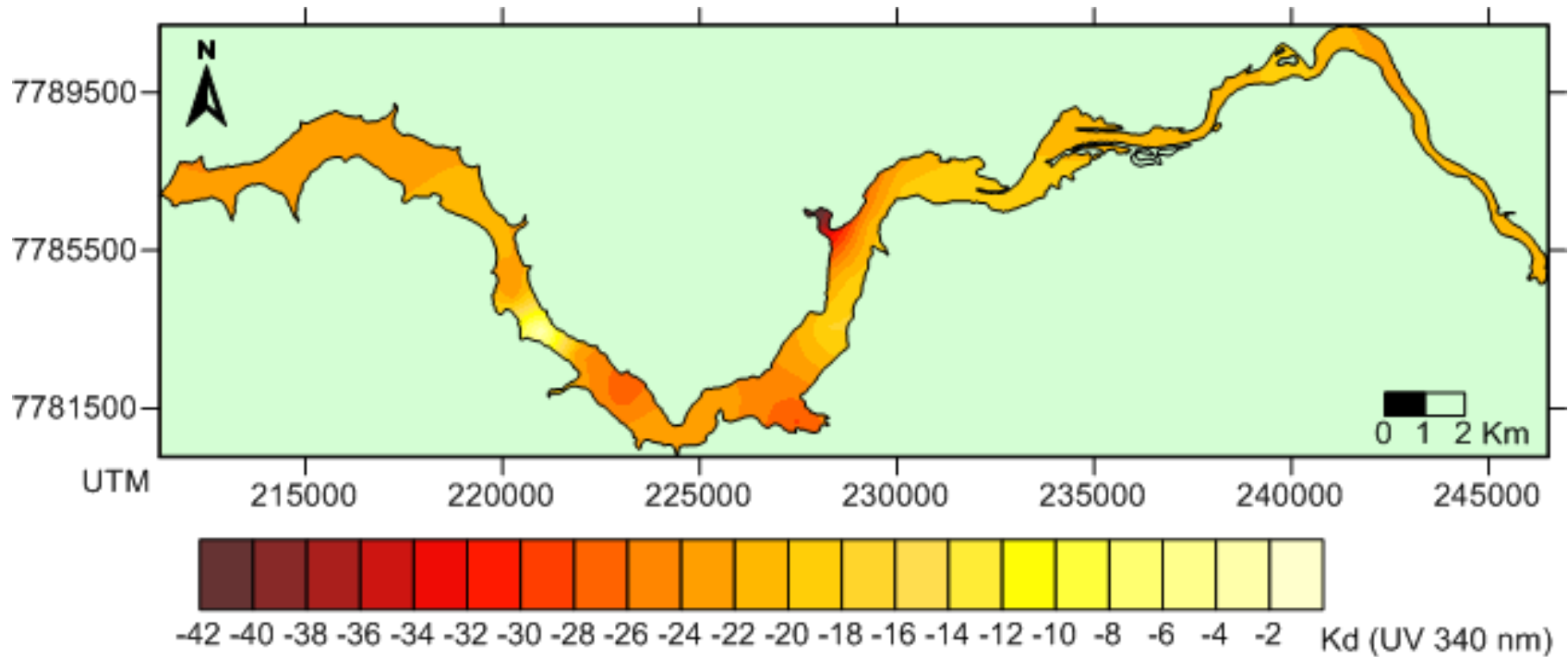


Fig. 113 – Coeficientes de extinção vertical da extinção da radiação UV ( $K_d$ , radiação UV, 340 nm) no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012. . Os coeficientes  $K_d$  referem-se a inclinação da regressão linear entre a variável radiação PAR (dados log transformados) e a profundidade em metros .

