

**Universidade Federal do Pará**  
**Centro de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA E  
MINERALÓGICA E QUÍMICA DO MATERIAL EM SUSPENSÃO  
E DE SEDIMENTO DE FUNDO DO LAGO AMAPÁ (ACRE)**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

**LUIS CARLOS FARIAS DE CARVALHO**

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: 27/10/2006

**Comitê de Dissertação:**

MARCONDES LIMA DA COSTA (Orientador)

HERMANN BEHLING

PAULO CÉSAR FONSECA GIANNINI

Belém



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**CENTRO DE GEOCIÊNCIAS**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**  
**GRUPO DE MINERALOGIA E GEOQUÍMICA APLICADA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Caracterização físico-química da água e mineralógica e química do  
material em suspensão e de sedimento de fundo do lago Amapá  
(Acre)**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:  
LUIS CARLOS FARIAS DE CARVALHO**

**ORIENTADOR:  
PROF. DR. MARCONDES LIMA DA COSTA**

**Belém-Pará**  
**Outubro-2006**

**Aos meus pais (João e Ana),  
Ana Regina, Lucinete, Jackson e Sheila (irmãos)  
e Luciana (minha namorada).**

## AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus sinceros agradecimentos às instituições e pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

A Deus, pelo dom supremo da vida.

Ao professor Dr. Marcondes Lima da Costa pela orientação pessoal e profissional durante toda execução deste trabalho.

Ao Professor Dr. Rômulo Simões Angélica pela co-orientação.

A meus pais, João Lazameth de Carvalho e Ana Farias de Carvalho, pelo apoio incondicional à minha educação e formação pessoal.

Aos meus irmãos Ana Regina de Carvalho Ribeiro, Lucinete Farias de Carvalho, Jackson Farias de Carvalho e Sheila Farias de Carvalho pelos incentivos, mesmo a distância.

À Luciana Castro Brelaz, minha doce e amada namorada, por me dar forças em momentos de desânimo e incentivos nos últimos meses, pelo carinho e lealdade.

Ao CNPq pelo apoio financeiro através dos projetos Selenmeras (Proc. 476874/01-7) e Geosedintama (Proc. 471109/2003-7).

À ADA pela bolsa a mim concedida através do Convênio nº 1361/subprojeto 01.

Ao professor Dr. Hermann Behling da Universidade de Bremen, na Alemanha, na fase de coleta de sedimentos de fundo do lago Amapá, com auxílio do professor Marcondes, Frederico Henrique da Silva Costa e José Alexandre de Oliveira Neto.

Ao professor Dr. Herbert Pöllmann da Universidade de Halle, na Alemanha, pela realização das análises granulométricas do sedimento de fundo.

À Patrícia pela grande ajuda no trabalho de campo e em análises de carbono orgânico.

À Luciana Sena pelo apoio no Laboratório de Análises Químicas.

À Lilia e seus familiares pela acolhida na cidade de Rio Branco.

Aos moradores do entorno do lago Amapá - D. Tereza Lima Lopes, Sr. Luiz Francisco da Silva, D. Melissa Pereira da Silva e Sr. João Batista do Nascimento, Sr.



Manoel Ribeiro Silva, Sr. Sebastião Freire Sobrinho e D. Lucilene, - pelas informações a respeito do lago.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi pela concessão de espaço e aparelhos para medição de pH e Eh nos sedimentos.

Ao Centro de Geociências (Lab. de DRX, Lab. de Sedimentologia, Lab. de Análises Químicas, Lab. de Absorção Atômica, Lab. MEV) por análises diversas realizadas, além do Instituto Evandro Chagas de Belém.

Ao Sr. José Henrique Corinto de Moura, Diretor-Presidente do Instituto de Terras do Acre, pelo relatório técnico sobre o Lago Amapá.

Ao Instituto do Meio Ambiente do Acre pelas informações sobre a área de estudo desse trabalho.

Aos colegas e amigos do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada: Alciney, Bruno Apolo, José Rêgo, Mariane, Socorro, Marciléia, Aliane, Berredo, Bruno Carneiro, Luiza, Ecilene, Evandro, Henrique, Thais, professor Oscar, Flávia, Marlis.

Ao meu amigo e compadre Eider e todos os amigos de longa data.

**“O único homem que não erra  
é aquele que nunca faz nada.”**

***(Roosevelt)***

## SUMÁRIO

	Pg
<b>DEDICATÓRIA</b>	ii
<b>AGRADECIMENTOS</b>	iii
<b>EPÍGRAFE</b>	v
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b>	ix
<b>RESUMO</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	3
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	5
1.1 ASPECTOS GERAIS.....	5
1.2 PROBLEMÁTICA E OBJETIVOS.....	6
1.3 ASPECTOS HISTÓRICOS.....	8
1.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	10
<b>1.4.1 Localização da Área de Estudo</b> .....	10
<b>1.4.2 Clima</b> .....	13
<b>1.4.3 Drenagem e Relevo</b> .....	14
<b>1.4.4 Solos</b> .....	15
<b>1.4.5 Vegetação</b> .....	16
1.4.5.1 Floresta Aberta com Bambu mais Floresta Aberta com Palmeiras.....	17
1.4.5.2 Floresta Aberta com Palmeiras das Áreas Aluviais.....	17
1.5 ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	18
<b>1.5.1 Praias</b> .....	20
1.6 OS LAGOS DE MEANDROS.....	21
<b>1.6.1 Aspectos Gerais – Formação de Lagos em Ferradura</b> .....	21
<b>1.6.2 Águas, Sedimentos e Eutrofização</b> .....	24
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	27
2.1 TRABALHO DE CAMPO.....	27
<b>2.1.1 Pré-Campo</b> .....	27
<b>2.1.2 Campo</b> .....	27
2.1.2.1 Medidas de Parâmetros Físico-Químicos e Coleta de Água.....	30
2.1.2.2 Coleta de Sedimentos.....	31

2.2 ANÁLISES LABORATORIAIS.....	33
<b>2.2.1 Preparação das Amostras</b> .....	33
<b>2.2.2 Medições dos Parâmetros Físico-Químicos em Sedimentos</b> .....	34
<b>2.2.3 Descrição dos Testemunhos</b> .....	34
<b>2.2.4 Análises Granulométricas</b> .....	34
<b>2.2.5 Análises Mineralógicas</b> .....	36
2.2.5.1 Difração de Raios-X (DRX).....	36
2.2.5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV.....	39
<b>2.2.6 Análises Químicas</b> .....	40
2.2.6.1 Análise Química da Água.....	40
2.2.6.2 Análise Química do Material em Suspensão.....	40
2.2.6.3 Análise Química Total do Sedimento de Fundo.....	41
2.2.6.4 Quantificação da Matéria Orgânica do Sedimento.....	41
<b>2.2.7 Datação por Radiocarbono</b> .....	42
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	44
3.1 ASPECTOS GERAIS.....	44
3.2 ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS.....	51
<b>3.2.1 Temperatura</b> .....	51
<b>3.2.2 Potencial Hidrogeniônico – pH</b> .....	53
<b>3.2.3 Sólidos Dissolvidos Totais – TDS</b> .....	55
<b>3.2.4 Condutividade Elétrica</b> .....	56
<b>3.2.5 Oxigênio Dissolvido – OD</b> .....	58
<b>3.2.6 Turbidez, Sólidos Totais Suspensos (STS) e Transparência</b> .....	59
3.2.6.1 Estudo Areal e Sazonal.....	59
3.2.6.2 Estudo Espacial – Superfície e em Profundidade.....	63
<b>3.2.7 Composição Iônica das Águas</b> .....	65
3.2.7.1 Estudo Areal e Sazonal de Amônia, Nitrito e Nitrato.....	65
3.2.7.2 Estudo Areal e Sazonal de Fosfato.....	69
3.2.7.3 Estudo Areal e Sazonal de Cloreto.....	71
3.2.7.4 Estudo Areal e Sazonal de Brometo.....	73
<b>3.2.8 Considerações sobre os Parâmetros Físico-Químicos das Águas</b> .....	74

<b>3.2.9 Concentrações de Metais nas Águas</b> .....	<b>75</b>
<b>3.3 PERFIL LITOLÓGICO DOS SEDIMENTOS DE FUNDO</b> .....	<b>80</b>
<b>3.3.1 Granulometria</b> .....	<b>85</b>
<b>3.3.2 Mineralogia</b> .....	<b>101</b>
3.3.2.1 Difração de Raios-X.....	101
3.3.2.2 Caracterização Micromorfológica e Química por MEV.....	117
<b>3.3.3 Aspectos Químicos</b> .....	<b>132</b>
3.3.3.1 Eh e pH.....	132
3.3.3.2 Matéria Orgânica.....	135
3.3.3.3 Elementos Maiores e Menores.....	137
3.3.3.4 Elementos-Traço.....	146
3.3.3.5 Elementos Terras Raras – ETR's.....	156
<b>3.4 MATERIAL EM SUSPENSÃO</b> .....	<b>165</b>
<b>3.4.1 Mineralogia do Suspensato</b> .....	<b>165</b>
<b>3.4.2 Elementos Químicos Adsorvidos ao Material em Suspensão</b> .....	<b>166</b>
<b>3.5 IDADE RADIOCARBONO E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO</b> .....	<b>168</b>
<b>4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>170</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>172</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

	<b>Pg</b>
<b>Figura 1</b> - Mapa de localização do lago Amapá. Imagem de satélite cobrindo o município de Rio Branco, modificada de <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> . Em detalhe, planta do lago Amapá, modificado de ITERACRE (2005).....	<b>11</b>
<b>Figura 2</b> - Mapa de localização de algumas propriedades às margens do lago Amapá. Modificado de ITERACRE (2005).....	<b>12</b>
<b>Figura 3</b> - Variação pluviométrica anual no Estado do Acre. Fonte: Acre (1991).	<b>13</b>
<b>Figura 4</b> - Mapa da bacia do Purus na região oriental do Estado do Acre. Modificado de Martins (2005).....	<b>14</b>
<b>Figura 5</b> - Unidades morfoestruturais (Folha: SC.19 Rio Branco). Fonte: BRASIL (1976).....	<b>15</b>
<b>Figura 6</b> - Distribuição geográfica dos principais tipos de solo predominantes do leste do Estado do Acre. Adaptado do Mapa Pedológico de ACRE (2000).....	<b>16</b>
<b>Figura 7</b> - Mapa geológico simplificado da região leste do Estado do Acre e parte do sudoeste do Estado do Amazonas. Adaptado de Atlas Geográfico Ambiental do Acre (1991).....	<b>18</b>
<b>Figura 8</b> - Lazer da população em uma praia do rio Acre localizada no município de Rio Branco, nas proximidades do lago Amapá. Imagem obtida em julho de 2005.....	<b>20</b>
<b>Figura 9</b> - Processo de isolamento de meandros. Modificado de Esteves (1988).....	<b>22</b>
<b>Figura 10</b> - Trecho bastante sinuoso do rio Acre nas proximidades da cidade de Rio Branco, rio acima. Fotografia obtida em julho de 2005.....	<b>23</b>
<b>Figura 11</b> - Mapa de amostragem no lago Amapá e entorno, indicando as estações de coleta de materiais. Modificado de imagem de satélite do site <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> .....	<b>28</b>

<b>Figura 12</b> - Preparação dos eletrodos para imersão com auxílio de um guia (remo) e medição de parâmetros físico-químicos das águas na estação Bu próximo à localidade P4 (Piscicultura Acreana). Local de possível saída de um emissário.....	<b>29</b>
<b>Figura 13</b> - Sondagem com auxílio de sonda manual tipo Livingstone para coleta de sedimento de fundo na estação LAPF1 do lago Amapá (Foto: Marcondes Lima da Costa).....	<b>31</b>
<b>Figura 14</b> - Imagem mostrando o testemunho (50 cm de sedimento) já transferido para uma calha de PVC. Detalhe da seção 318-367,5 cm do furo F1 (Foto: Marcondes Lima da Costa).....	<b>32</b>
<b>Figura 15</b> - Aparelho utilizado na análise granulométrica - Quantachrom-Cilas920. Em detalhe, na tela do microcomputador, confecção de um gráfico com curvas de distribuição no momento da análise (Foto: Marcondes Lima da Costa).....	<b>35</b>
<b>Figura 16</b> - Esquema de análise granulométrica com sedígrafo Cilas 920 e <i>software (The Particle Expert)</i> . Modificado do site <a href="http://www.cilasus.com">www.cilasus.com</a> ...	<b>35</b>
<b>Figura 17</b> - Fluxograma de análises mineralógicas.....	<b>36</b>
<b>Figura 18</b> - Procedimentos analíticos para determinação de minerais de argila por DRX na fração argila.....	<b>38</b>
<b>Figura 19</b> - Diagrama de combustão de amostra em um analisador elementar. Modificado do site <a href="http://www.14c.uni-erlangen.de">www.14c.uni-erlangen.de</a> .....	<b>43</b>
<b>Figura 20</b> - Diagrama das etapas de funcionamento do espectrômetro de massa por aceleração (AMS-facility) da Universidade de Erlangen. Modificado do site <a href="http://www.14c.uni-erlangen.de">www.14c.uni-erlangen.de</a> .....	<b>43</b>
<b>Figura 21</b> - O lago Amapá e sua típica morfologia em ferradura e localização dos pontos de coleta de sedimento de fundo. Margens direita e esquerda do lago orientadas de acordo com o antigo curso do rio Acre indicado na figura. Imagem modificada do site <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> .....	<b>44</b>
<b>Figura 22</b> - Perfil longitudinal do lago Amapá com indicação dos logs dos furos de sondagem nas suas respectivas estações.....	<b>45</b>

<b>Figura 23 -</b>	Imagem aérea do lago Amapá. Pode-se visualizar um tanque de piscicultura dentro da localidade P5 (Piscicultura Nordeste), às margens do lago, próximo à estação LAPF2. Ao fundo, um trecho sinuoso do rio Acre. Foto obtida no mês de julho de 2005 (estiagem), por sobrevôo.....	<b>45</b>
<b>Figura 24 -</b>	Imagem aérea parcial do lago Amapá mostrando as estações LAPF1 e LAPF3. Modificado de Vectra (2003).....	<b>47</b>
<b>Figura 25 -</b>	Imagem dos terrenos em torno do lago Amapá, sendo possível visualizar trechos do paleo-rio Acre, alguns na forma de ferradura (lagos assoreados). A paisagem à margem direita do rio Acre é predominantemente aluvial holocênica e à margem esquerda é flúvio-lacustre terciária. Modificado do site <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> .....	<b>48</b>
<b>Figura 26 -</b>	Imagem de dentro da localidade P2 às margens do lago Amapá, no perímetro entre as estações de coleta LAPF1 e LAPF3, tendo ao fundo o lago. O detalhe, acima, é de um paleo-barranco do rio Acre precursor do lago Amapá.....	<b>49</b>
<b>Figura 27 -</b>	Imagens de troncos de árvores às margens do lago Amapá com marcas do nível da água da penúltima grande enchente do rio Acre que ocorreu em 1997. Fotografia obtida na localidade P3, em julho de 2005.....	<b>50</b>
<b>Figura 28 -</b>	a) Distribuição da temperatura nas águas do lago Amapá, em profundidade, nas três estações (outubro de 2003 - estiagem); b) Distribuição areal da temperatura no lago entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2004. As medidas mostram variação areal e sazonal.....	<b>51</b>
<b>Figura 29 -</b>	a) Distribuição do pH em profundidade nas três estações, em outubro de 2003 (estiagem); b) Distribuição areal do pH no lago entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2004. As medidas mostram variação areal e sazonal.....	<b>53</b>



<b>Figura 30</b> - a) Distribuição de TDS em profundidade nas três estações, em outubro de 2003 (estiagem); b) Distribuição areal de TDS no lago entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2004. As medidas mostram variação areal e sazonal.....	<b>55</b>
<b>Figura 31</b> - a) Distribuição de condutividade em profundidade nas três estações, em outubro de 2003 (estiagem); b) Distribuição areal de condutividade no lago entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2004. As medidas mostram variação areal e sazonal.....	<b>57</b>
<b>Figura 32</b> - a) Distribuição de OD em profundidade nas três estações, em outubro de 2003 (estiagem); b) Distribuição areal de OD no lago entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2004. As medidas mostram variação areal e sazonal.....	<b>58</b>
<b>Figura 33</b> - Possível emissário saindo de uma propriedade (piscicultura) em direção ao lago Amapá. Depois de cruzar a estrada de terra, não é possível visualizar o prolongamento da tubulação. Provavelmente, termina dentro do lago, subterraneamente.....	<b>61</b>
<b>Figura 34</b> - Banco de areia e argila formado por material transportado do entorno do lago e das próprias margens. Esse material foi depositado recentemente e é exposto durante os períodos de estiagem, quando baixa o nível d'água do lago. Imagem de julho de 2005.....	<b>62</b>
<b>Figura 35</b> - Distribuição da turbidez nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Três pontos de amostragem em algumas estações representam os resultados pontuais nas margens esquerda e direita e região central (estações Ab, LAPF1, LAPF3 e LAPF2). Imagem-base extraída do site <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> .....	<b>64</b>
<b>Figura 36</b> - Distribuição da STS nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> .....	<b>64</b>
<b>Figura 37</b> - Concentração de íons amônia (em ppm). As medidas indicam variação areal e sazonal nas estações LAPF1, LAPF2 e LAPF3.....	<b>66</b>