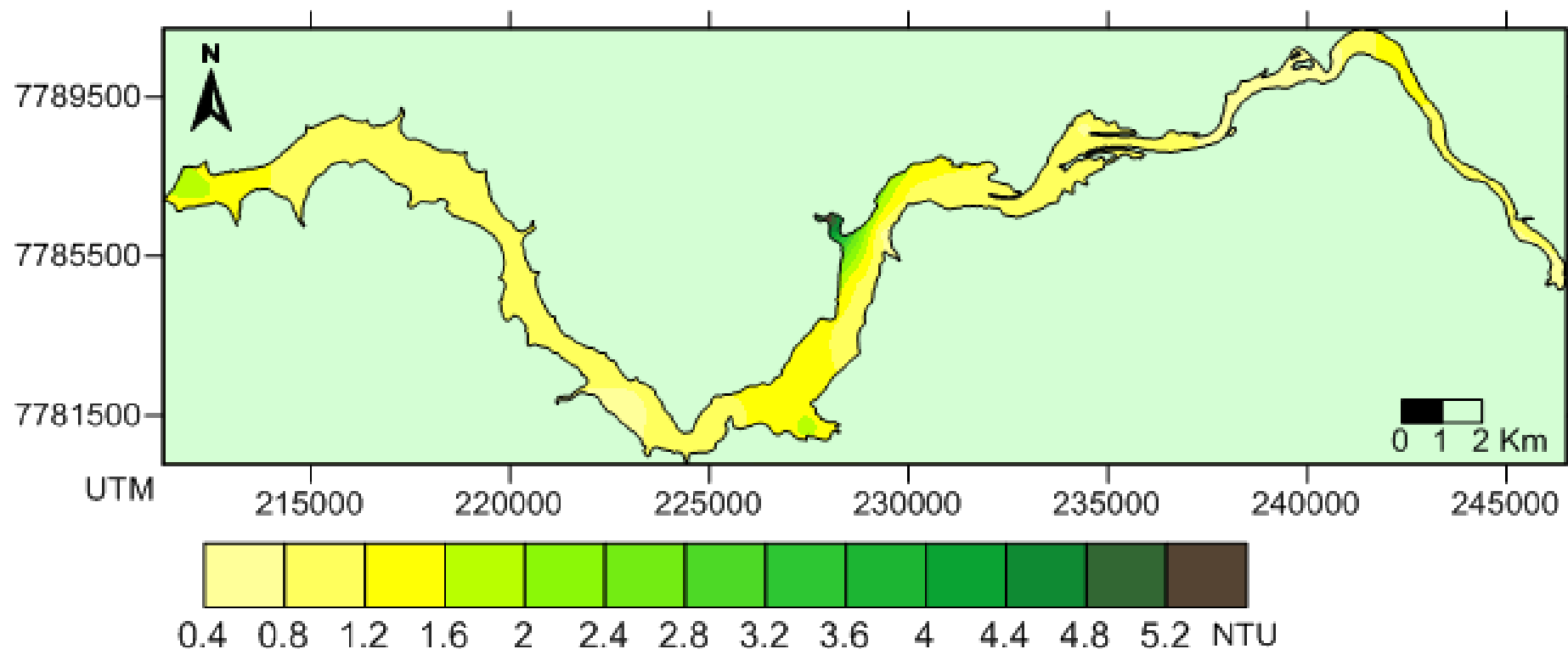


Fig. 114 –Turbidez medida pelo turbidímetro DIGIMED em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade: NTU).

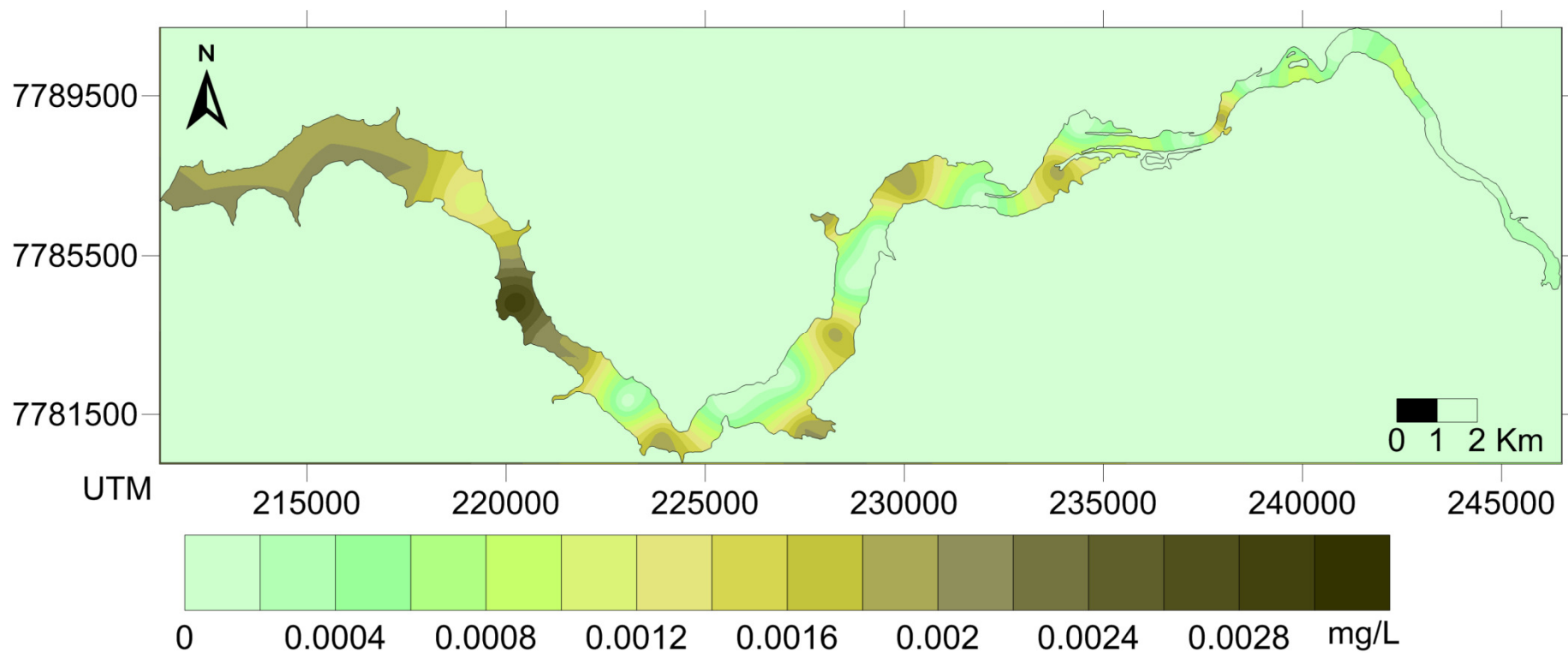


Fig. 115 –Sólidos totais (método gravimétrico) em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade:  $\text{mg.L}^{-1}$ ).

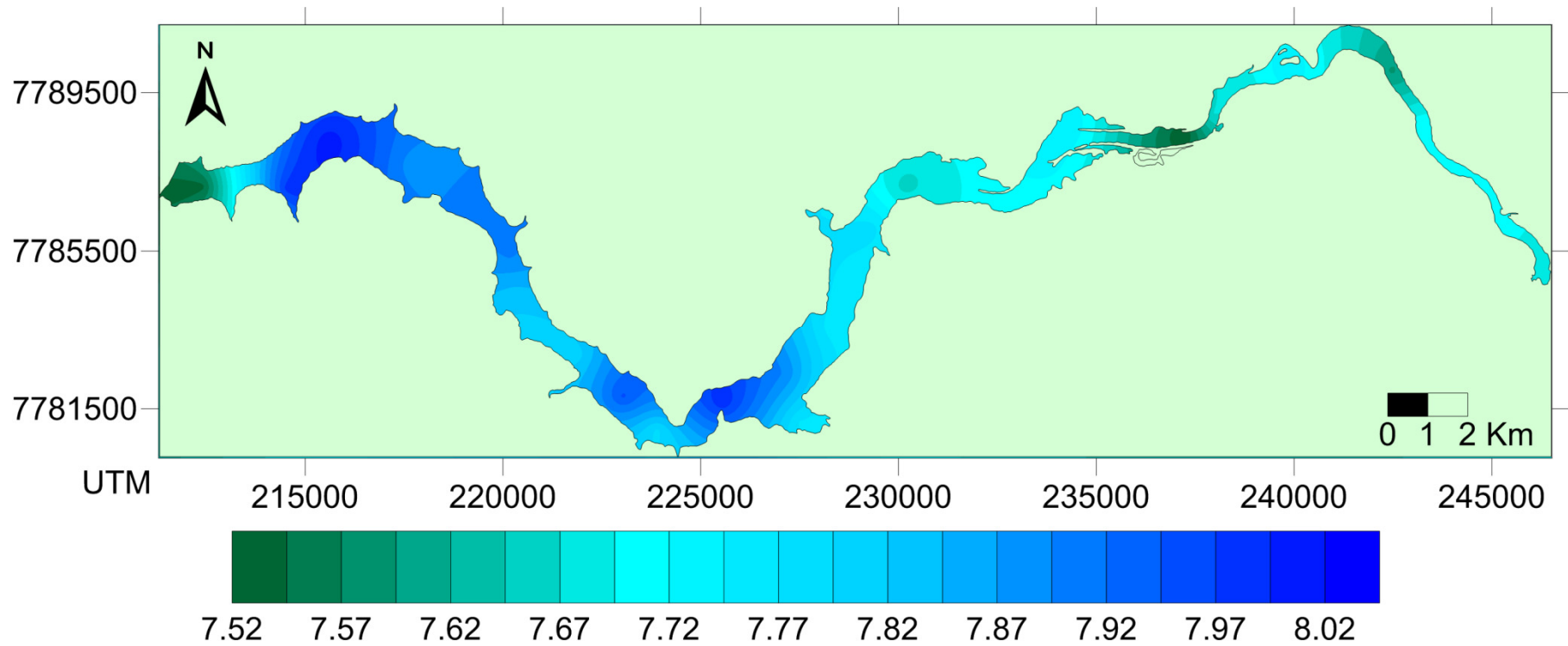


Fig. 116 –pH em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidades de pH, escala log).

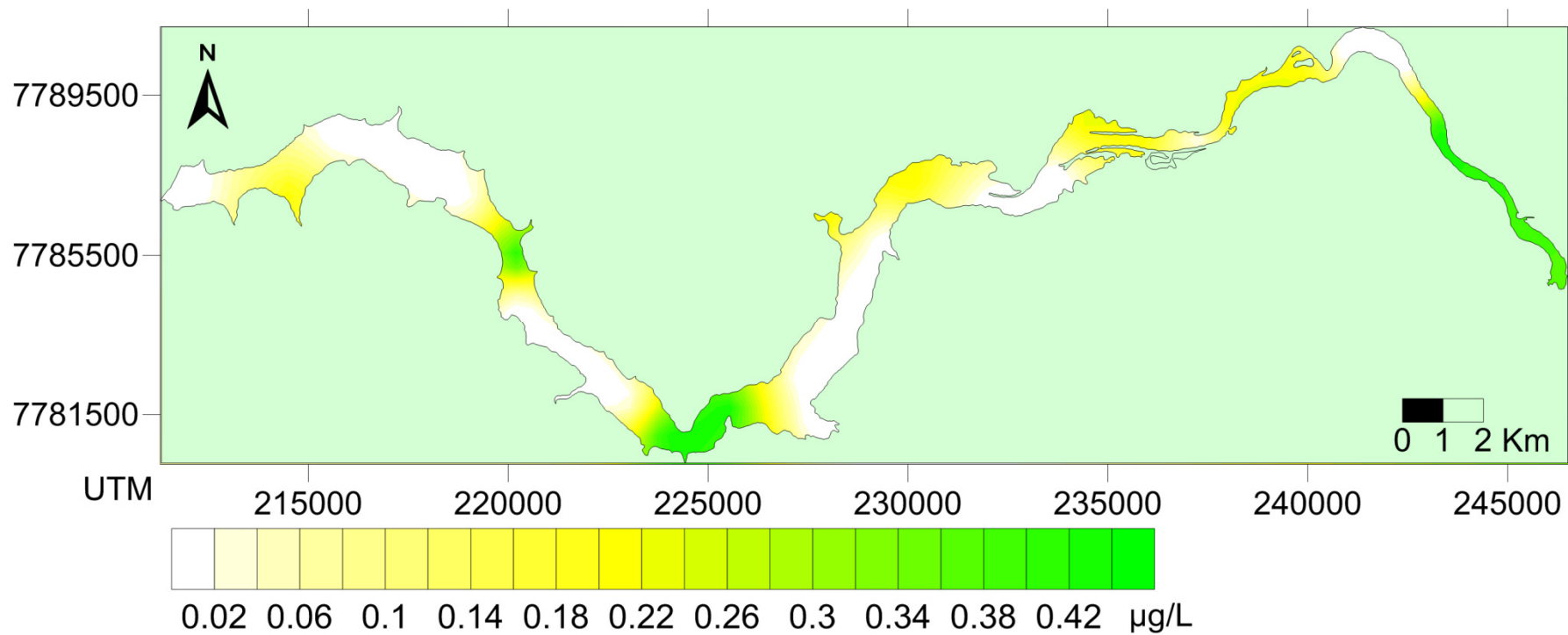


Fig. 117 –Clorofila-a (método Lorenzen) em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012.