<b>Figura 38</b> - Distribuição de íons amônia nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> .....	<b>68</b>
<b>Figura 39</b> - Distribuição de íons nitrito nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> .....	<b>68</b>
<b>Figura 40</b> - Concentração de íons fosfato (em ppm). As medidas indicam variação areal e sazonal nas estações LAPF1, LAPF2 e LAPF3.....	<b>69</b>
<b>Figura 41</b> - Distribuição de íons fosfato nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> .....	<b>70</b>
<b>Figura 42</b> - Concentração de íons cloreto (em ppm). As medidas indicam variação areal e sazonal nas estações LAPF1, LAPF2 e LAPF3.....	<b>71</b>
<b>Figura 43</b> - Distribuição de íons cloreto nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> .....	<b>72</b>
<b>Figura 44</b> - Distribuição de íons brometo nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> .....	<b>73</b>
<b>Figura 45</b> - Elementos maiores nas águas do lago Amapá e rio Acre comparados com lago Jacaretinga e rios Solimões e Purus, de águas bancas.....	<b>76</b>
<b>Figura 46</b> - Elementos-traço nas águas do lago Amapá e rio Acre comparados com lago Jacaretinga e rios Solimões e Purus, de águas brancas.....	<b>78</b>
<b>Figura 47</b> - Perfil Litológico dos furos nas estações LAPF1, LAPF2 e LAPF3. Os perfis F3b, F1b e F2b são imagens obtidas com câmera digital, enquanto que os perfis F3a, F1a e F2a são desenhos representativos das imagens digitais.....	<b>81</b>

<b>Figura 48</b> - Aspecto dos sedimentos de fundo do lago Amapá, mostrando o bandamento característico dado pela alternância de camadas claras e escuras afetadas pela oxidação, ao serem expostos ao ambiente, denotada pela cor marrom na periferia dos testemunhos. Detalhe da seção 100-140 cm do furo LAPF1. (Foto: Marcondes Lima da Costa).	<b>82</b>
<b>Figura 49</b> - Detalhe da seção 148-167 cm do furo F2, com microlaminação de camadas claras e escuras (Foto: Marcondes Lima da Costa).....	<b>83</b>
<b>Figura 50</b> - Pedacos de material orgânico entre camada de sedimento da seção 0-38 cm do testemunho do furo F2 (Foto: Marcondes Lima da Costa).....	<b>83</b>
<b>Figura 51</b> - Desenvolvimento de vivianita em cavidades e planos de acamamento em contato ou próximo ao acúmulo de material vegetal: a) Seção 233-280 cm do furo F1; b) Seção 128-176 cm do furo F2 com presença de material vegetal; e c) Vivianita pseudoformada segundo folhas de vegetais a 189 cm de profundidade do furo F3 (Fotos: Marcondes Lima da Costa).....	<b>84</b>
<b>Figura 52</b> - Distribuição de granulometria dos sedimentos do furo LAPF3. O diâmetro de 50% do material varia entre 2,8 e 5,4 $\mu\text{m}$ .....	<b>87</b>
<b>Figura 53</b> - Distribuição de granulometria dos sedimentos do furo LAPF1. O diâmetro de 50% do material varia entre 2,8 e 6,0 $\mu\text{m}$ .....	<b>88</b>
<b>Figura 54</b> - Distribuição de granulometria dos sedimentos do furo LAPF2. O diâmetro de 50% do material varia entre 4,4 e 9,2 $\mu\text{m}$ .....	<b>89</b>
<b>Figura 55</b> - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção do primeiro metro do testemunho LAPF3 (granulometria média de 50% do passante de 3,2-5,4 $\mu\text{m}$ ). Similaridade na distribuição de argila e silte, com predominância da fração silte fino. Observa-se aumento da granulometria (23-110 $\mu\text{m}$ ) nos 5 cm do topo da seção cuja fração areia fina corresponde a cerca de 7% do total da amostra.....	<b>90</b>

- Figura 56** - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 1 a 2 m do testemunho LAPF3 (granulometria média de 50% do passante de 2,8-4,2  $\mu\text{m}$ ). Granulometria siltica predominante com diminuição do tamanho dos grãos a 176 cm de profundidade, aumentando a fração silte fino. Fração argila com distribuição similar representando 22-34% nas amostras e com tendência a diminuir em quantidade no sentido da base para o topo da seção..... **91**
- Figura 57** - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 2 a 3 m do testemunho LAPF3 (granulometria média de 50% do passante de 3-4,8  $\mu\text{m}$ ). Predominância da fração silte (67-79%, em média) cuja quantidade diminui para o topo da seqüência. A quantidade de silte fino e argila é maior no intervalo 200-205 cm.... **92**
- Figura 58** - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção do primeiro metro do testemunho LAPF1 (granulometria média de 50% do passante de 3,8-6,0  $\mu\text{m}$ ). Ligeiro aumento da granulometria nos 50 cm do topo da seção com 0,38-0,55% de areia. Média de 80% de silte com diminuição da fração fina para o topo da seção..... **93**
- Figura 59** - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 1 a 2 m do testemunho LAPF1 (granulometria média de 50% do passante de 3,4-5,1  $\mu\text{m}$ ). Predominância da fração silte com até 36  $\mu\text{m}$  (média de 73%). Fração argila com 26%, em média, nesta seção..... **94**
- Figura 60** - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 2 a 3 m do testemunho LAPF1 (granulometria média de 50% do passante de 2,8-3,6  $\mu\text{m}$ ). Predominância da fração silte até 30  $\mu\text{m}$  de diâmetro, correspondendo de 65,57 a 73,37% (intervalo 205-206 cm). A quantidade de argila chegou a 34,43% no intervalo 225-226 cm desta seção..... **95**

- Figura 61** - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 3 a 4 m do testemunho LAPF1 (granulometria média de 50% do passante de 4-5,4  $\mu\text{m}$ ). Aumento de granulometria observado no intervalo de 329-334 cm. Predominância da fração silte de 84,42% na base do perfil (366-367 cm)..... **96**
- Figura 62** - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção do primeiro metro do testemunho LAPF2 (granulometria média de 50% do passante de 4,4-9,2  $\mu\text{m}$ ). Observa-se maior granulometria (8-9,2  $\mu\text{m}$ ) nos 50 cm do topo da seção com fração silte ente 77 e 87%. Fração argila (13-23%) com tendência a diminuir para o topo..... **97**
- Figura 63** - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 1 a 2 m do testemunho LAPF2 (granulometria média de 50% do passante de 4,9-5,8  $\mu\text{m}$ ). Fração silte predominante com até 36  $\mu\text{m}$  de diâmetro, correspondente a 80%, em média, e fração argila (20%) com tendência a aumentar para o intervalo 100-105 cm. **98**
- Figura 64** - Quartzo e vivianita constituintes do testemunho LAPF3, seção 1-2 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); vivianita (Vi)..... **101**
- Figura 65** - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF3, seção 0-1 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M)..... **102**
- Figura 66** - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF3, seção 1-2 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M)..... **103**
- Figura 67** - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF3, seção 2-3 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M)..... **104**
- Figura 68** - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF1, seção 0-1 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M)..... **105**

<b>Figura 69</b> - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF1, seção 1-2 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).....	<b>106</b>
<b>Figura 70</b> - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF1, seção 2-3 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).....	<b>107</b>
<b>Figura 71</b> - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF1, seção 3-4 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).....	<b>108</b>
<b>Figura 72</b> - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF2, seção 0-1 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).....	<b>109</b>
<b>Figura 73</b> - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF2, seção 1-2 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).....	<b>110</b>
<b>Figura 74</b> - Principais minerais de argila constituintes do testemunho LAPF3 identificados por difração de raios-X. Esmectita (E); illita (I); caulinita (K); quartzo. Orientada (or); Glicolada (gl); Aquecida (aq).....	<b>112</b>
<b>Figura 75</b> - Principais minerais de argila constituintes do testemunho LAPF1 identificados por difração de raios-X. Esmectita (E); illita (I); caulinita (K); quartzo. Orientada (or); Glicolada (gl); Aquecida (aq).....	<b>113</b>
<b>Figura 76</b> - Principais minerais de argila constituintes do testemunho LAPF2 identificados por difração de raios-X. Esmectita (E); illita (I); caulinita (K); quartzo. Orientada (or); Glicolada (gl); Aquecida (aq).....	<b>114</b>
<b>Figura 77</b> - Distribuição de minerais de argila ao longo dos perfis estudados.....	<b>116</b>
<b>Figura 78</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-23 representando a estrutura vegetal sendo substituída por vivianita e espectros SED de análise química semiquantitativa. O valor elevado de C representa o carbono da celulose.....	<b>118</b>

<b>Figura 79</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-10a na seção 89-91 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa indicativa de illita, esmectita e, provavelmente, cerianita.....	<b>120</b>
<b>Figura 80</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-10b na seção 89-91 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa, indicativa de quartzo, illita, esmectita e, provavelmente, cerianita.....	<b>121</b>
<b>Figura 81</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-12 na seção 112-114 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa, indicando illita, esmectita e provável celsiana. Ocorrem valores significativos de Ge cuja fase mineral não foi identificada.....	<b>122</b>
<b>Figura 82</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-22b na seção 201-203 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa, indicando quartzo, illita e esmectita.....	<b>123</b>
<b>Figura 83</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-22c na seção 201-203 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa, indicando illita, esmectita e quartzo.....	<b>124</b>
<b>Figura 84</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-31a na seção 255-256 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa de illita e esmectita.....	<b>125</b>
<b>Figura 85</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-31b na seção 255-256 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa de illita, esmectita e quartzo.....	<b>126</b>
<b>Figura 86</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-39 na seção 310-312 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa de illita e esmectita.....	<b>127</b>
<b>Figura 87</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-47b na seção 354-356 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa de illita, esmectita e quartzo.....	<b>128</b>
<b>Figura 88</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-47c na seção 354-356 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa de illita, esmectita e quartzo.....	<b>129</b>

<b>Figura 89</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-47a na seção 354-356 cm de profundidade e gráficos SED de análise química semiquantitativa, indicativo de argilominerais, quartzo e feldspatos. Na análise 1, observa-se $KCl$ , sal este provavelmente precipitado em decorrência da evaporação da água do sedimento durante o tempo de armazenamento da amostra.....	<b>130</b>
<b>Figura 90</b> - Imagem MEV da amostra LAPF1-22a na seção 201-203 cm de profundidade e gráficos SED de análise química semiquantitativa, indicativo de argilominerais, quartzo e feldspatos. Pode-se observar a imagem de uma diatomácea entre os minerais de argila.....	<b>131</b>
<b>Figura 91</b> - Variações de pH e Eh com a profundidade (cm) no perfil LAPF3.....	<b>132</b>
<b>Figura 92</b> - Variações de pH e Eh com a profundidade (cm) no perfil LAPF1.....	<b>133</b>
<b>Figura 93</b> - Variações de pH e Eh com a profundidade (cm) no perfil LAPF2.....	<b>133</b>
<b>Figura 94</b> - Variação da quantidade de matéria orgânica no perfil LAPF1, destacando os teores nas Bandas Claras (BC) e Bandas Escuras (BE).....	<b>136</b>
<b>Figura 95</b> - Variações das quantidades de elementos maiores e menores ao longo do perfil LAPF1 (Teores em %).....	<b>139</b>
<b>Figura 96</b> - Normalização dos elementos maiores e menores contra a crosta terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995).....	<b>141</b>
<b>Figura 97</b> - Normalização dos elementos maiores e menores nas bandas claras (BC) contra a CTS (Wedepohl, 1995).....	<b>142</b>
<b>Figura 98</b> - Normalização dos elementos maiores e menores nas bandas escuras (BE) contra a CTS (Wedepohl, 1995).....	<b>142</b>
<b>Figura 99</b> - Normalização dos elementos maiores e menores contra folhelhos pós-arqueanos australianos (PAAS) (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>143</b>
<b>Figura 100</b> - Normalização dos elementos maiores e menores nas bandas claras (BC) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>144</b>
<b>Figura 101</b> - Normalização dos elementos maiores e menores nas bandas escuras (BE) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>144</b>



<b>Figura 102</b> - Concentração de elementos-traço nos sedimentos de fundo do lago Amapá. Elementos com concentrações abaixo de 100 ppm. Acima dessa concentração estão V, Rb, (Zn) e Ba – esse último com 660 ppm, em média.....	<b>148</b>
<b>Figura 103</b> - Normalização dos elementos-traço contra a crosta terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995).....	<b>150</b>
<b>Figura 104</b> - Normalização dos elementos-traço nas bandas claras (BC) contra a CTS (Wedepohl, 1995).....	<b>151</b>
<b>Figura 105</b> - Normalização dos elementos-traço nas bandas escuras (BE) contra a CTS (Wedepohl, 1995).....	<b>151</b>
<b>Figura 106</b> - Normalização dos elementos-traço contra folhelhos pós-arqueanos australianos (PAAS) (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>152</b>
<b>Figura 107</b> - Normalização dos elementos-traço nas bandas claras (BC) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>153</b>
<b>Figura 108</b> - Normalização dos elementos-traço nas bandas escuras (BE) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>153</b>
<b>Figura 109</b> - Concentração de ETR's nos sedimentos de fundo do lago Amapá, não distinguindo variação entre bandas claras (BC) e bandas escuras (BE).....	<b>157</b>
<b>Figura 110</b> - Normalização dos ETR's contra condritos (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>159</b>
<b>Figura 111</b> - Normalização dos ETR's nas bandas claras (BC) contra condritos (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>160</b>
<b>Figura 112</b> - Normalização dos ETR's nas bandas escuras (BE) contra condritos (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>160</b>
<b>Figura 113</b> - Normalização dos ETR's contra crosta terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995).....	<b>161</b>
<b>Figura 114</b> - Normalização dos ETR's nas bandas claras (BC) contra crosta terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995).....	<b>162</b>
<b>Figura 115</b> - Normalização dos ETR's nas bandas escuras (BE) contra crosta terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995).....	<b>162</b>

<b>Figura 116</b> - Normalização dos ETR's contra folhelhos pós-arqueanos australianos (PAAS) (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>163</b>
<b>Figura 117</b> - Normalização dos ETR's nas bandas claras (BC) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>164</b>
<b>Figura 118</b> - Normalização dos ETR's nas bandas escuras (BE) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).....	<b>164</b>
<b>Figura 119</b> - Difratoograma de raios-X das amostras totais do material em suspensão nas estações LAPF1 e LAPF2, mostrando quartzo (Qz), feldspatos (Fp), esmectita (E), caulinita (K), albita (Ab) e mica (M).....	<b>165</b>
<b>Figura 120</b> - Concentrações dos elementos químicos estudados no material em suspensão nas estações LAPF1 e LAPF2 e no rio Acre (valores em ppm).....	<b>167</b>
<b>Figura 121</b> - Idade radiocarbono de amostras dos sedimentos de fundo do lago Amapá e taxa de sedimentação média (Profundidade em cm).....	<b>168</b>

## TABELAS

	<b>Pg</b>
<b>Tabela 1</b> - Períodos de campo, medidas de parâmetros físico-químicos e material amostrado.....	<b>32</b>
<b>Tabela 2</b> - Distribuição de amostras para análises realizadas.....	<b>33</b>
<b>Tabela 3</b> - Espaçamento basal (d) e correspondente ângulo $2\theta$ das primeiras reflexões de minerais de argila. Adaptado de Carroll (1974), Gomes (1986) e Moore & Reynolds (1997).....	<b>37</b>
<b>Tabela 4</b> - Métodos analíticos para análises químicas de água, suspensato e sedimento de fundo.....	<b>40</b>
<b>Tabela 5</b> - Valores de turbidez, STS e transparência determinados nas águas do lago Amapá e períodos de realização das medidas.....	<b>59</b>
<b>Tabela 6</b> - Resultados de análise química das águas do lago Amapá e do rio Acre, comparados com dados encontrados em lago e rios das águas brancas. Valores em ppm.....	<b>75</b>

<b>Tabela 7 -</b>	Distribuição da quantidade (%) de minerais de argila nos sedimentos do lago Amapá.....	<b>115</b>
<b>Tabela 8 -</b>	Composições químicas das amostras de sedimento de fundo do furo F1 no lago Amapá comparadas com outras referências (% em peso).	<b>137</b>
<b>Tabela 9 -</b>	Razões médias no sedimento de fundo do lago Amapá comparadas com as de rios dos Andes, da planície de inundação do rio Solimões e de rios do Estado do Acre.....	<b>145</b>
<b>Tabela 10 -</b>	Concentração de elementos-traço analisados nas amostras do furo F1 (Valores em ppm).....	<b>147</b>
<b>Tabela 11 -</b>	Parâmetros para avaliação de grau de poluição em sedimentos segundo a concentração de metais totais (Valores em ppm). Adaptado de Silva (2002).....	<b>155</b>
<b>Tabela 12 -</b>	Concentrações (em ppm) de ETR's no perfil LAPF1.....	<b>156</b>
<b>Tabela 13 -</b>	Resultados de análise química de material em suspensão comparado com as análises das águas do lago Amapá e do rio Acre.	<b>166</b>

## RESUMO

A região Amazônica caracteriza-se não somente por sua pujante floresta tropical como, também, por sua grande rede de drenagem fluvial e lacustre. Na Amazônia Sul-Occidental, onde se destacam três grandes bacias hidrográficas, rios Juruá, Purus e Madeira, são muito freqüentes os lagos em forma de ferradura. À margem direita do rio Acre, um dos principais afluentes do rio Purus, próximo à capital do Estado do Acre, Rio Branco, está o lago Amapá, um típico lago em ferradura formado por um meandro abandonado.

Foram realizadas medidas de parâmetros físico-químicos das águas do lago Amapá durante estiagem e período chuvoso em três estações para se ter idéia das implicações da variação sazonal sobre os parâmetros observados. Foram coletadas, ainda, amostras para análise química elementar das águas e material em suspensão, além de análises mineralógicas do sedimento em suspensão.

Sedimentos de fundo foram coletados em três furos de sondagem, com auxílio de sonda manual do tipo Livingstone, em período de estiagem, que foram submetidos a análises químicas, mineralógicas (DRX e MEV), granulométricas e geocronológicas.

As águas do lago Amapá apresentam elevados valores de turbidez, STS, amônia, (fosfato) e cloreto, indicando ação antrópica em seu entorno. As concentrações elevadas de Na, Mg, K, Fe, Al, Mn, Ba e Sr estão relacionadas a minerais de argila tipo esmectita e illita.