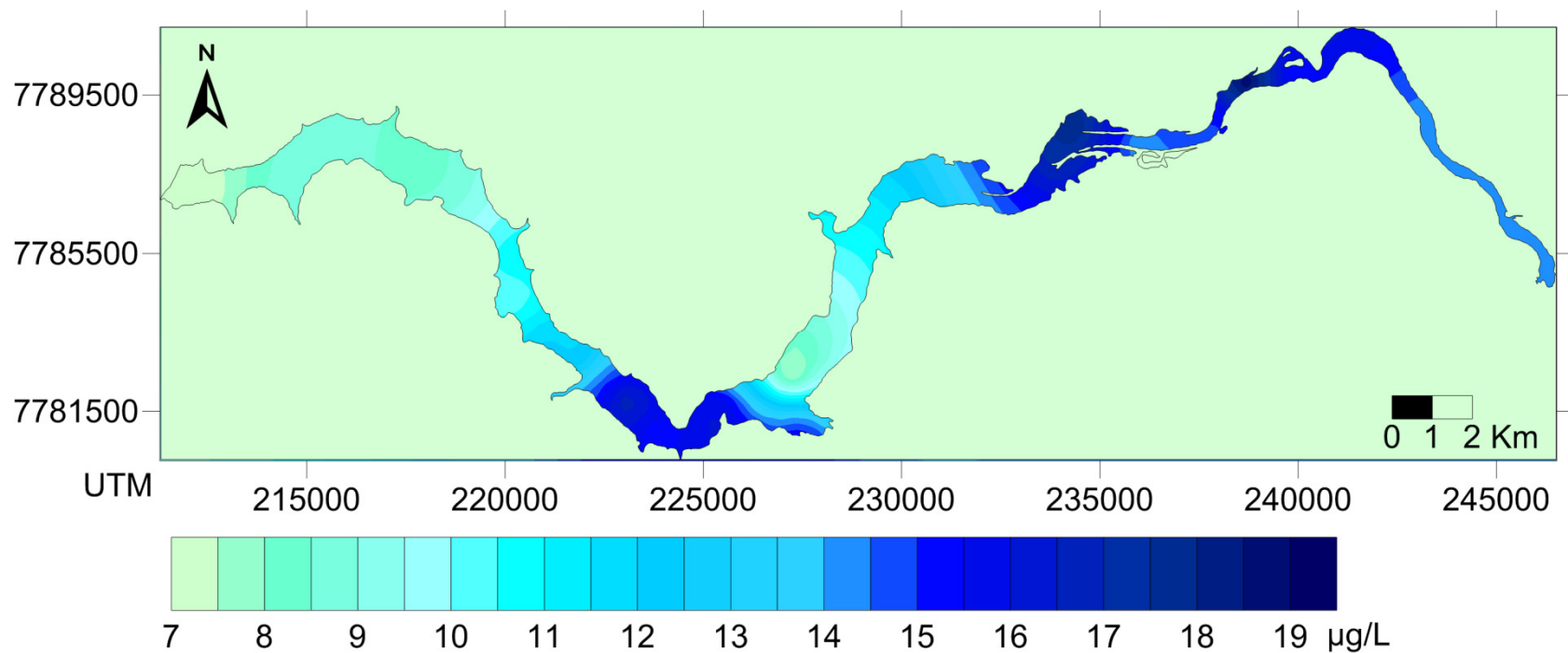


Fig. 118 – Fósforo solúvel em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade:  $\mu\text{g.P-PO}_4^{-3}$ ).

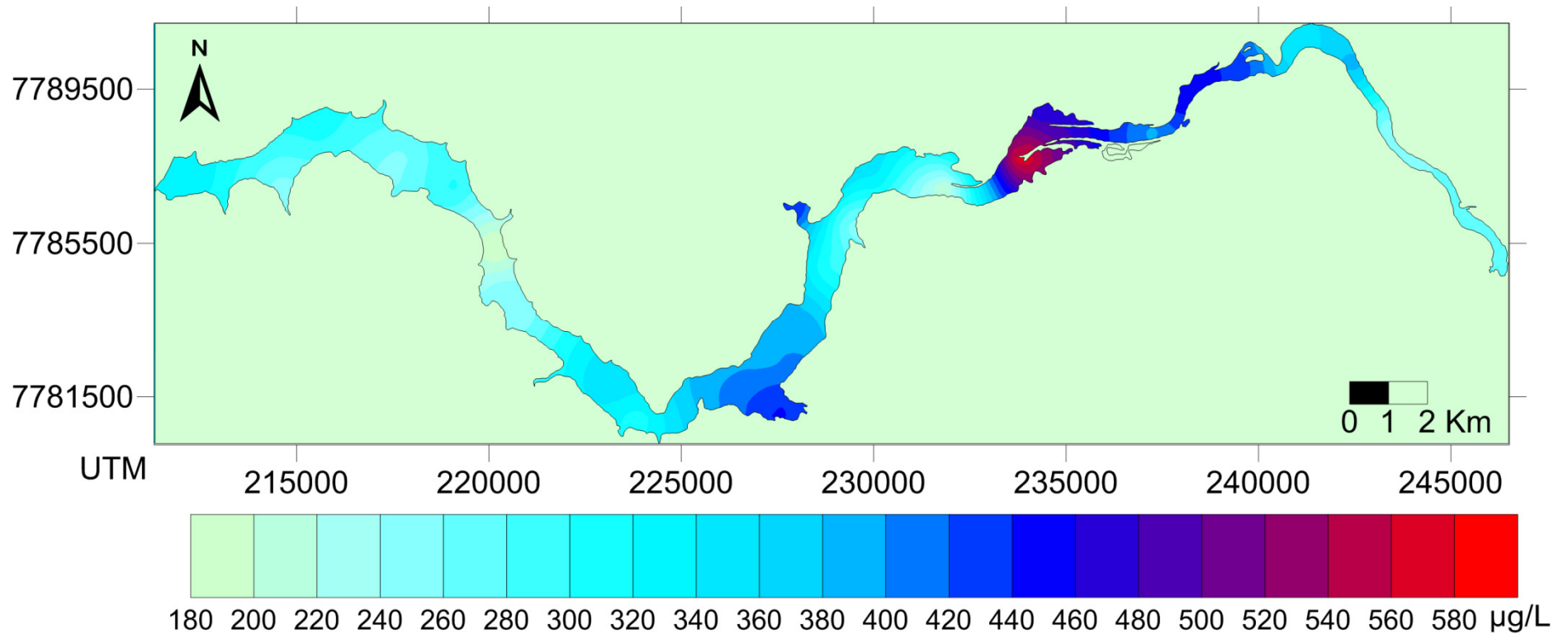


Fig. 119 –Nitrogênio total em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade:  $\text{mg.L}^{-1}$ ).