Os sedimentos do lago Amapá são finos siltico-argilosos caracterizados por alternância de camadas claras e escuras, preservando, ainda, detritos orgânicos vegetais.

A mineralogia dos sedimentos é homogênea ao longo dos três furos e está representada, principalmente, por quartzo, caulinita, illita e esmectita, além de albita e K-feldspatos. A vivianita ocorre como pseudomorfos de detritos de material orgânico vegetal.

São sedimentos com pH ácido (4-5), ao contrário das águas, que são alcalinas, e com baixos valores de matéria orgânica. Os sedimentos são constituídos, principalmente, de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , além de  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{MnO}$ . Essa composição reflete abundância de quartzo e argilominerais como illita e

esmectita. Provavelmente o ferro encontra-se representado por sulfetos amorfos ou, ainda, em parte por argilominerais (esmectita).

Comparados com a crosta terrestre superior, os sedimentos de fundo do lago Amapá mostram-se empobrecidos em  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{SiO}_2$ , e enriquecidos em  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Os teores médios de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{TiO}_2$  são similares aos de folhelhos pós-arqueanos da Austrália, sendo os sedimentos do lago Amapá comparáveis a esses folhelhos. São sedimentos imaturos relacionados aos argilominerais como illita e esmectita e feldspatos.

Dentre os elementos-traço, As e Sb estão mais enriquecidos em relação à crosta terrestre superior. Mostram-se similares aos PAAS. Os sedimentos também se assemelham a esses folhelhos via ETR's estando mais enriquecidos em Eu, Gd, Tb e Dy.

O sedimento em suspensão assemelha-se ao do rio Acre na mineralogia e composição química, divergindo parcialmente na granulometria.

O lago Amapá formou-se no Holoceno Superior a 3160 anos AP. Apresenta uma taxa de sedimentação média de 1,1 mm/ano, apresentando-se em estágio de colmatação, recebendo ainda carga em suspensão do seu rio formador, o rio Acre, principalmente à época das enchentes decenais. No seu entorno, a ação antrópica centrada em pisciculturas, desmatamentos, expansão humana desordenada, além de uma rodovia de terra, contribuem para seu assoreamento e eutrofização.

**Palavras-Chave: Sedimentos, Mineralogia, Geoquímica, Lago Amapá, Acre.**

## ABSTRACT

The Amazon area is characterized by its tropical rainforest and its great fluvial and lacustrine drainage basins. In the Southwest Amazonia, there are at least three great hydrographic basins (Juruá, Purus and Madeira rivers), where the oxbow lakes are very common. The Amapá Lake is on the right margin of Acre River - one of the principal tributaries of the Purus River -, close to the capital of the State of Acre, Rio Branco, as a typical oxbow lake that it was isolated from that river.

Physical-chemical parameters measurements of the waters of Amapá Lake were accomplished during dry and rainy seasons in three stations to have an idea of the implications of the seasonal variation on the observed parameters. Samples were collected for elementary chemical analysis of the waters and suspended material, besides mineralogical analyses of the suspensate.

Bottom sediments were collected in three survey holes, using a Livingstone-type manual probe, in a dry season, and they were submitted to chemical, mineralogical (XRD and SEM), grain size and geochronologic analyses.

The waters of Amapá Lake present high turbid, STS, ammonia, (phosphate) and chloride values that indicate antropic action. The high concentrations of Na, Mg, K, Fe, Al, Mn, Ba and Sr are related to clay minerals (smectite and illite).

The sediments of Amapá Lake are silt-clayey fine, distributed in beds (clear and dark), sometimes with organic particulate matter.

The mineralogy of the sediments is homogeneous along the three holes and it is mainly represented by quartz, kaolinite, illite and smectite, besides albite and K-feldspars. The vivianite occurs as pseudomorphs after organic matter debris.

They are sediments with acid pH (4-5), unlike the waters, that are alkaline, and with low values of organic matter. The sediments are mainly composed by  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , besides  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  and  $\text{MnO}$ . That composition reflects abundance of quartz and clay minerals as illite and smectite. Iron contents are probably represented by amorphous sulphides or by clay minerals (smectite).

The chemical results were compared with mean of the terrestrial upper crust and Post-Archean Australian Shales (PAAS). The sediments are impoverished in  $\text{Na}_2\text{O}$ ,

CaO, MgO, K<sub>2</sub>O and SiO<sub>2</sub> in small proportion, and enriched in MnO, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The values of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO and TiO<sub>2</sub> are similar to the PAAS, being the sediments of the Amapá Lake comparable to those. They are immature sediments related to the clay minerals such illite and smectite and feldspars.

Among the trace elements, As and Sb are more enriched in relation to the upper terrestrial crust. They are similar to PAAS. The sediments also resemble those shales via REE's being more enriched in Eu, Gd, Tb and Dy.

The suspended sediment is compatible with the Acre River suspensate in mineralogy and chemical composition, partially diverging in the grain size.

The Amapá Lake was formed on Early Holocene, at 3160 years BP, presenting average sedimentation rate of 1,1 mm/yr, in colmatation stage, still receiving load in suspension from Acre River, mainly when the inundations occur. The anthropic action centered in fish farmings, deforestations, disordered human expansion, besides an earth highway around the lake, contributes to its colmatation and eutrophication.

**Keywords: Sediments, Mineralogy, Geochemistry, Amapá Lake, Acre.**

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ASPECTOS GERAIS

A região Amazônica, com extensa rede hidrográfica e, portanto, dispondo de grande atividade fluvial, apresenta em sua paisagem muitos rios e lagos. Os lagos da Amazônia, incluindo lagos de várzea e lagos de terra firme, são feições muito comuns. Os de várzea, relacionados ao Amazonas-Solimões, são grandes e rasos com diâmetro médio superior a 100 m e profundidades abaixo de 10 m. Os de terra firme são geralmente pequenos e profundos. Esses últimos são encontrados nas regiões de Carajás, Maicuru e Seis Lagos, por exemplo. Na Amazônia Sul-Occidental, onde se destacam duas grandes bacias hidrográficas, rios Juruá e Purus, são muito freqüentes os lagos em forma de ferradura. À margem direita do rio Acre, um dos principais afluentes do rio Purus, próximo à capital do Estado do Acre, Rio Branco, está o lago Amapá, um típico lago em ferradura formado por meandro abandonado daquele rio.

De acordo com Odada (2004), apesar da importância de muitos lagos do mundo, os fundos internacionais para pesquisas básicas nesses ambientes ainda são muito baixos, correspondendo a menos de 1% do que se gasta por ano em pesquisas na área de ciências oceânicas.

Os estudos realizados em ambientes lacustres ajudam a entender melhor a diversidade dos ecossistemas de uma determinada região. Para se compreender melhor o comportamento das bacias na região Amazônica, faz-se necessário ampliar os estudos sobre as condições paleoambientais, principalmente, durante o Holoceno (Costa *et al.*, 2005a), tentando-se abranger áreas cada vez mais significativas para o cenário amazônico como um todo.

Trabalhos interpretam dados palinológicos, geoquímicos, mineralógicos e granulométricos em ecossistemas lacustres amazônicos, análises de mudanças paleoambientais ocorridas, principalmente, durante o Holoceno, como: na Laguna Piusbi na Colômbia (Behling *et al.*, 1998); lago Crispim no Pará (Behling & Costa, 2000); região de Caxiuanã no Pará (Behling & Costa, 2001); lago Calado no Amazonas (Behling *et al.*, 2001); lago Carajás no Pará (Sifeddine *et al.*, 2004); lagos de várzea como o Grande, Poção, Santa Ninha e Salé (de águas brancas) e Curumucuri e Açai



(de águas pretas) no município de Óbidos, Pará (Amorim *et al.*, 2005); lagos Coari (de terra firme) e Acará (de várzea) no Amazonas (Horbe *et al.*, 2005); lago Acarabixi no Amazonas (Costa *et al.*, 2005b); lago Grande na região de Carajás no Pará, como exemplo de lagos formados sobre superfícies de crostas lateríticas (Costa *et al.*, 2005a); lagos Comprido, Camaleão e Central no Amazonas (Seyler *et al.*, 2005). Os estudos paleoambientais são registrados em muitos lagos do mundo como: lago Silvana em Minas Gerais (Rodrigues-Filho *et al.*, 2002); lagoa Nova em Minas Gerais (Behling, 2003); lago Dom Helvécio em Minas Gerais (Sifeddine *et al.*, 2004); lago Clima no Rio de Janeiro (Silva & Rezende, 2002); lago Itapeva no Rio Grande do Sul (Meyer *et al.*, 2005); lago Baikal na Rússia (Deike *et al.*, 1997); lago Siberia na Bolívia, lagos Ossa e Barombi em Camarões e lago Bosumtwi em Gana (Sifeddine *et al.*, 2004), entre outros.

A limnologia comparativa entre lagos de diferentes planícies de inundação na América do Sul é discutida por Carvalho *et al.* (2001).

## 1.2 PROBLEMÁTICA E OBJETIVOS

O crescimento das cidades quase sempre é acompanhado de problemas como os de infra-estrutura – sanitária, principalmente. O crescimento horizontal desordenado nas periferias das grandes cidades interfere em algumas condições ambientais, principalmente em áreas próximas de rios e lagos urbanos. O lago Amapá é um exemplo onde a ação antrópica pode estar contribuindo para acelerar o processo natural de assoreamento. Um exemplo, de conseqüências extremas, relacionado ao assoreamento de ambientes lacustres foi o ocorrido no lago Dongtinghu na China (Xiang *et al.*, 2002), no qual a taxa de sedimentação elevada reduziu a capacidade de armazenamento de água provocando inundação da sua planície.

Segundo Fugiwara<sup>1</sup> (informação verbal, 2005), a pesca predatória com instrumentos de captura em massa (malhadeiras e tarrafas) foi proibida, por um período de dois anos (de 2004 a 2006) no lago Amapá.

---

<sup>1</sup> FUGIWARA, Marlene Aparecida – Gerente de Recursos Hídricos do Instituto de Meio Ambiente do Acre – IMAC, 2005.

A decisão foi tomada para se evitar o completo desaparecimento das espécies de peixe que ali ainda habitam e se reproduzem e também entram no lago quando da invasão do rio Acre. Por acordo entre os próprios moradores do lago e o Instituto, juntamente com o governo do Estado do Acre, a fiscalização da área é realizada por quem mora no local, com visitas esporádicas de representantes ligados à preservação ambiental na área.

De acordo com os atuais moradores do lago, já na década de 1960, a ocupação da área, que era chamada de Seringal Amapá, foi iniciada por ex-seringueiros que ali se instalaram como colonos e tiravam seu sustento da terra e do próprio lago, consumindo a água e o peixe. O método utilizado pelos moradores, na pesca, era a chamada “pesca de batção” em que os pescadores entravam na água para afugentar os peixes em direção às suas redes de captura.

“Pesca predatória e a retirada ilegal de areia ameaçam um dos mais importantes lagos de Rio Branco”, diz a manchete de um jornal do município de Rio Branco (Ferreira, 2004) a respeito da interferência antrópica no lago Amapá. No ano de 2005, foi criado um calendário de atividades a serem realizadas no lago. Dentre elas, há uma proposta de se criar uma Área de Preservação Ambiental (APA).

Como a ocupação humana aumenta cada vez mais nas proximidades do lago - isso inclui a presença de visitantes para desfrutar do ambiente natural – e, de certa maneira, a população que vive em seu entorno depende da água desse lago para usos diversos, é importante saber as condições que ainda restam, para o lago, de resistir à ação antrópica predatória, e amenizar seu processo de eutrofização.

Almeida (2000) registra que as pesquisas em ambientes lacustres das planícies de inundação de rios de águas brancas estão concentradas na porção central do Médio e Baixo Amazonas e que as áreas de drenagem da porção ocidental da bacia Amazônica (e.g. Juruá e Purus) foram pouco estudadas.

Os primeiros estudos no lago Amapá concentraram-se nas águas, com caracterização do fitoplâncton (Keppeler *et al.*, 1999a b), medidas de parâmetros físico-químicos (Almeida, 2000) e caracterização do zooplâncton (Keppeler & Hardy, 2002; Keppeler, 2003). Por outro lado, estudos de sedimentos desse lago, que registram a história recente de processos geoquímicos, ainda não foram realizados.

Baseado nisso, este trabalho se propõe, além de analisar os parâmetros físico-químicos das águas do lago Amapá, a caracterizar seus sedimentos em suspensão e de fundo, no intuito de elucidar a evolução e atual situação do ambiente lacustre, fundamentando-se em análises granulométricas, mineralógicas (difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura), químicas e geocronológicas.

### 1.3 ASPECTOS HISTÓRICOS

A região geologicamente correspondente hoje ao Estado do Acre era chamada de Aquiri, transcrito pelos exploradores da região da palavra Uwákuru do dialeto dos índios Ipurinã. O território pertencia à Bolívia e era ocupado por índios até 1877 quando brasileiros começaram a migrar da Região Nordeste do país fugindo da seca e em busca da riqueza provinda da comercialização da borracha, muito valorizada no mercado internacional. A população cresceu consideravelmente com a abertura de seringais e o avanço dos exploradores pelos rios da região do Alto-Purus e Alto-Juruá, chegando a aumentar de mil para 4 mil habitantes em um ano na primeira região (ACRE, 2005).

Devido à grande migração de brasileiros para a região e à grande produção de borracha, os bolivianos passaram a cobrar impostos, mostrando-se detentores do domínio da área e fundaram a cidade de Puerto Alonso, hoje conhecida como Porto Acre (Menezes & Fernandez, 2005). Os habitantes da região do rio Acre rebelaram-se, até que em 17 de novembro de 1903 foi assinado o Tratado de Petrópolis, pelo qual o Brasil tomava posse da região, a qual seria elevada à categoria de Estado em 1962 (Tocantins, 1979). O Brasil ficava com o Acre, comprometendo-se a indenizar a Bolívia com a quantia de 2 milhões de libras e a construir a Estrada de Ferro Madeira-Mamoré, que se destinava a facilitar o escoamento dos produtos bolivianos e ao mesmo tempo cedia terras do Mato Grosso para a Bolívia (Menezes & Fernandez, 2005).

Segundo Menezes & Fernandez (2005), em 1904, o Estado brasileiro, para garantir sua soberania, construiu a primeira capital, Sena Madureira. A cidade de Xapuri, às margens do rio Acre, foi importante localidade em meio à chamada Revolta do Acre, quando ocupou posição privilegiada na resistência dos trabalhadores da

borracha aos acordos internacionais que outorgavam o território às empresas estrangeiras. Puerto Alonso foi ora localidade boliviana, ora brasileira. Cruzeiro do Sul foi local importante na chamada Revolta do Juruá, quando, em 1910, diferentes segmentos sociais locais tentaram transformar o Acre de território federal em estado da Federação.

Divergências surgiram entre Plácido de Castro, ex-integrante da Revolução Federalista gaúcha, e os agentes do governo federal. Com a intervenção militar logo após a criação do Território do Acre, Plácido de Castro fora relegado a segundo plano. Os conflitos estavam ligados diretamente à forma como os militares passaram a se utilizar, amplamente, da máquina administrativa do território e contra a qual Plácido de Castro passou a fiscalizar atentamente. Imediatamente, é considerado pelo poder instituído como *Persona Conspiradora Insurreta*. Esta situação levaria a sua morte, em 1908, numa situação de emboscada, conseqüência de disputas locais pelo poder político, pela posse da terra e pelo controle tributário da produção (Costa<sup>2</sup> *apud* Menezes & Fernandes, 2005).

Em 1920, Rio Branco se torna capital do Território do Acre, que se tornara o ponto de convergência da economia da borracha na região. As “capitais” dos Departamentos do Acre revelam a importância da cidade como forma espacial estratégica na geografia política e econômica que estrutura a organização do espaço para o exercício da soberania (Menezes & Fernandes, 2005). Com o declínio da borracha, nos anos 20, o Acre sofreu um esvaziamento demográfico: em 1920 possuía cerca de 92,4 mil habitantes, que se reduziram a apenas 80 mil em 1940.

Unificada a partir de 1920, a administração do Acre passou a ser exercida por um governador nomeado pelo Presidente da República. Com a Constituição de 1934, garantiu-se o direito de dois representantes na Câmara dos Deputados e, em 1957, sob a proposição do Deputado José Guiomard dos Santos, o projeto que resultou na Lei 4.070, de 15 de junho de 1962, sancionada pelo Presidente da República João Goulart, elevou o território à categoria de Estado, elegendo-se em outubro de 1962 o primeiro governador do Estado – José Augusto de Araújo (ACRE, 2005).

---

<sup>2</sup> COSTA, Craveiro – A Conquista do Deserto Ocidental: subsídios para a história do Território do Acre. São Paulo: CIA Ed. Nacional, 1940.

## 1.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

### 1.4.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo está situada no município de Rio Branco, nas proximidades da cidade de mesmo nome, a capital do Estado do Acre, no sudoeste da Amazônia. O estado ocupa uma área de 152.581 km<sup>2</sup> (IBGE, 2005), fazendo fronteira com os estados do Amazonas (ao norte) e de Rondônia (a leste) e ainda com dois países: Peru (a oeste) e Bolívia (a sudeste). A cidade de Rio Branco ocupa área de 9.223 km<sup>2</sup>, com população estimada de aproximadamente 305 mil habitantes (IBGE, 2005).

O lago Amapá se localiza à margem direita do rio Acre e pode ser alcançado pela estrada do Amapá, a 8 km a partir do centro de Rio Branco (Figura 1). No período chuvoso, que compreende os meses de dezembro a maio, o acesso ao lago Amapá é mais prático pelo rio Acre, até a localidade P1 (Figura 2), logo acima da desembocadura do riozinho do Rola. O lago ocupa um meandro abandonado com 3 km de extensão, aproximadamente, situado em antiga planície aluvial do rio Acre e corresponde a um lago em ferradura típico.

De acordo com o Instituto de Terras do Acre - ITERACRE (2005), o lago e seu entorno faziam parte do Seringal Amapá, que abrangia uma área de aproximadamente 287 ha. De acordo com o relatório técnico do ITERACRE e levantamento sócio-econômico realizado no período de campo de julho de 2005, constam dez propriedades localizadas no entorno do lago.

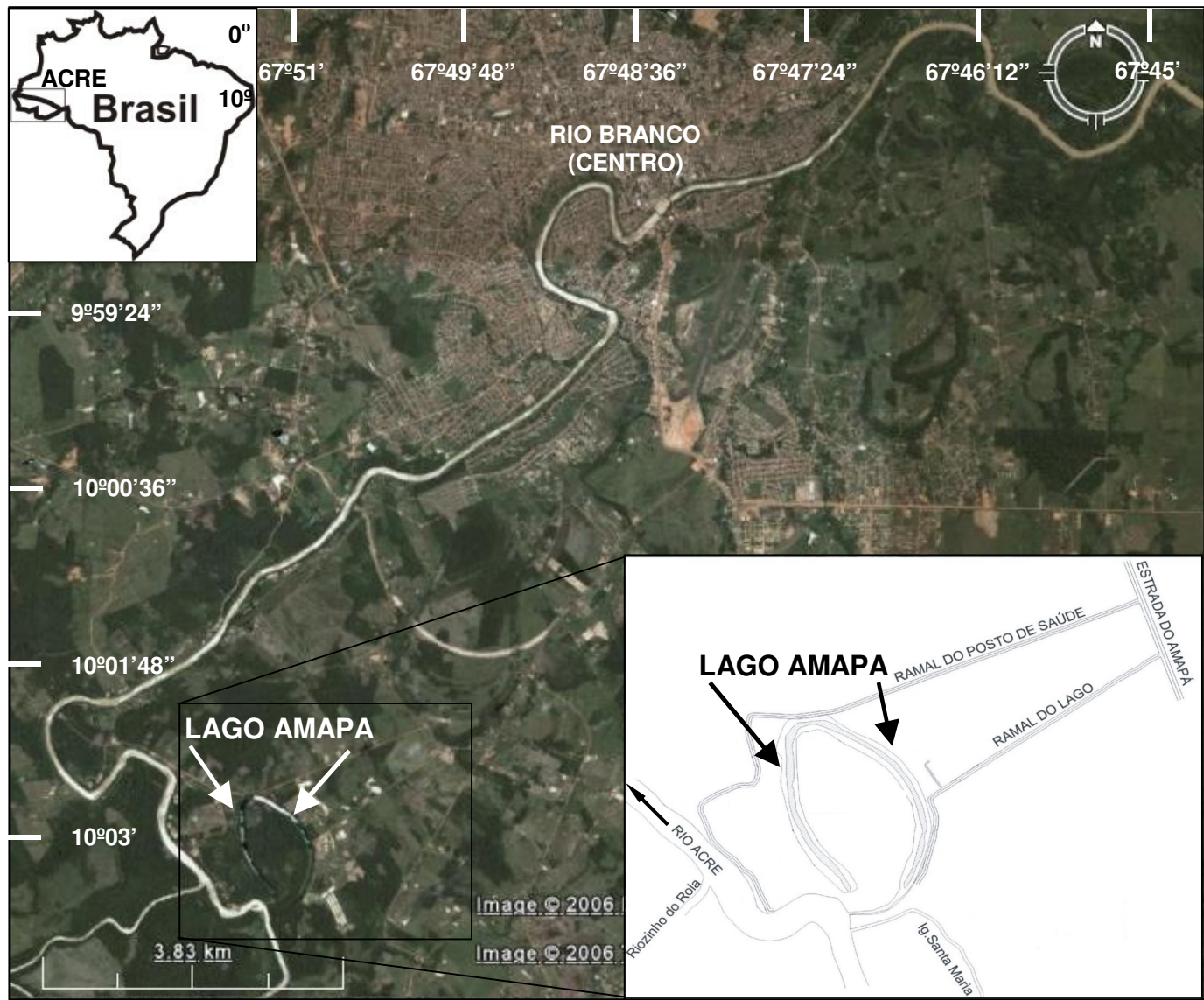


Figura 1 - Mapa de localização do lago Amapá. Imagem de satélite cobrindo o município de Rio Branco, modificada de [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com). Em detalhe, planta do lago Amapá, modificado de ITERACRE (2005).

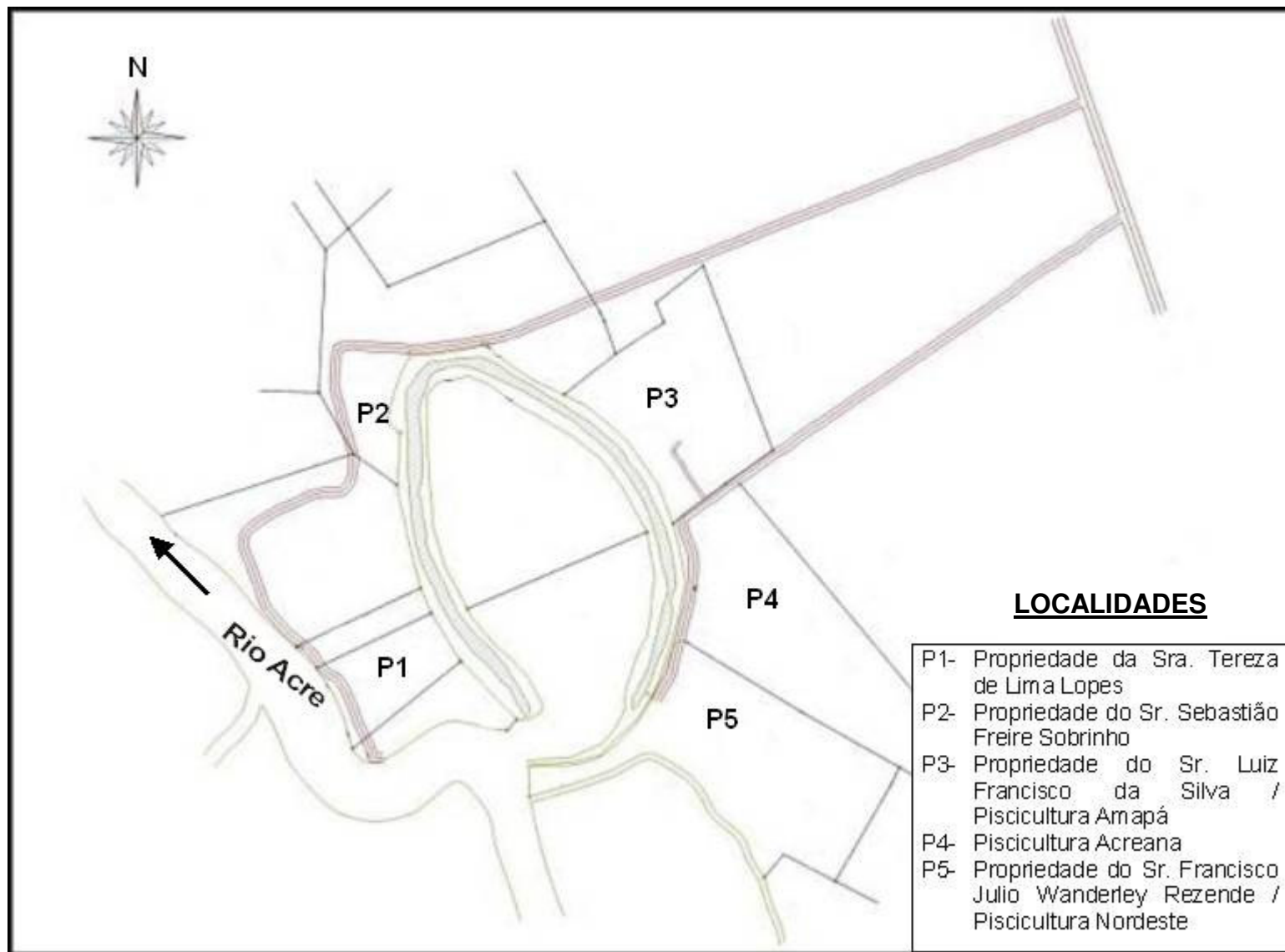


Figura 2 - Mapa de localização de algumas propriedades às margens do lago Amapá. Modificado de ITERACRE (2005).

### 1.4.2 Clima

De acordo com a classificação de Köppen, o clima do Estado do Acre é do tipo Am, equatorial quente e úmido com duas estações: uma não chuvosa (estação seca) entre os meses de maio e outubro, com mais intensidade de julho a setembro; e outra chuvosa, de novembro a abril. Na estação seca, são comuns as “friagens” características pela diminuição da temperatura ambiente em virtude de massas de ar frio da Frente Polar Atlântica originada no Atlântico Sul, nas terras baixas da Patagônia, Pampas e vale do Paraguai. Apesar de comuns na região, as friagens são pouco duradouras. A pluviosidade na região varia de 1600 a 2750 mm anuais com temperatura média anual de 24,5°C. No município de Rio Branco, os totais pluviométricos anuais variam de 1877 a 1982 mm (ACRE, 2000), enquanto que maiores precipitações estão a noroeste e oeste do estado (Figura 3). A temperatura média anual da capital varia de 24,7°C a 24,9°C, com média das mínimas de 20,2°C e média das máximas de 32°C.

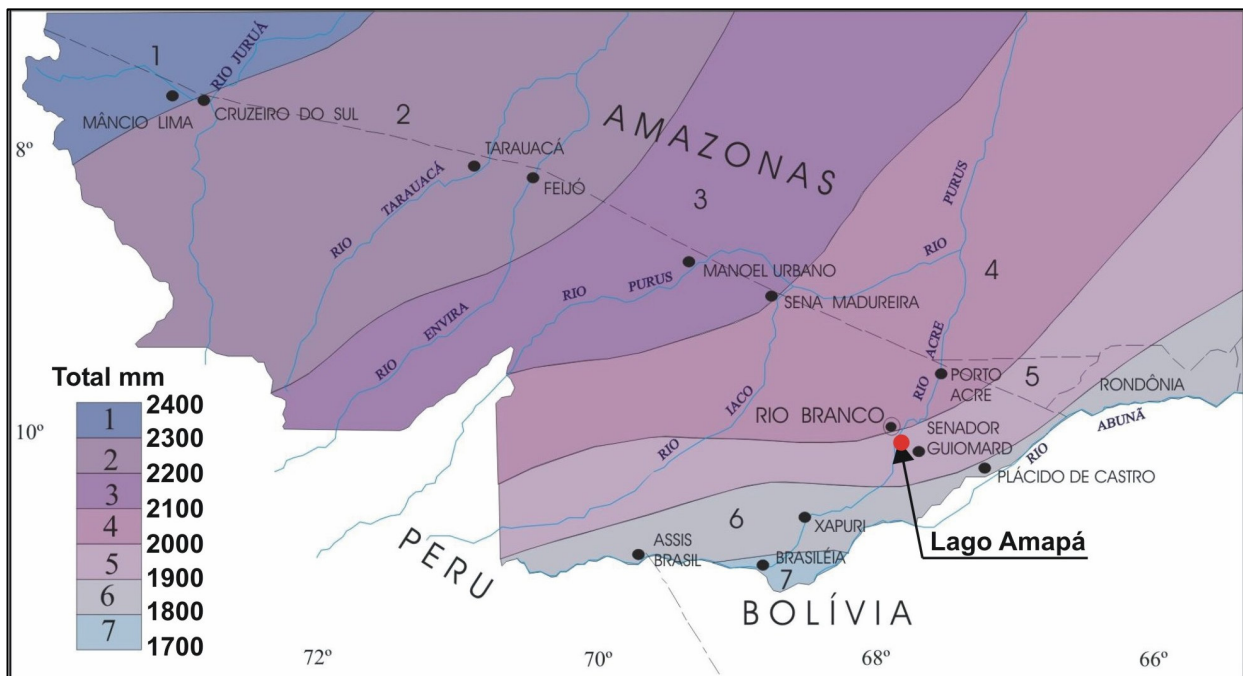


Figura 3 - Variação pluviométrica anual no Estado do Acre. Fonte: Acre (1991).

A região do lago Amapá também pode ser afetada pelas “friagens” como a que ocorreu no mês de julho de 2005 (período de estiagem).



### 1.4.3 Drenagem e Relevo

O estado é drenado por duas grandes bacias hidrográficas: a bacia do rio Juruá e a bacia do rio Purus. Segundo Costa *et al.* (2003), os rios que drenam o Estado do Acre são predominantemente de águas brancas ou barrentas, devido à estreita relação desses rios com os terrenos geológicos pré-andinos, que justificam a alta fertilidade dos solos da região acreana. Essas características e concepção de águas brancas foram observadas por Sioli (1984).

Na região leste do estado, onde se insere a área de estudo, está a bacia do Purus, cujas nascentes do rio homônimo estão localizadas no Peru. Este rio entra no Brasil com direção SW-NE até o paralelo 09°00', de onde inflete para WSW-ENE até receber o rio Acre. Além deste, os rios Iaco, Caeté e Chandless são os principais afluentes do Purus que é um rio de curso bastante sinuoso e meândrico por uma extensa e contínua faixa de planície (Figura 4) (Melo *et al.*, 1976).

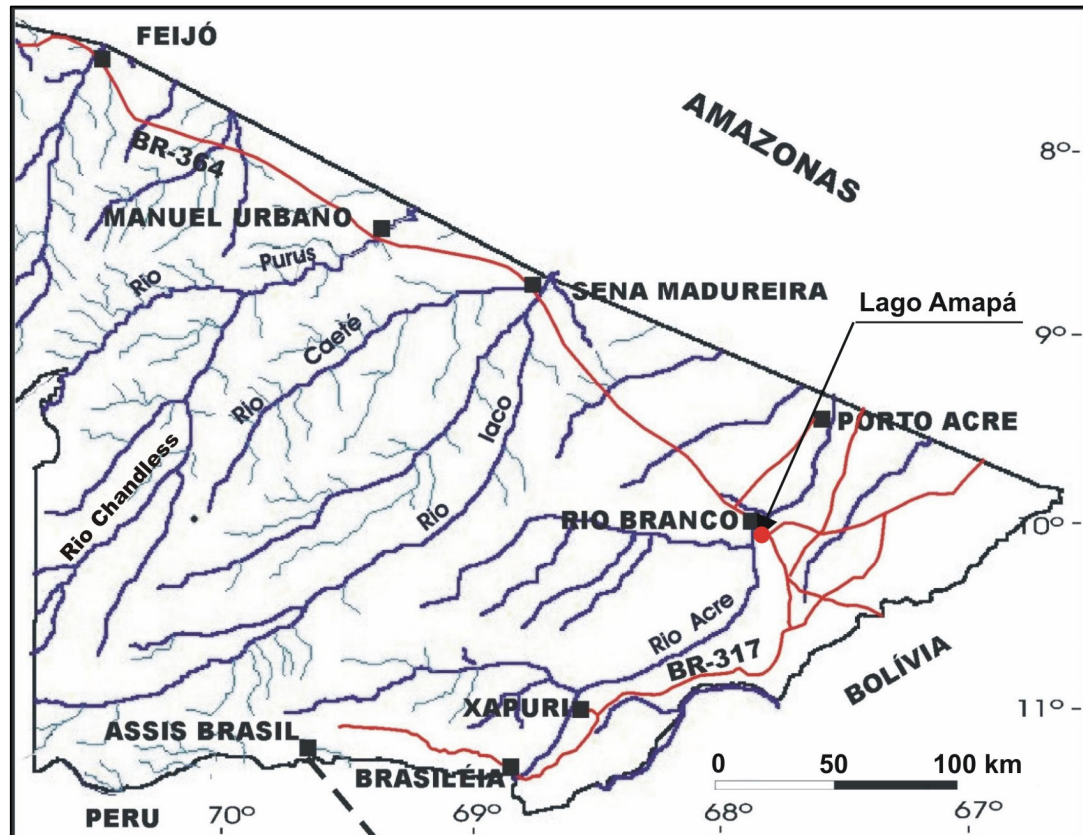


Figura 4 - Mapa da bacia do Purus na região oriental do Estado do Acre. Modificado de Martins (2005).

Do rio Acre, que corta o município de Rio Branco, originou-se o lago Amapá que, no passado, formava um de seus meandros. O rio tende a apresentar vales em “V” ou “U” (BRASIL, 1976 e 1977). Observações em campo mostram que há tendência de forma de U fechado nessa região.

O relevo é bastante homogêneo em suas unidades morfoestruturais e sem grandes desníveis altimétricos, sendo reconhecidas apenas três unidades, assim visualizadas na figura 5: Planície Amazônica; Depressão Rio Acre/ Rio Javari e Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental (BRASIL, 1976).

A região do município de Rio Branco apresenta-se ligeiramente ondulada nas terras altas e plano nas terras baixas correspondentes à planície de inundação, onde situa-se o lago Amapá, e que corresponde à Planície Amazônica (Figura 5).