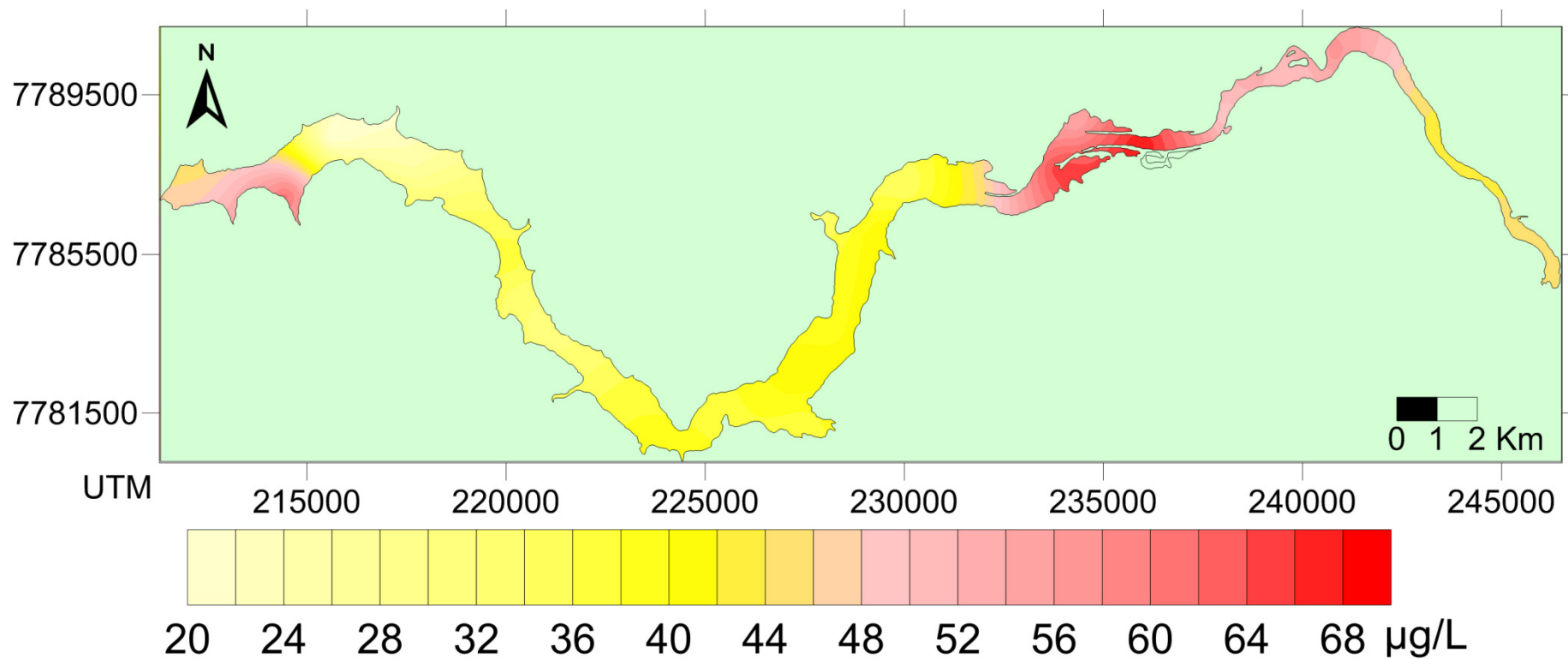


Fig. 120 –Nitratos em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade:  $\mu\text{g.N-NO}_3$ ).

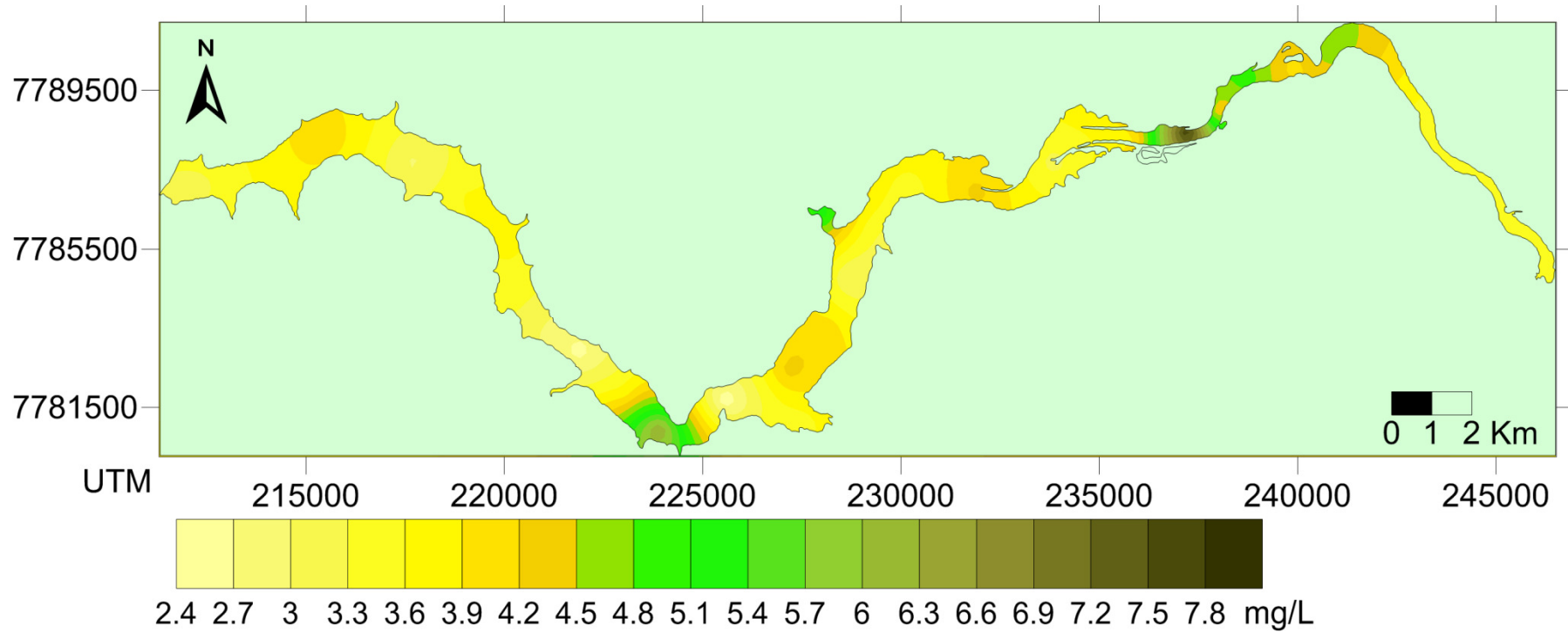


Fig. 121 –Demanda bioquímica de oxigênio (DBO, 5d, 20°C ) em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade: mg.L<sup>-1</sup>).