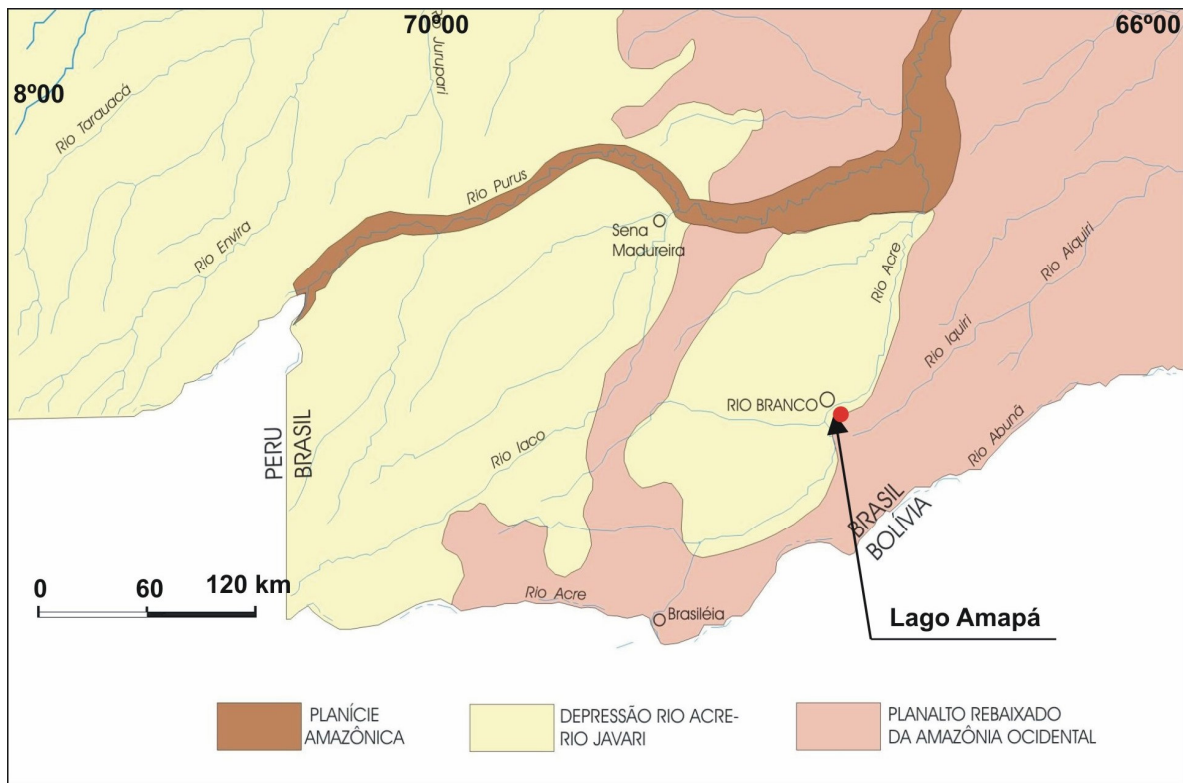


Figura 5 - Unidades morfoestruturais (Folha: SC.19 Rio Branco). Fonte: BRASIL (1976).

#### 1.4.4 Solos

Os solos onde se situa o município de Rio Branco são do tipo Argilossolos Amarelos e Vermelhos e Latossolos Amarelos (ACRE, 2000) (Figura 6). Os terrenos do

lago Amapá são formados por Gleissolos e Neossolos não delineáveis no mapa, correspondentes aos sedimentos flúvio-lacustres sugeridos pelo padrão de paleodrenagem (Figura 6).

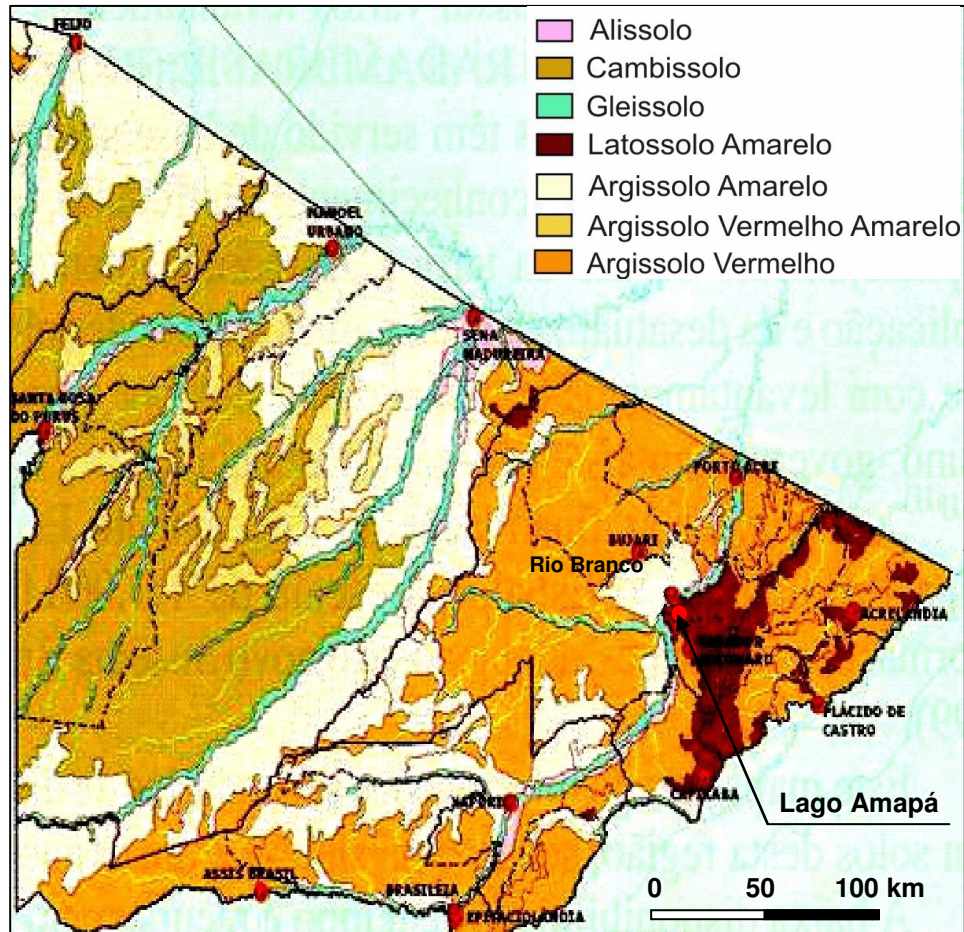


Figura 6 - Distribuição geográfica dos principais tipos de solo predominantes do leste do Estado do Acre. Adaptado do Mapa Pedológico de ACRE (2000).

Sobre estes solos são cultivados milho, mandioca, arroz e feijão e desenvolvida pecuária de pequeno e médio porte. Além disso, muitas áreas são aproveitadas para lazer (ITERACRE, 2005).

#### 1.4.5 Vegetação

A cobertura vegetal do Estado do Acre é do tipo floresta latifoliada perene, respondendo ao clima (quente e úmido) com precipitações elevadas (ACRE, 2000). Os solos da região, formados a partir de rochas sedimentares, abrigam uma vegetação

natural composta basicamente de florestas (tropical densa e tropical aberta). O município de Rio Branco, segundo o ITERACRE (2005), apresenta as seguintes tipologias florestais: Floresta Aberta com Bambu mais Floresta Aberta com Palmeiras e Floresta Aberta com Palmeiras das Áreas Aluviais.

#### 1.4.5.1 Floresta Aberta com Bambu mais Floresta Aberta com Palmeiras

Consiste em uma mistura de fisionomia entre floresta aberta com grande concentração de bambu, floresta aberta com palmeiras e floresta densa em pequenas manchas.

Nas áreas próximas a igarapés, pode ser observada maior ocorrência de cipós. Ocorrem palmeiras no sub-bosque, tendo maior concentração de *Astrocarium murumuru* Mart (murmuru), e ocorrem também *Phytelephas macrocarpa Ruiz e Pavon* (jarina), *Oenocarpus distichus* Mart. (bacaba), *Euterpe precatória* (açai), *Iriarteia sp.* (paxiubinha), *Iriarteia exorrhiza* Mart. (paxiubão) catolé, *Oenocarpus bataua* Mart. (patauá), *Attalea excelsa* (uricuri), *Bactris maior* Jacq. (marajá) e *Astricaryum sp* (tucumã). A ocorrência de bambus apresenta-se de forma esparsa e em aglomerados. Há, também, grande concentração de cipós nas manchas de floresta aberta. Nestas manchas, os indivíduos arbóreos são bem esparsos e o sub-bosque é muito denso (ACRE, 2000).

#### 1.4.5.2 Floresta Aberta com Palmeiras das Áreas Aluviais

Caracteriza-se pela ampla presença de espécies de palmeiras como *Geonoma sp.* (Ubim galope), ubinzinho, *Euterpe oleraceae* (açai), *Oenocarpus bataua* Mart (patauá), *Astrocarium murumuru* Mart (murmuru), *Iriarteia exorrhiza* Mart. (paxiubão), *Phytelephas macrocarpa Ruiz e Pavon* (jarina), *Iriarteia sp* (paxiubinha), *Oenoarpus distichus* Mart. (bacaba), *Bactris maior* Jacq. (marajá de terra firma). O sub-bosque é bastante denso, apresentando muito cipó, sendo que, em alguns pontos, há grande concentração de pacavira (espécie de bananeira brava), não tendo sido identificada cientificamente (ACRE, 2000). Neste cenário, encontra-se o lago Amapá.



## 1.5 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Na região estudada, as rochas mais antigas estão representadas pelas rochas sedimentares da Formação Solimões que afloram no leito do rio Acre nos períodos de vazante. Os sedimentos mais jovens e ligados à drenagem e paleodrenagem do rio Acre, aluviões holocênicos, constituem a região do lago Amapá (Figura 7).

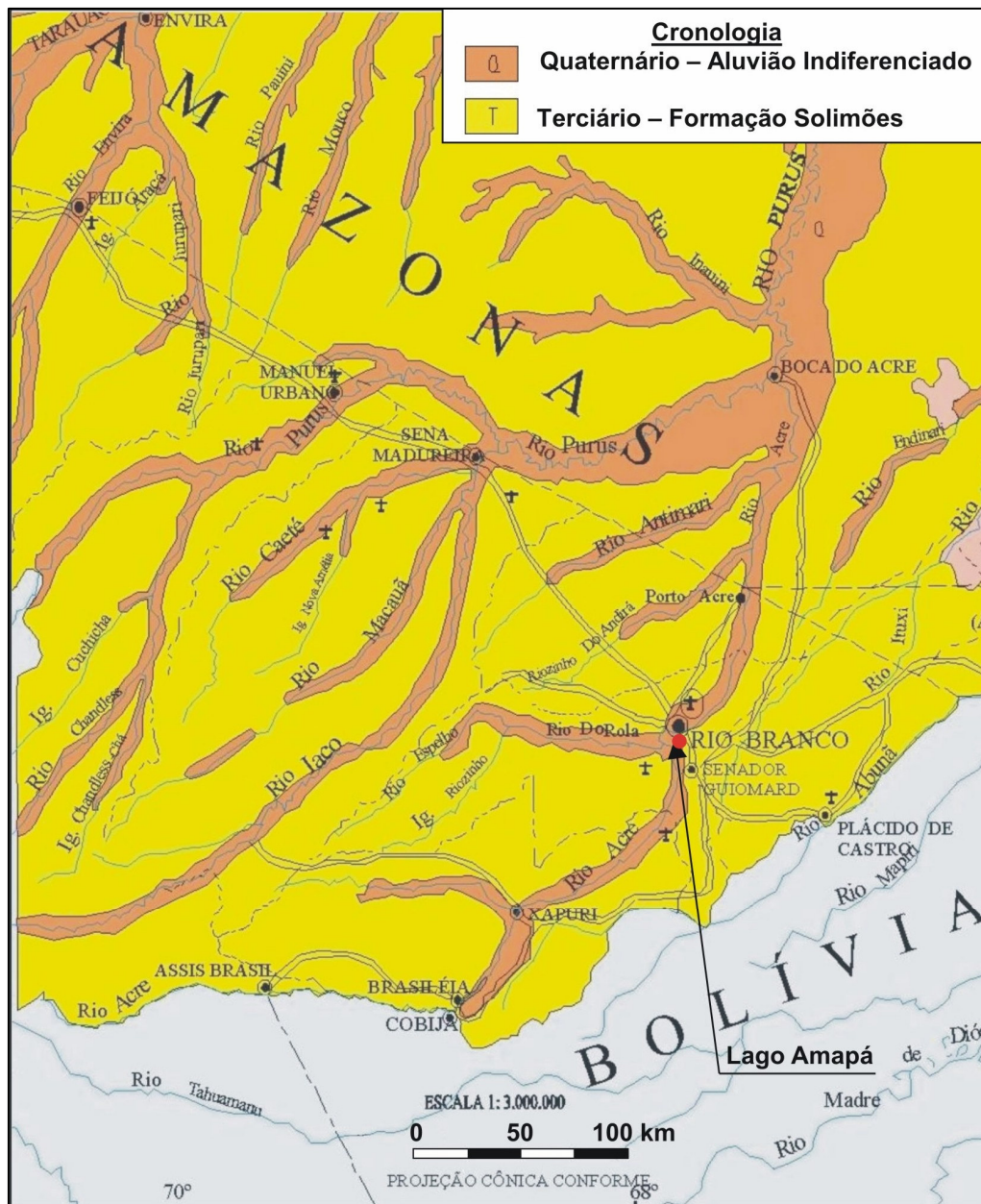


Figura 7 - Mapa geológico simplificado da região leste do Estado do Acre e parte do sudoeste do Estado do Amazonas. Adaptado de Atlas Geográfico Ambiental do Acre (ACRE, 1991).

A ocorrência de veios de gipso e material carbonático na Formação Solimões, indica um clima semi-árido, durante a deposição desta unidade (ACRE, 2000). Após a deposição da Formação Solimões, a região foi afetada por um reativamento de falhamentos e fraturas (refletido pelos lineamentos Nordeste-Sudoeste e Noroeste-Sudeste), que condicionaram o controle na drenagem. Em seguida, durante o Holoceno, são depositados os aluviões dos terraços e das planícies fluviais relacionadas à atual rede de drenagem, que envolvem:

a) Aluviões indiferenciados: representam os depósitos aluviais mais antigos que formam os terraços, sendo estes caracteristicamente argilosos, siltitosos e arenosos de granulação fina, ocasionalmente médios a grossos inconsolidados, apresentando-se com estruturas primárias tais como estratificações cruzadas e plano-paralelas e constituídas de quartzo e minerais opacos.

b) Aluviões atuais: característicos das planícies fluviais, constituindo barrancos e praias em ambas as margens dos rios com até 5 m de espessura. As praias, nas partes convexas dos meandros, são sedimentos predominantemente arenosos de granulação fina, cores branca, amarela e avermelhada (resultante do intemperismo). São sedimentos compactos ou friáveis. Às vezes, apresentam seqüência gradacional com areias muito finas com minerais opacos. É comum encontrar depósitos recentes de vegetais em carbonização e piritizados, ossos e formas vegetais fossilizadas, fragmentadas e re-trabalhadas.

### 1.5.1 Praias

Durante os períodos de estiagem, o rio Acre, entre outros, forma barras em pontal denominadas de “praias” pela população local (Almeida *et al.* 2003; Viana *et al.*, 2003). As praias estendem-se de algumas dezenas a 500 m, com larguras que variam entre 10 e 100 m, sobre os barrancos desenvolvidos no Holoceno Indiferenciado e Formação Solimões, podendo acumular sedimentos recentes e com alta fertilidade, que são aproveitados para agricultura.

De acordo com Almeida (2005), as praias acreanas são muito comuns nas porções central e noroeste do estado, onde o relevo é plano e seus rios muito meandantes drenam planícies de inundação. Essas praias são utilizadas para o lazer e também agricultura de subsistência (Figura 8).



**Figura 8 - Lazer da população em uma praia do rio Acre localizada no município de Rio Branco, nas proximidades do lago Amapá. Imagem obtida em julho de 2005.**

## 1.6 OS LAGOS DE MEANDROS

Como já foi mencionado, o lago Amapá é um lago de meandro abandonado e, por isso, a discussão será centrada em bacia lacustre desse tipo.

Estudos realizados em lagos do tipo ferradura concentram-se primordialmente em seus aspectos hidrobiológicos (Keppeler *et al.*, 1999a b; Almeida, 2000; Miranda *et al.*, 2001; Cunha-Santino & Bianchini-Junior, 2002; Keppeler & Hardy, 2002; Keppeler, 2003; Izaguirre *et al.*, 2004; Penczak *et al.*, 2004).

### 1.6.1 Aspectos Gerais – Formação de Lagos em Ferradura

Esteves (1988) define os lagos como corpos de água interiores sem comunicação direta com o mar, cujas águas têm, em geral, baixo teor de íons dissolvidos, quando comparados com as águas oceânicas. Uma exceção é feita em relação aos lagos localizados em regiões áridas ou submetidas a longos períodos de seca.

Os lagos são fenômenos de curta duração no tempo geológico. O seu desaparecimento está ligado a vários fenômenos, entre os quais os mais importantes são: acúmulo de matéria orgânica no sedimento; e deposição de sedimentos transportados principalmente pela drenagem fluvial.

Na formação de lagos, são de grande importância os fenômenos endógenos, como movimentos tectônicos e vulcânicos e os fenômenos exógenos como glaciações, erosão e sedimentação. No Brasil, a atividade fluvial é a principal responsável pela formação da maioria dos lagos conhecidos. Destacam-se assim, os lagos de várzea e de meandros abandonados (Esteves, 1988).

Rios meandranes podem ser encontrados em todo o mundo e são importantes não só como exemplo de um sistema muito dinâmico, mas também porque os canais que são abandonados do rio principal acumulam silte por milhares de anos e estes, compactados, formam camadas de folhelhos entre os quais freqüentemente se encontra óleo (petróleo) (Liverpool & Edwards, 1995).



Estudos sobre rios meandrantos a respeito de sua dinâmica, ecossistemas marginais, abandono de canais e conseqüente formação de lagos em ferradura são descritos em trabalhos como os de Liverpool & Edwards (1995), Richter & Richter (2000) e Hooke (2004).

Hooke (2004) sugere que a ocorrência de estrangulamento de canais e a separação destes para formação de lagos em ferradura são inerentes ao comportamento do meandro.

Os rios maduros (senis) que percorrem planícies e que já atingiram seus níveis de base (ponto limite abaixo do qual a erosão das águas correntes não pode ocorrer) apresentam um curso sinuoso. Em geral, ocorre um grande número de lagos ao longo de rios meândricos. Estes lagos são formados através do isolamento de meandros por processos de erosão e sedimentação nas margens (Figura 9). Os lagos assim formados são ditos de ferradura, crescente ou de meandro. Na literatura norte-americana, são conhecidos com o nome de “*oxbow lakes*” e na alemã de “*Altwasser*”. No Brasil, estes lagos são especialmente numerosos no Pantanal do Mato Grosso do Sul e na Região Amazônica. Estas regiões apresentam poucas elevações e são muito planas com grande número de rios meândricos, oferecendo, portanto, condições favoráveis à formação de inúmeros lagos em ferradura. Na região amazônica, estes lagos são conhecidos como “sacados” (Esteves, 1988).

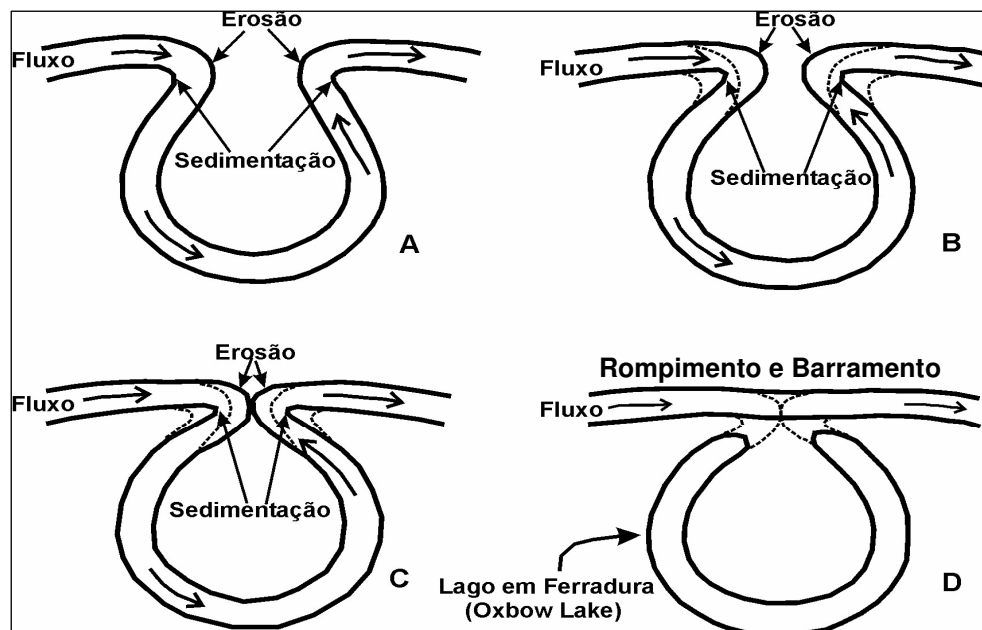


Figura 9 - Processo de isolamento de meandros. Modificado de Esteves (1988).

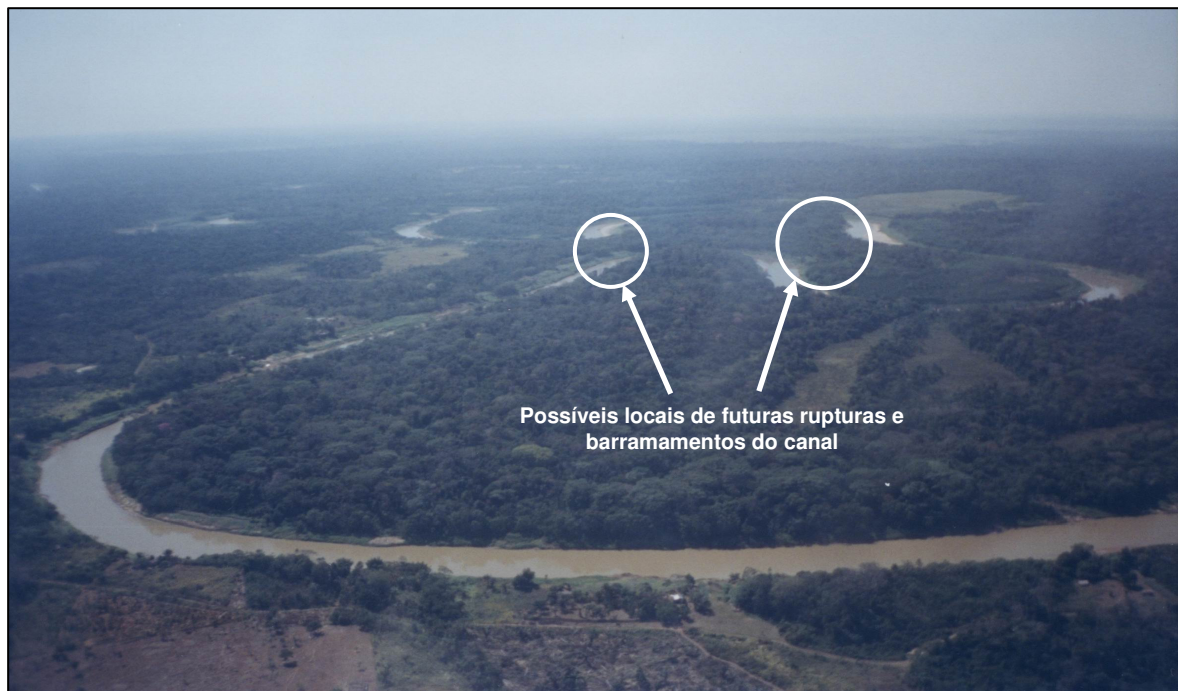
Segundo ACRE (2000), o rio Purus que recebe, entre outros, o rio Acre, possui um curso sinuoso e meândrico. Geralmente, quanto mais afastados do leito atual do rio, mais antigos são os meandros abandonados. Eles podem ser classificados como:

a) meandros em colmatação, com água, separados do leito do rio por estreita faixa de deposição recente e precariamente ligados à drenagem;

b) meandros em lagos, que permanecem com água, mas já sem ligação com a drenagem principal;

c) meandros colmatados, sem água, com vegetação e geralmente afastados do leito do rio.

O rio Acre apresenta curso bastante sinuoso (Figura 10), podendo-se observar trechos em que o rio tende a formar pontos de estrangulamento como produto da velocidade do fluxo de água, maior na parte côncava e erosiva e menor na parte convexa e deposicional. A contínua ação erosiva e deposicional nos locais de estrangulamento do rio pode resultar no isolamento de meandros, originando-se novos lagos em forma de ferradura.



**Figura 10 - Trecho bastante sinuoso do rio Acre nas proximidades da cidade de Rio Branco, rio acima. Fotografia obtida em julho de 2005.**

Com base nessa classificação, pode-se dizer que o lago Amapá é um meandro em lago, embora ainda receba contribuição de material em suspensão em alguns períodos de cheia do rio Acre.

### 1.6.2 Águas, Sedimentos e Eutrofização

Os lagos ainda podem ser considerados como oligotróficos (com pouco nutriente e baixa produtividade, apresentando águas bem oxigenadas) ou eutróficos (com elevados níveis de nutriente e alta produtividade, o que faz com que sejam deficientes em oxigênio no hipolímnio) (Davis, 1983).

Em lagos oligotróficos, os sedimentos de fundo refletem a composição de solos da bacia de alimentação. Em lagos que já sofreram certa eutrofização, a produção autóctone de carbono, a atividade bacteriana e variações redox podem produzir modificações internas da composição de sedimento que podem ser lidas da estratigrafia química como uma história do desenvolvimento limnológico (Engstrom & Wright Jr., 1984).

A eutrofização é um processo natural observado em muitos lagos, em todo o mundo, mostrada em trabalhos como os de Miranda *et al.* (2001), Brown *et al.* (2004), Rodríguez-Gallego *et al.* (2004), Tsujimura (2004), Rahman *et al.* (2005) e Robarts *et al.* (2005). Como observado por Miranda *et al.* (2001), sedimentos transportados são frequentemente enriquecidos com nutrientes e matéria orgânica da bacia de alimentação, contribuindo para nova produção primária e posterior eutrofização do lago.

Com relação aos sedimentos lacustres, estes podem ser classificados como: orgânicos, com elevado teor de matéria orgânica (>10% do peso seco) (Ungemach<sup>3</sup> *apud* Esteves, 1988); ou minerais, com baixo teor de matéria orgânica (<10% do peso seco) (Esteves, 1988).

<sup>3</sup> UNGEMACH, H. – Sedimentchemismus und seine Beziehung zum Stoffhaushalt in 40 europaischen Seen. Germany. Universitat Kiel. 420p, 1960.

Davis (1983) afirma que o clima tem grande influência sobre os lagos o que afeta o tipo de acúmulo de sedimento que se encontra nesse ecossistema. Para ele, existem dois tipos principais: aqueles dominados por acúmulo de sedimentos terrígenos; e aqueles dominados por precipitados químicos. Sobrepostos a isso, estão os efeitos climáticos como temperatura, precipitação e latitude. A profundidade da água e a configuração de fundo também são fatores que afetam o acúmulo de sedimentos.

A relação entre as composições geoquímica e mineralógica de sedimentos lacustres pode fornecer informações de como variações na composição dos sedimentos refletem mudanças no nível lacustre e atividades erosivas nos solos da bacia que, por sua vez, são função do regime climático e vegetação. Nas regiões tropicais, o intemperismo químico causa transformações minerais marcantes e metais de menor mobilidade (Al, Ti, Fe, Mn, Cr, Ni, Mo, Nb, Be, Zr, V, U, Th) podem acumular-se em horizontes de superfície sob condições oxidantes (Rodrigues-Filho *et al.*, 2002).

Engstrom & Wright Jr. (1984) discutem que os materiais húmicos produzidos por degradação microbiana de plantas terrestres têm um papel importante na mobilização de Fe e Mn de solos da bacia de alimentação. Redox de solos e retenção de água podem ser importantes em alguns casos em que mudanças na vegetação da bacia de alimentação podem influenciar fortemente a estratigrafia de Fe e Mn autigênicos em sedimentos de lagos.

A deposição e retenção de Fe e Mn em sedimentos lacustres são altamente dependentes da condição oxi-redutora do sistema lacustre. Contudo, a interpretação das condições de paleoredox de perfis de Fe e Mn requer avaliação cuidadosa de mudanças potenciais nos solos da bacia de alimentação, tão bem quanto diagênese e migração pós-deposicional de fases autigênicas de Fe e Mn. Outros fatores como pH, mistura de sedimentos e padrões especiais de deposição de sedimentos através da bacia também podem influenciar os perfis de Fe e Mn (Engstrom & Wright Jr., 1984).

Com relação a suprimento de detritos nos lagos, illita e esmectita constituem os minerais de argila dominantes e são tão freqüentes quanto o quartzo. Clorita, caulinita, argilominerais interestratificados e paligorskita estão variavelmente presentes. Existe uma correspondência geral entre a composição mineral da maioria dos lagos de água

doce e a mineralogia média de argilas de rochas e solos ao redor da bacia de drenagem (Chamley, 1989).

De acordo com Curtis (1985), os minerais de argila detríticos alteram-se sistematicamente durante a diagênese, como de esmectita para illita, via um interestratificado illita-esmectita.

Devido à diversidade de materiais lançados e carreados no corpo aquático de alguns lagos, observa-se que estes sempre encerram uma fração de natureza argilosa e siltosa e uma fração orgânica (Santos *et al.*, 2005).

Assim, os sedimentos lacustres guardam informações sobre mudanças ambientais e têm sido estudados por todo o mundo para avaliar as mudanças naturais e os impactos causados por ação antropogênica (Yang & Rose, 2004).

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 TRABALHO DE CAMPO**

#### **2.1.1 Pré-Campo**

Nesta etapa, foram feitos os levantamentos bibliográficos sobre aspectos geológicos, geoquímicos e fisiográficos da região, a elaboração do método para coleta e análise do material a ser amostrado na área de estudo, bem como o planejamento para um levantamento de dados sócio-econômicos na área do entorno do lago Amapá.

#### **2.1.2 Campo**

Esta etapa do trabalho consistiu de quatro momentos entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2005 quando foram realizadas amostragens de sedimentos e águas, assim como medidas de parâmetros físico-químicos das águas. Para localização dos pontos de amostragem, utilizou-se GPS da marca GARMIN'S GPS12 Personal Navigator.

As medidas dos parâmetros físico-químicos foram feitas em períodos de estiagem (outubro de 2003 e julho de 2004 e de 2005) e em um período chuvoso na região (março de 2004) para se ter uma idéia das implicações da variação sazonal sobre os parâmetros observados. Para tentar compreender a distribuição areal dos mesmos parâmetros físico-químicos das águas do lago Amapá, foram escolhidas, a princípio, três estações (LAPF1, LAPF2 e LAPF3) localizadas nos mesmos pontos de amostragem de sedimento de fundo (Figura 11). No último período de campo, em julho de 2005 (estiagem), para consubstanciar a investigação da distribuição areal dos parâmetros das águas, foram consideradas além daquelas, outras três estações no lago identificadas por Ab, Cb, Bu (Figura 11) e uma estação no rio Acre (RAc) a título de comparação com os parâmetros do seu rio formador.

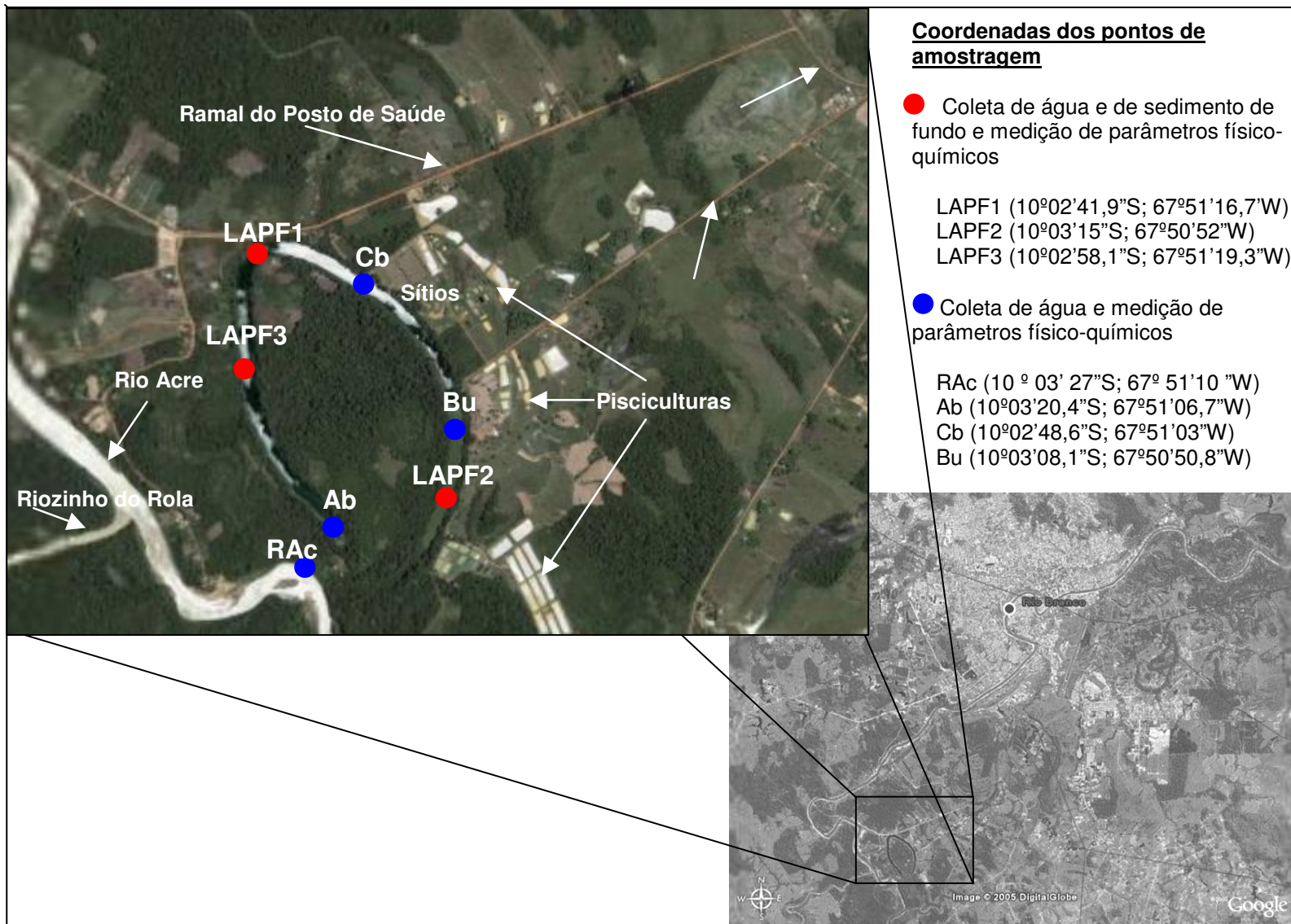
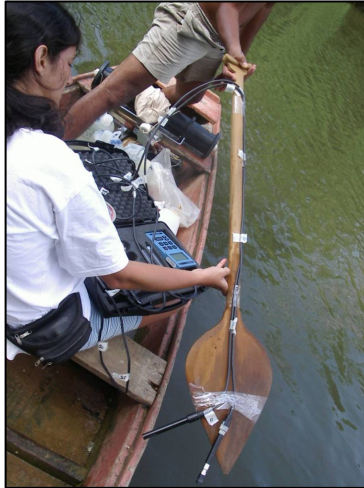


Figura 11 - Mapa de amostragem no lago Amapá e entorno, indicando as estações de coleta de materiais. Modificado de imagem de satélite do site [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).



No momento da medição de parâmetros de águas nas estações LAPF2 e Bu, percebeu-se que os eletrodos imersos na lâmina de água eram empurrados por uma corrente de subsuperfície próxima ao fundo do lago. Para poderem ser feitas as medições, improvisou-se um guia (remo) para imersão dos eletrodos na lâmina de água impedindo que esses fossem levados pela correnteza (Figura 12).



**Figura 12 - Preparação dos eletrodos para imersão com auxílio de um guia (remo) e medição de parâmetros físico-químicos das águas na estação Bu próxima à localidade P4 (Piscicultura Acreana). Local de possível saída de um emissário.**

Ainda em outubro de 2003, em período de estiagem, foram feitas as sondagens para coleta de sedimentos de fundo. Para essas sondagens, levou-se em consideração o período de estiagem por apresentar menor espessura de lâmina de água.