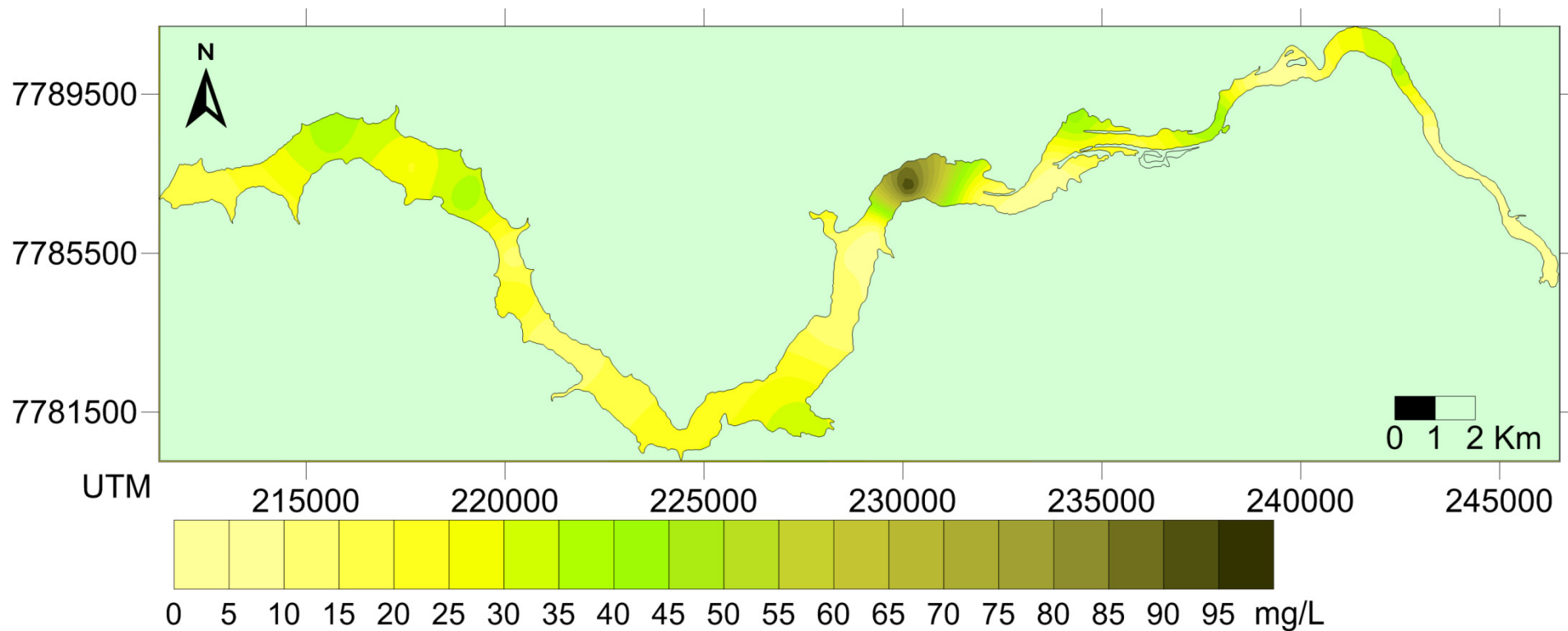


Fig. 122 –Demanda química de oxigênio - DQO em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade: mg.L<sup>-1</sup>).

).

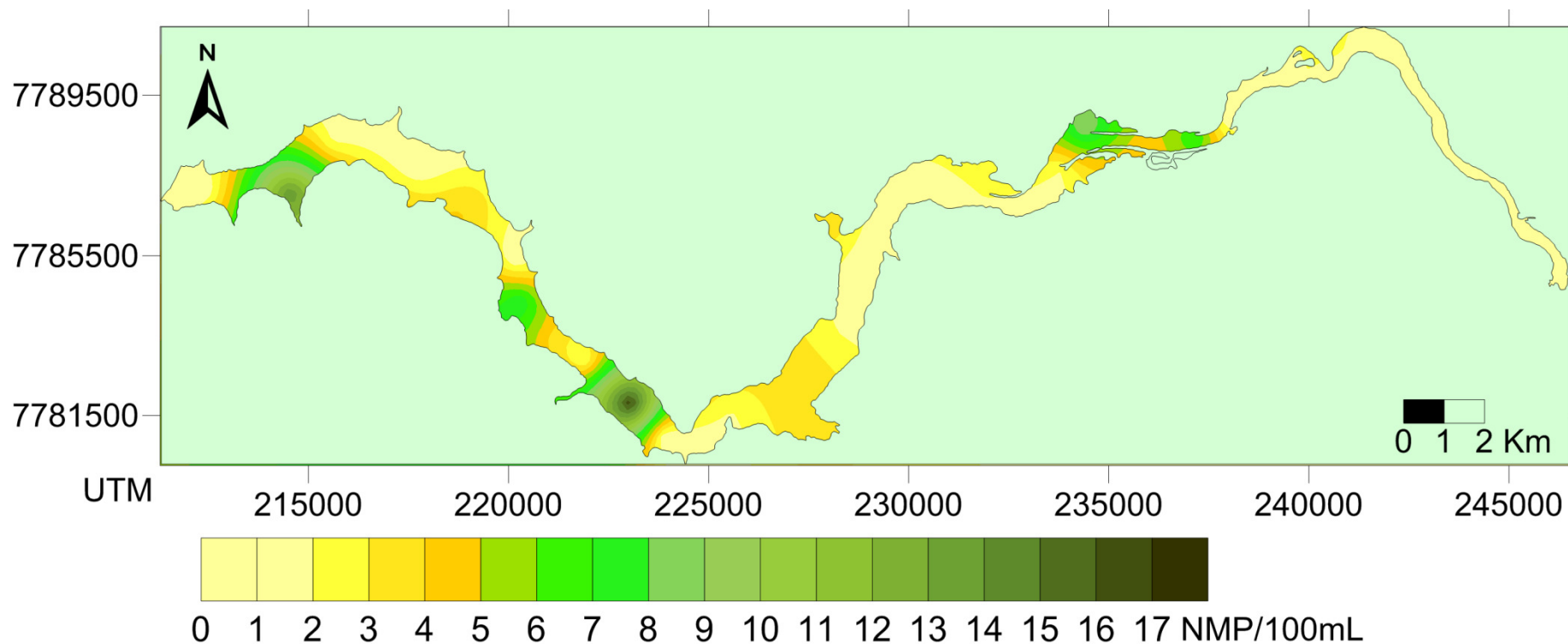


Fig. 123 –Coliformes Termotolerantes (NMP)em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade: mg.L<sup>-1</sup>).