### 2.1.2.1 Medidas de Parâmetros Físico-Químicos e Coleta de Água

Os parâmetros físico-químicos das amostras de água foram determinados com pHmetro, condutivímetro e espectrofotômetro Hach-2000 de propriedade do Instituto Evandro Chagas de Belém e, também, do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada da Universidade Federal do Pará.

Em outubro de 2003, período de estiagem, foram medidos a temperatura, total de sólidos dissolvidos (TDS), pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido (OD) das águas do lago em pontos desde a superfície da lâmina de água a profundidades de até pelo menos 1 m em três estações (LAPF1, LAPF2 e LAPF3) (Figura 11).

Em março de 2004, período chuvoso, foram feitas as mesmas medidas nas estações LAPF1 e LAPF2, bem como medidas de turbidez, transparência, sólidos totais em suspensão (STS) e os íons fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, brometo, fosfato, sulfato e amônio, em laboratório móvel. Para essas medidas, foram utilizados cerca de 5 L de água de 10 L coletados para cada amostra. Dos outros 5 L de água restantes, foram filtrados cerca de 500 mL em membranas do tipo Milipore em éster de celulose de porosidade 0,45 µm para retenção de material em suspensão e acondicionamento das duas amostras. O processo de filtração foi auxiliado por uma bomba de vácuo portátil.

Ainda nesse mesmo período, foram coletadas duas amostras na superfície da lâmina de água, uma em cada estação, que foram destinadas a análises químicas. As amostras de água foram filtradas e acondicionadas em frascos contendo três gotas de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) suprapuro (destilado três vezes) para sua conservação. Em julho do mesmo ano, as medidas de parâmetros físico-químicos foram feitas novamente nas estações LAPF1 e LAPF2, além da estação LAPF3.

Em julho de 2005, período de estiagem, foram avaliados os mesmos parâmetros medidos em 2004 durante o período chuvoso, mas não foram considerados os valores de temperatura, TDS, pH, condutividade elétrica e OD por motivos de descalibração de alguns aparelhos. Essas medidas foram realizadas nas três estações anteriores (LAPF1, LAPF2 e LAPF3), bem como nas estações Bu, Cb, Ab e RAc (Figura 11).

### 2.1.2.2 Coleta de Sedimentos

Os sedimentos de fundo do lago Amapá foram coletados ainda em outubro de 2003 através de sondagem de três furos localizados nas estações (LAPF1, LAPF2 e LAPF3) (Figura 11). A amostragem desses sedimentos foi realizada com o auxílio de uma sonda manual do tipo Livingstone com hastes e tubos de alumínio com 5 cm de diâmetro (Figura 13). Essa atividade foi realizada pelos Professores Dr. Marcondes Lima da Costa, da Universidade Federal do Pará, e Dr. Hermann Behling, da Universidade de Bremen-Alemanha. O furo F1 testemunhou 4 m de sedimentos, o furo F2, 2 m e o furo F3, 3 m.



**Figura 13 - Sondagem com auxílio de sonda manual tipo Livingstone para coleta de sedimento de fundo na estação LAPF1 do lago Amapá (Foto: Marcondes Lima da Costa).**

Os sedimentos contidos nos tubos de alumínio foram transferidos para tubos de PVC (*polivinil-clorine*) (Figura 14), após a chegada nos laboratórios em Belém e embalados com filme de PVC transparente e folha de alumínio para inibir a oxidação.

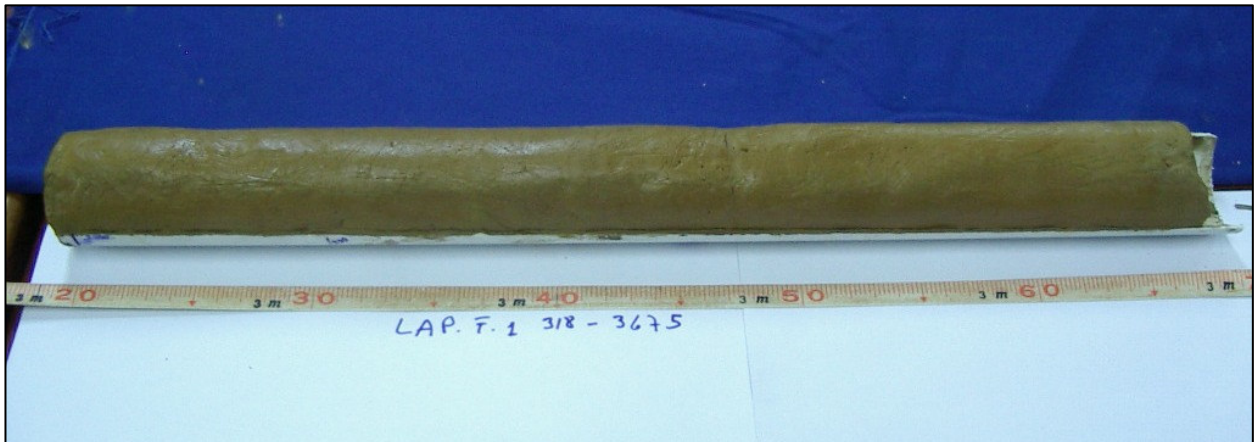


Figura 14 - Imagem mostrando o testemunho (50 cm de sedimento) já transferido para uma calha de PVC. Detalhe da seção 318-367,5 cm do furo F1 (Foto: Marcondes Lima da Costa).

Tabela 1 - Períodos de campo, medidas de parâmetros físico-químicos e material amostrado.

Período	Parâmetros físico-químicos medidos nas águas	Material coletado	Quantidade de material coletado
Outubro de 2003 (estiagem)	temperatura, TDS, pH, condutividade e OD	Sedimentos de fundo	LAPF1 – 4 m LAPF2 – 2 m LAPF3 – 3 m
Março de 2004 (cheia)	temperatura, TDS, pH, condutividade, OD, turbidez, transparência, STS e íons (fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato e amônio)	Água	2 amostras (LAPF1, LAPF2)
Julho de 2004 (estiagem)	temperatura, TDS, pH, condutividade, OD, turbidez, transparência, STS e íons (fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, brometo, fosfato, sulfato e amônio)	-	-
Julho de 2005 (estiagem)	turbidez, transparência, STS e íons (fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, brometo, fosfato, sulfato e amônio)	Água	-

## 2.2 ANÁLISES LABORATORIAIS

Após a descrição mesoscópica dos testemunhos dos três furos de sondagem LAPF1, LAPF2 e LAPF3, selecionaram-se as amostras para análises granulométricas, mineralógicas, químicas e geocronológicas.

### 2.2.1 Preparação das Amostras

As amostras de água, acondicionadas em campo, foram mantidas resfriadas durante o transporte e estocadas, em sala fria (a 4°C), no Instituto Evandro Chagas em Belém. Posteriormente, seguiram para análises químicas em laboratório.

O material em suspensão, que ficou retido nas membranas após a filtração dos cerca de 500 mL de água de cada amostra, foi seco a temperatura ambiente para posteriores análises químicas e mineralógicas.

Algumas amostras de sedimento selecionadas dos furos foram separadas, secas a temperatura ambiente e pulverizadas em gral de ágata e destinadas às análises químicas e mineralógicas.

Foram selecionadas, ainda, três amostras de sedimento para datação por radiocarbono.

**Tabela 2 - Distribuição de amostras para análises realizadas.**

<b>Material coletado</b>	<b>Análises</b>	<b>Quantidade de amostras</b>
Água	Químicas	2
Material em Suspensão	Químicas	2
	Mineralógicas (DRX)	2
Sedimento de Fundo	Químicas	17
	Granulométricas	33
	Mineralógicas	118*
	Geocronológicas	3

\* Análises por DRX (total e da fração argila) e MEV.

### 2.2.2 Medições dos Parâmetros Físico-Químicos em Sedimentos

Foram realizadas, também, medições de pH com eletrodo de vidro e de Eh com eletrodo de platina por inserção direta em determinados pontos ao longo dos testemunhos coletados, utilizando-se um potenciômetro digital portátil modelo METRO HM744. Estas determinações foram realizadas no Museu Paraense Emílio Goeldi.

### 2.2.3 Descrição dos Testemunhos

De acordo com o que foi descrito anteriormente, os testemunhos ficaram acondicionados em tubos de PVC que foram divididos em seções menores, as quais foram fotografadas, identificadas e descritas segundo distinção de coloração, presença ou não de material orgânico e granulometria.

### 2.2.4 Análises Granulométricas

Foram selecionadas 33 amostras, de aproximadamente 2 cm<sup>3</sup> cada, retiradas dos três furos (15 amostras do furo LAPF1, 7 do LAPF2 e 11 do LAPF3).

As análises foram realizadas por sedígrafo (analisador de tamanho de partícula a laser) Quantachrom-Cilas920 com capacidade para analisar partículas com granulometrias numa faixa de 0,3 a 400 µm (Figura 15). Um diodo laser de alta estabilidade e resistência projeta numa matriz de fotodiodos a imagem de difração provocada pelas partículas analisadas. Por meio de um *software* (*The Particle Expert*), obtiveram-se dados de distribuição de tamanho de grãos, em porcentagem, e gráficos de distribuição de percentual passante (Figura 16), com visualização de resultados e tempo real e controle de qualidade dos mesmos. A partir desses dados, puderam ser construídos os histogramas e ser reproduzidas as curvas acumuladas. As análises foram realizadas na Universidade de Halle, na Alemanha, por cortesia do professor Dr. Herbert Pöllmann.

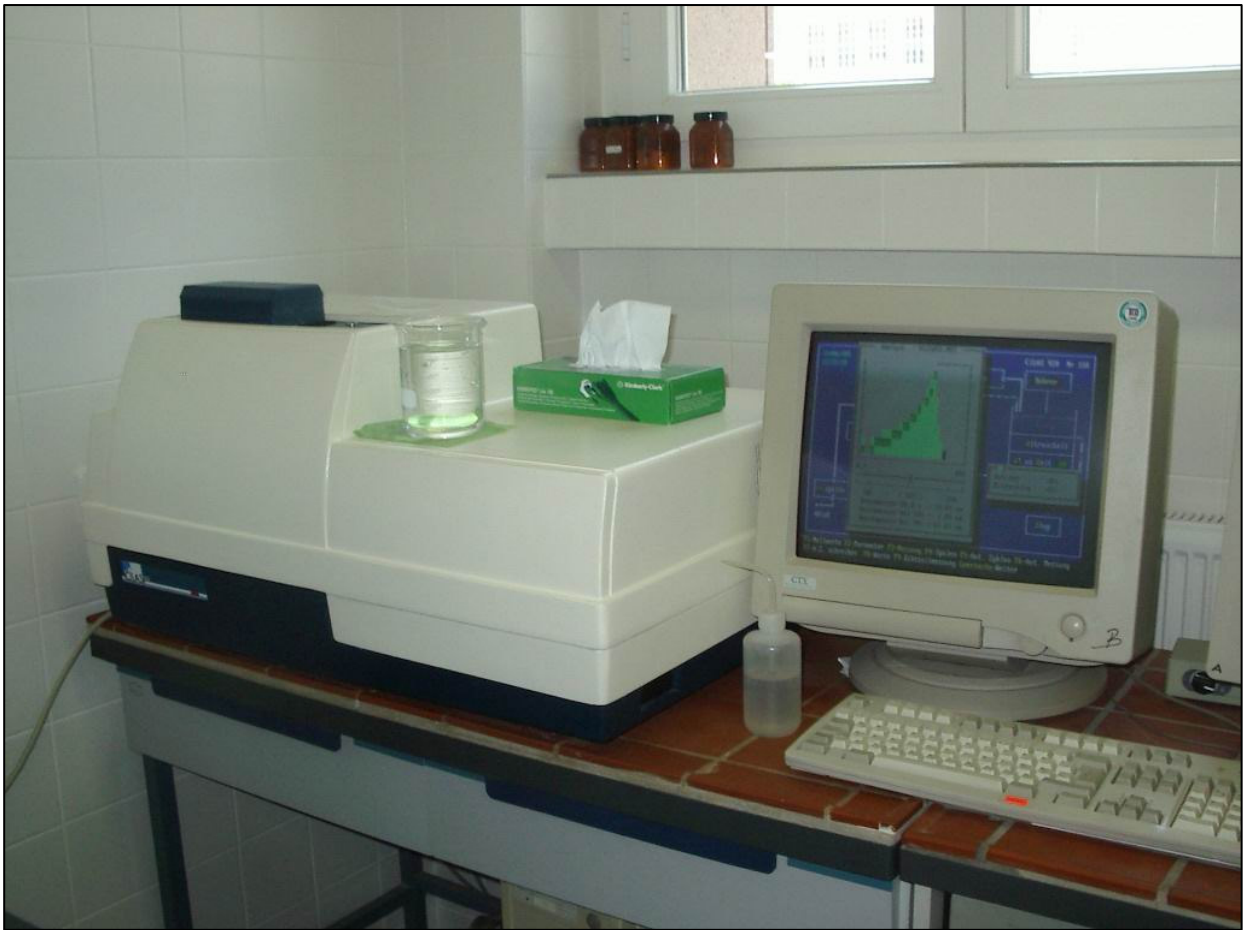


Figura 15 - Aparelho utilizado na análise granulométrica - Quantachrom-Cilas920. Em detalhe, na tela do microcomputador, confecção de um gráfico com curvas de distribuição no momento da análise (Foto: Marcondes Lima da Costa).

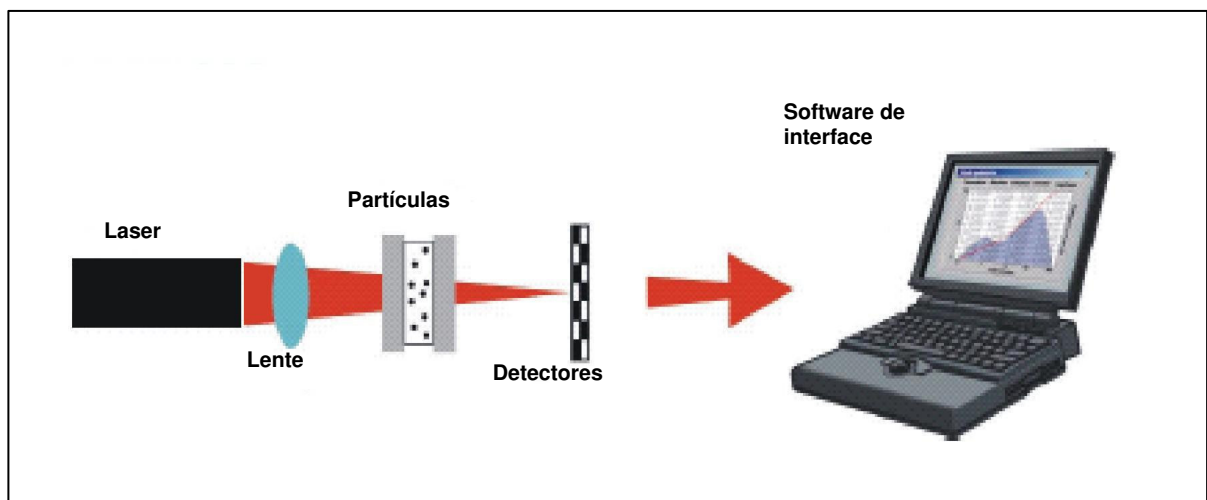


Figura 16 - Esquema de análise granulométrica com sedígrafo Cilas 920 e software (*The Particle Expert*). Modificado do site [www.cilasus.com](http://www.cilasus.com).



## 2.2.5 Análises Mineralógicas

Essas análises foram realizadas por meio de difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura (MEV), seguindo procedimentos conforme a figura 17.

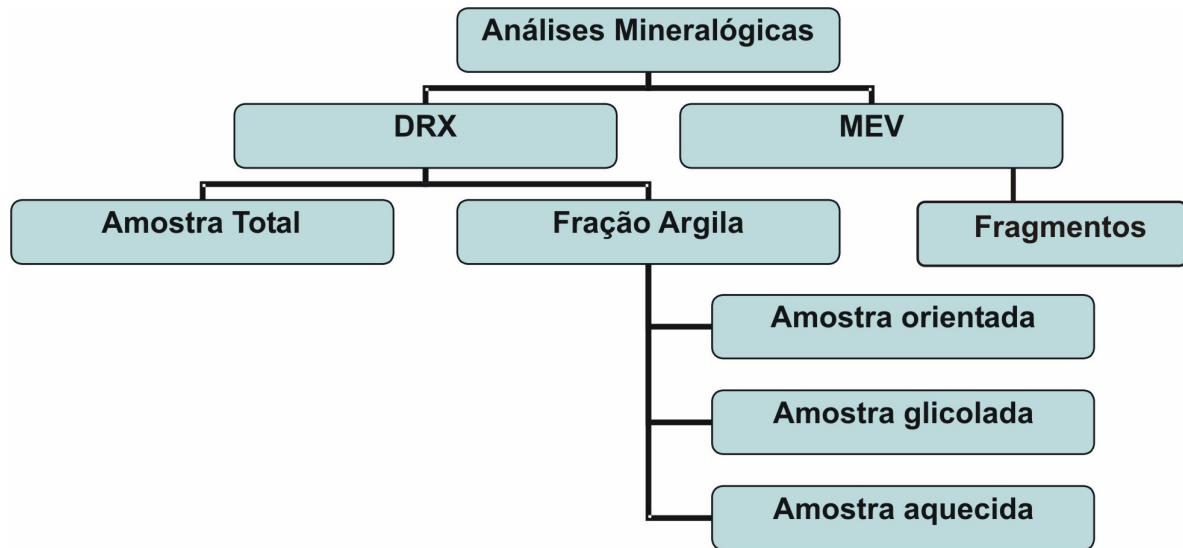


Figura 17 - Fluxograma de análises mineralógicas.