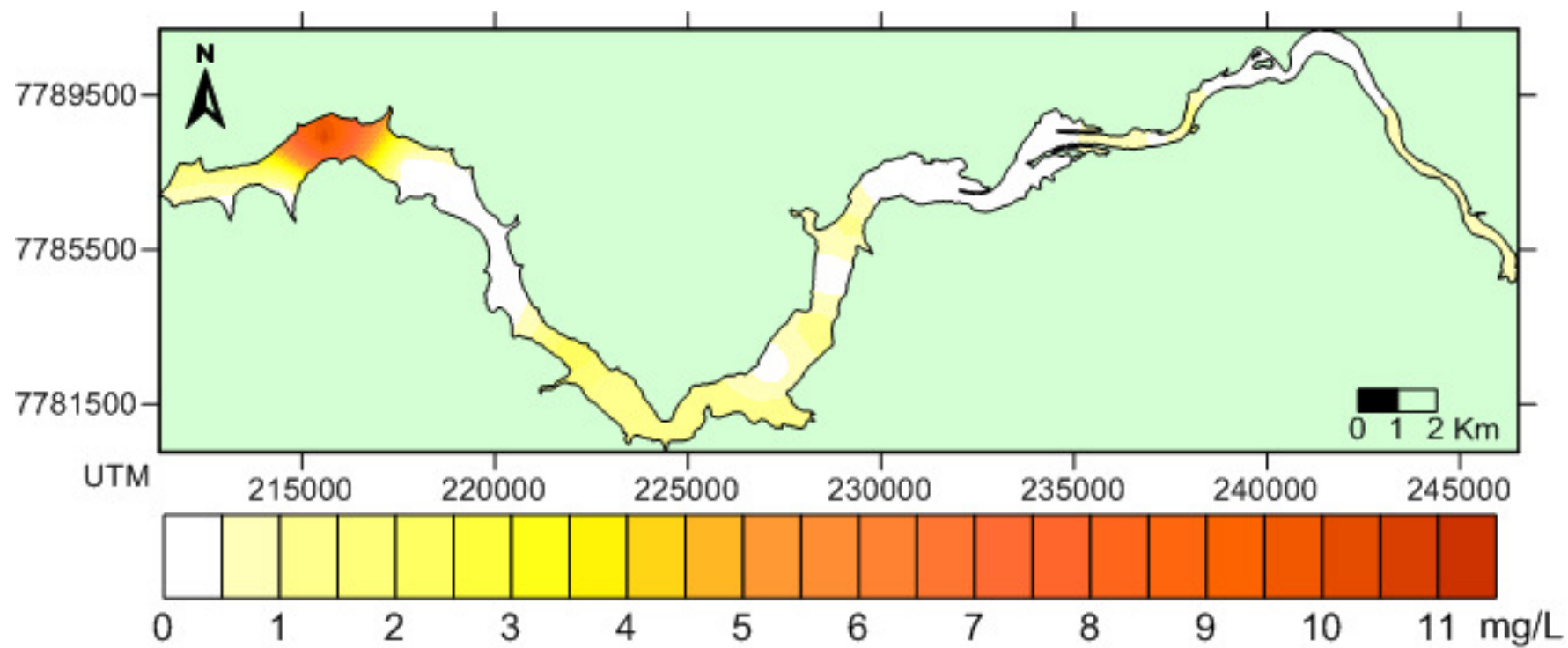


Fig. 124 –Sulfatos em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade:  $\text{mg.L}^{-1}$ ).

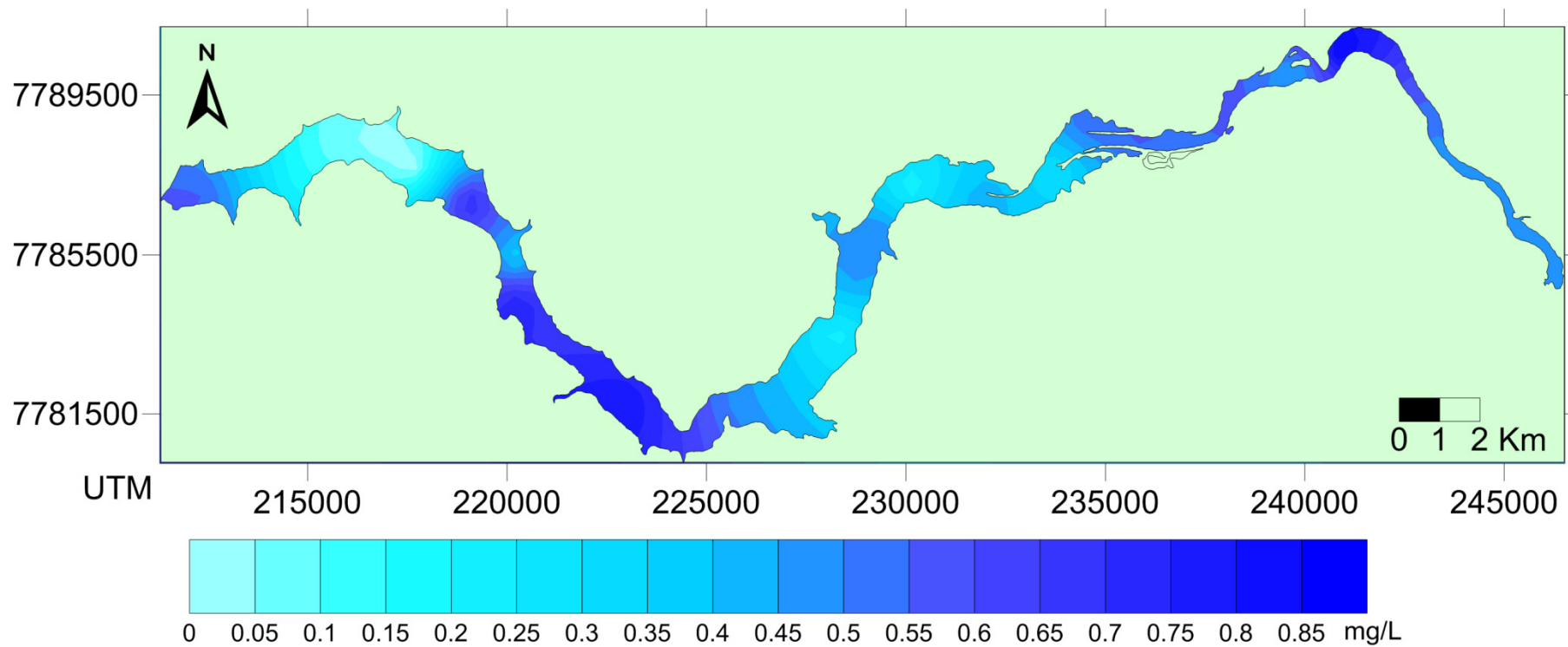


Fig. 125 –Sulfetos em 30 diferentes pontos de coletas no reservatório de Igarapava (MG-SP) entre os dias 7 e 8 de agosto de 2012 (unidade:  $\text{mg.L}^{-1}$ ).

## 5. Conclusões e Recomendações

O presente trabalho demonstrou a importância do desenvolvimento de uma base cartográfica de alta precisão (submétrica), uma vez que, a partir dela, as estimativas de área e volume do reservatório são calculadas com maior acurácia. Conseqüentemente, para avaliação da perda de volume e área do reservatório, a consolidação da base cartográfica foi algo realmente imprescindível.

O presente estudo constatou que houve uma perda de volume de 1,76% (aproximadamente 5 milhões de m<sup>3</sup>) entre 2009 e 2012 (ano de inventariamento batimétrico). Assim, o reservatório vem sofrendo um processo de assoreamento e deposição de volume, nas cotas mais superficiais do reservatório.

A qualidade geral das águas do reservatório pode, ainda, classificá-lo com sendo um reservatório de águas predominantes oligotróficas. Entretanto, já existem sinais evidentes de um incipiente processo de eutrofização devido a entrada difusa de nutrientes possivelmente associada a intensa atividade agropecuária do entorno imediato. Como se trata de um reservatório tipo “fio de água” e com elevado desenvolvimento de perímetro ( $D_p= 6,62$ ), os efeitos de entradas de nutrientes e sedimentos rapidamente propagam-se por todo o reservatório.

A concessionária deveria intensificar os estudos tanto de monitoramento ambiental nas regiões formadas pelos compartimentos 2 3 e 4. O compartimento 2, formado pelos pontos IG 11, IG 12 e IG 13 está sofrendo muito com o assoreamento e foi exatamente nesse compartimento que a qualidade de água mais sofreu em função do elevado grau de matéria em suspensão e outros indicadores que impedem a penetração de luz na coluna de água. O compartimento 3 apresentou sinais de contaminação da água por fontes pontuais já que possui evidências de entradas localizadas de nutrientes e de matéria orgânica (ponto IG 17). Já o compartimento 4, formado pelos pontos IG 21, IG 22, IG 23 foi acometido de sinais de eutrofização (aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo). Esse compartimento também sofre com o assoreamento.

Houve uma clara associação entre a atividade de assoreamento e os compartimentos isolados pelas análises físico-química das águas, principalmente os compartimentos formados pelos pontos IG 11, IG 12, IG 13 e IG 14 (compartimento 2) e pelos pontos

IG 21, IG 22 e IG23 (compartimento 4). Desta maneira, recomendamos que seja realizado, pelo menos a cada 3 (três) anos, um levantamento batimétrico para avaliação das taxas de assoreamento.

## 6. Bibliografia

SPERLING, E.V. 1999. *Morfologia e lagos e represas*. Belo Horizonte: DESA/UFMG. 137p.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P; SANTOS, P.M.C. & LIMA, J.E.F.W. 2000. *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios*. Brasília: ANEEL. 140p.

LANDIM, P.M.B. 2000. *Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas*. IGCE, Rio Claro: UNESP. 20p.

PINTO-COELHO, R.M., L. S. BRIGHENTI, J.F. BEZERRA-NETO AND C.A. MORAIS Jr. 2010. Effects of sampling effort on the estimation of spatial patterns in a tropical reservoir impacted by an oil refinery. *Limnologia*, 40:126-133 - DOI: 10.1016/j.limno.2009.11.011

SANTOS, S.P. 2012. Morfometria, compartimentação e hidrodinâmica de um reservatório periurbano tropical: prognósticos sobre o tempo de vida útil do reservatório de Vargem das Flores, Minas Gerais –Brasil. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

STRASKRABA, M. & J.G. TUNDISI. 1999. *Reservoir Ecosystem Functioning: Theory and Application*. Leiden. Backhuys Ed. The Netherlands.

TUNDISI, J.G. & T.M. TUNDISI. 2008. *Limnologia*. Oficina de Textos, São Paulo (SP). 631 p.

WETZEL, R.G. 1983. *Limnology*. Philadelphia: Saunders Company. 767p

## 7. Equipe Técnica

Tab. 14 - Composição da equipe participante do projeto "Estudos Batimétricos e Limnológicos no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Igarapava".

<b>N</b>	<b>Nome</b>	<b>Função</b>
1	Ricardo Motta Pinto Coelho	Coordenação Geral
2	Simone Santos	Coordenação Batimetria
3	Mariana Resende	Responsável Técnico
4	Aloizio Pellison	Trabalho de Campo
5	Tatiane Viegas	Laboratorista
6	Cecília Carolina	Laboratorista
7	Laila Ribeiro	Laboratorista
8	Gabriela Fernandes	Laboratorista
9	Cid Morais Jr.	Laboratorista