### 2.2.5.1 Difração de Raios-X (DRX)

Para as análises de DRX, utilizou-se difratômetro Philips PW 3710 equipado com anodo de cobre ( $Cu\alpha_1 = 1,54060 \text{ \AA}$ ), com monocromador e gerador de tensão e corrente ajustados para 45 KV, 40 mA, respectivamente. Os registros foram realizados no intervalo de  $5^\circ$  a  $65^\circ$  com leituras de  $2\theta$ , para as amostras totais pulverizadas, e no intervalo  $3^\circ$  a  $36^\circ$ , para amostras de argilominerais. As identificações dos minerais foram feitas com auxílio dos *softwares* APD (PHILIPS) e Minerva, com banco de dados do ICDD - International Center for Diffraction Data. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Raios-X do Centro de Geociências da UFPA.

As amostras de suspensato e sedimento de fundo foram preparadas como descrito anteriormente (item 2.2.1). As duas amostras de suspensato foram submetidas apenas à análise por difração de raios-X da amostra total, não sendo possível realizar análises de MEV por estarem em quantidades insuficientes.

As amostras de sedimento de fundo foram submetidas tanto à análise total quanto da fração argila. Para análise total, foram destinadas 97 amostras (49 do perfil LAPF1, 17 do LAPF2 e 31 do LAPF3). Foram selecionadas 12 amostras (cinco do perfil LAPF1, três do LAPF2 e quatro do LAPF3) para identificação dos minerais de argila, comparando-se os espaçamentos basais ( $d$ ) das principais reflexões nos difratogramas resultantes das análises das amostras orientadas, glicoladas e aquecidas de acordo com os padrões da literatura (Tabela 3).

**Tabela 3 - Espaçamento basal ( $d$ ) e correspondente ângulo  $2\theta$  das primeiras reflexões de minerais de argila. Adaptado de Carroll (1974), Gomes (1986) e Moore & Reynolds (1997).**

Mineral	Lâmina Orientada		Lâmina Glicolada		Lâmina Aquecida	
	$d(\text{Å})$	$2\theta$	$d(\text{Å})$	$2\theta$	$d(\text{Å})$	$2\theta$
Caulinita	7	12,5	7	12,5	-	-
Illita	10	8,4	10	8,4	10	8,4
Esmectita	12,5-15,5	6-5,5	17	5,2	10	8,4

A figura 18 detalha os procedimentos para análise da fração argila, dando ênfase na preparação das lâminas a serem analisadas. Esta etapa de preparação das lâminas das argilas foi realizada no Laboratório de Sedimentologia do Centro de Geociências da UFPA.



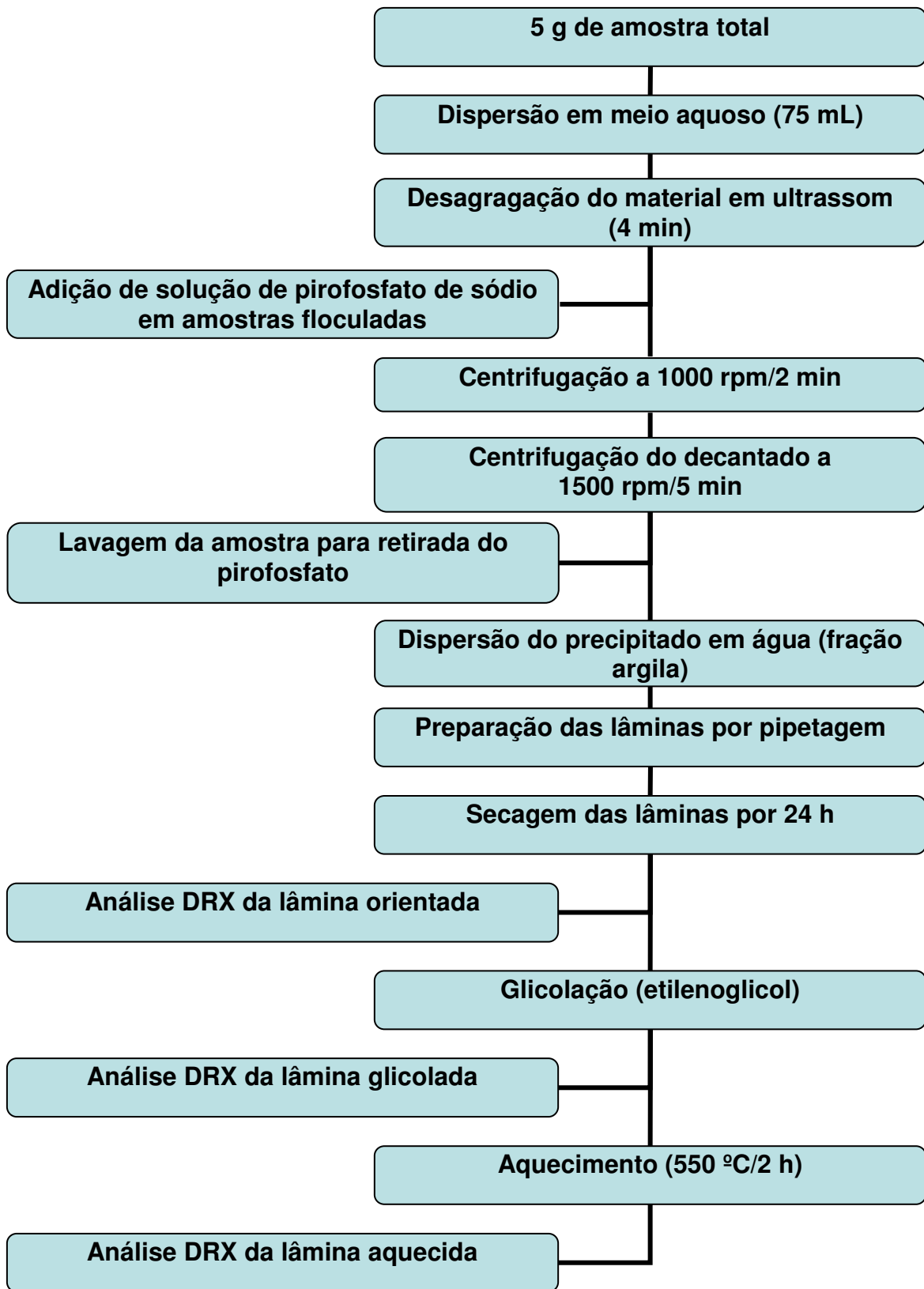


Figura 18 - Procedimentos analíticos para determinação de minerais de argila por DRX na fração argila.

Das 12 amostras destinadas a análise de minerais de argila, apenas a primeira de cada furo floculou (amostra do topo do perfil). Foi observada maior quantidade de material floculado na amostra do topo do perfil LAPF1, seguido das amostras dos perfis LAPF3 e LAPF2, em que houve menos floculação.

#### 2.2.5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

Para as análises de MEV, oito amostras de sedimento e uma outra amostra de coloração azulada, supostamente vivianita, foram retiradas de seções do perfil LAPF1, secas a temperatura ambiente, fragmentadas, afixadas em lâmina de vidro e metalizadas com ouro.

Primeiramente, foram obtidas imagens por elétrons secundários. Em seguida, imagens obtidas por elétrons retro-espalhados foram usadas para análises químicas semi-quantitativas em alguns pontos nas amostras por espectrometria de energia dispersiva de raios-X (EDS), utilizando-se um microscópio eletrônico LEO modelo 1430VP.

Estas análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Centro de Geociências da UFPA.

Para melhor visualização, os pontos analisados foram indicados nas imagens obtidas por elétrons secundários (item 3.3.2.2).

## 2.2.6 Análises Químicas

As análises químicas foram realizadas em laboratórios especializados conforme a tabela 4.

**Tabela 4 - Métodos analíticos para análises químicas de água, suspensato e sedimento de fundo.**

<b>Material</b>	<b>Método</b>	<b>Elementos analisados</b>	<b>Laboratório</b>
Água	ICP-MS	Al, Fe, Na, K, Mg, Mn, Ti, Ba, Sr, Rb, Li, Pb, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Se, Cs, Ce, U, Sn, Sb, B, I.	Astratom
Suspensato	ICP-MS	Al, Fe, Na, K, Mg, Mn, Ti, Ba, Sr, Rb, Li, Pb, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Se, Cs, Ce, U, Sn, Sb, B.	Astratom
Sedimento de Fundo	ICP-MS	Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, Mn, b P, Sc, Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Nb, Mo, Ag, In, Sn, Sb, Cs, Ba, ETR, Hf, W, Tl, Pb, Bi, Th, U.	ActLabs

**ActLabs – Activation Laboratories Ltd/Canadá.**

**Astratom – Astratom Pesquisas e Análises Ltda/São Paulo-Brasil.**

### 2.2.6.1 Análise Química da Água

As duas primeiras amostras de água, coletadas no mês de março de 2004 (período de cheia), foram analisadas por espectrometria de massa por plasma acoplado induzido (ICP-MS) em equipamento modelo Ultra Mass 700-Varian. Essas análises foram realizadas no Laboratório Astratom Pesquisas e Análises Ltda em São Paulo.

### 2.2.6.2 Análise Química do Material em Suspensão

O material que foi filtrado das duas amostras de água, quando da coleta do mês de março de 2004, foi encaminhado para determinação elementar em amostras de suspensato. Para tal análise, seguiu-se a Metodologia EPA 3051 (Método de Digestão Ácida Assistida por Microondas de Sedimentos, Resíduos, Solos e Óleos) elaborada

pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA), em que amostras representativas de até 0,5 g são digeridas com 10 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado por 10 minutos usando aquecimento por microondas. O recipiente que contém a amostra digerida é de fluorcarbono. Após o resfriamento, o material é filtrado, centrifugado e diluído em volume para análise elementar por ICP-MS (USEPA 3051, 1994). O equipamento de ICP-MS utilizado foi de modelo Ultra Mass 700-Varian. Essas análises também foram realizadas no Laboratório Astratom Pesquisas e Análises Ltda em São Paulo.

#### 2.2.6.3 Análise Química Total do Sedimento de Fundo

Dos três testemunhos sondados, o perfil do furo F1 foi tomado de forma representativa por ser o de maior profundidade. Foram selecionadas e preparadas 17 amostras desse perfil conforme descrito anteriormente (item 2.2.1) e, assim, encaminhadas para laboratório especializado. As amostras passaram por um processo de abertura total em fusão alcalina com tetraborato e tetraborato de lítio e, em seguida, analisadas por ICP-MS para determinação da sua composição química. Estas análises foram realizadas pelos Activation Laboratories Ltd., no Canadá.

#### 2.2.6.4 Quantificação da Matéria Orgânica do Sedimento

Essa determinação permitiu uma quantificação do material orgânico nas amostras representativas das camadas sucessivas que compõem os perfis.

O método utilizado foi o de Determinação de Carbono Orgânico Prontamente Oxidável de Walkley-Black (1947) modificado por Jackson (1958).

Por se tratar de um material em ambiente de água doce, portanto, com muito pouca ou nenhuma quantidade de íons cloreto (Cl<sup>-</sup>), foi utilizada uma pequena quantidade de Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para prevenir uma possível oxidação do ânion. A matéria orgânica foi quantificada de acordo com a seguinte equação:

$$\% M_{org} = 10 (1 - T/S) \times F$$

(1)

Onde,

**S** = Padronização do Branco (volume de solução ferrosa amoniacal).

**T**= Titulação da amostra (Volume de solução ferrosa amoniacal).

**F** = Fator (=1,03 para 0,5 g de amostra).

O fator F foi determinado a partir da seguinte equação:

$$F = (1N) \times (12/ 4000) \times 1,72 \times (100/\text{peso da amostra}) \quad (2)$$

A determinação da quantidade de matéria orgânica nos sedimentos de fundo do lago Amapá foi realizada no Laboratório de Análises Químicas do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

### 2.2.7 Datação por Radiocarbono

As três amostras escolhidas para determinação da idade radiocarbono dos sedimentos de fundo do lago Amapá foram selecionadas das seções 82-84 cm, 231-232 cm, 254-256 cm de profundidade. A idade foi determinada por espectrometria de massa por aceleração (AMS-facility) – da Universidade de Erlangen na Alemanha -, uma ferramenta de análise ultra-sensitiva para estudos como ambientais, em química e em arqueologia, entre outros.

As amostras do laboratório de AMS de Erlangen ainda contêm pelo menos 1 mg de carbono após a preparação química. O método de Radiocarbono é usado para determinação de idade de amostras com até 50.000-60.000 anos. Para essas datações, é usada a Dendrocronologia para determinação da concentração original de  $^{14}\text{C}$  na atmosfera que foi alterada por desvios de intensidade de radiação cósmica. A preparação das amostras de sedimento é feita através do método AAA (Ácido-Álcali-Ácido) – HCl e NaOH. Após a preparação, as amostras devem ser transformadas para uma forma compatível na análise por AMS, oxidando o  $\text{CO}_2$  em analisador elementar e

sua subsequente redução para carbono elementar ([www.14c.uni-erlangen.de](http://www.14c.uni-erlangen.de)) (Figura 19).

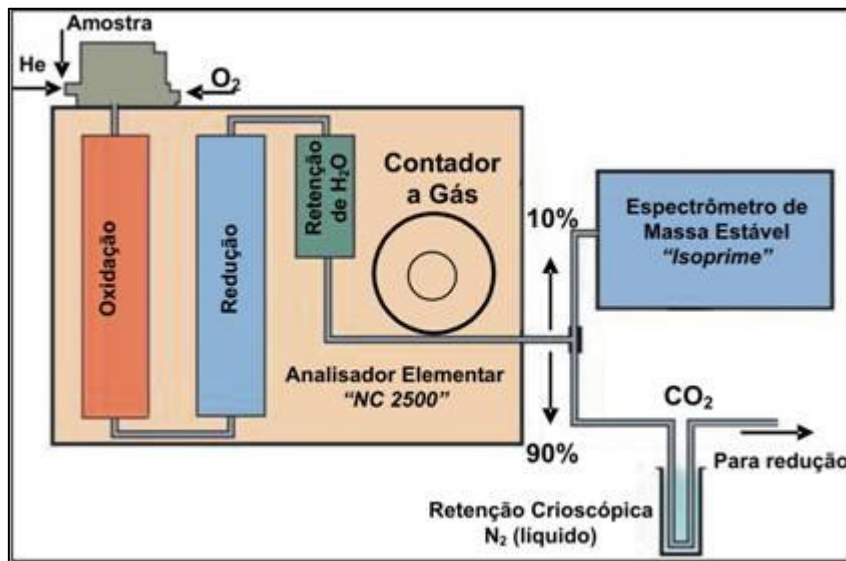


Figura 19 - Diagrama de combustão de amostra em um analisador elementar. Modificado do site [www.14c.uni-erlangen.de](http://www.14c.uni-erlangen.de).

Após a etapa de redução, as amostras seguem para determinação da idade radiocarbônico no AMS-facility (Figura 20).

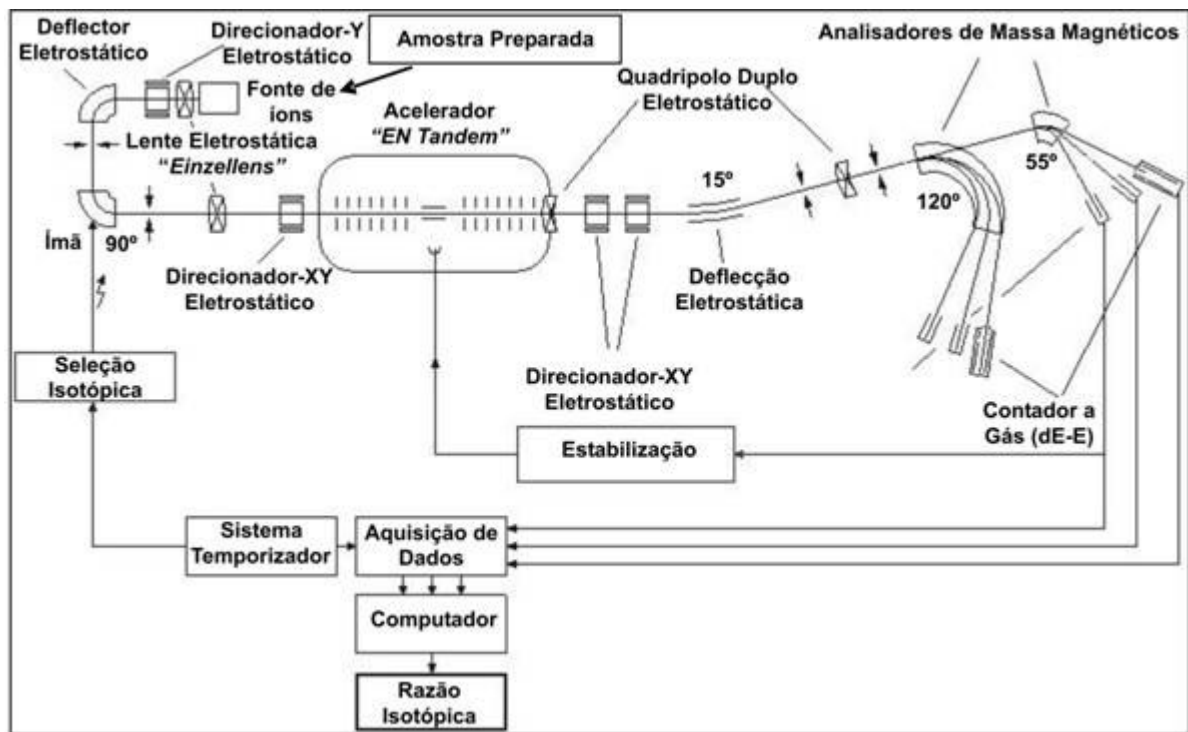


Figura 20 - Diagrama das etapas de funcionamento do espectrômetro de massa por aceleração (AMS-facility) da Universidade de Erlangen. Modificado do site [www.14c.uni-erlangen.de](http://www.14c.uni-erlangen.de).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 ASPECTOS GERAIS

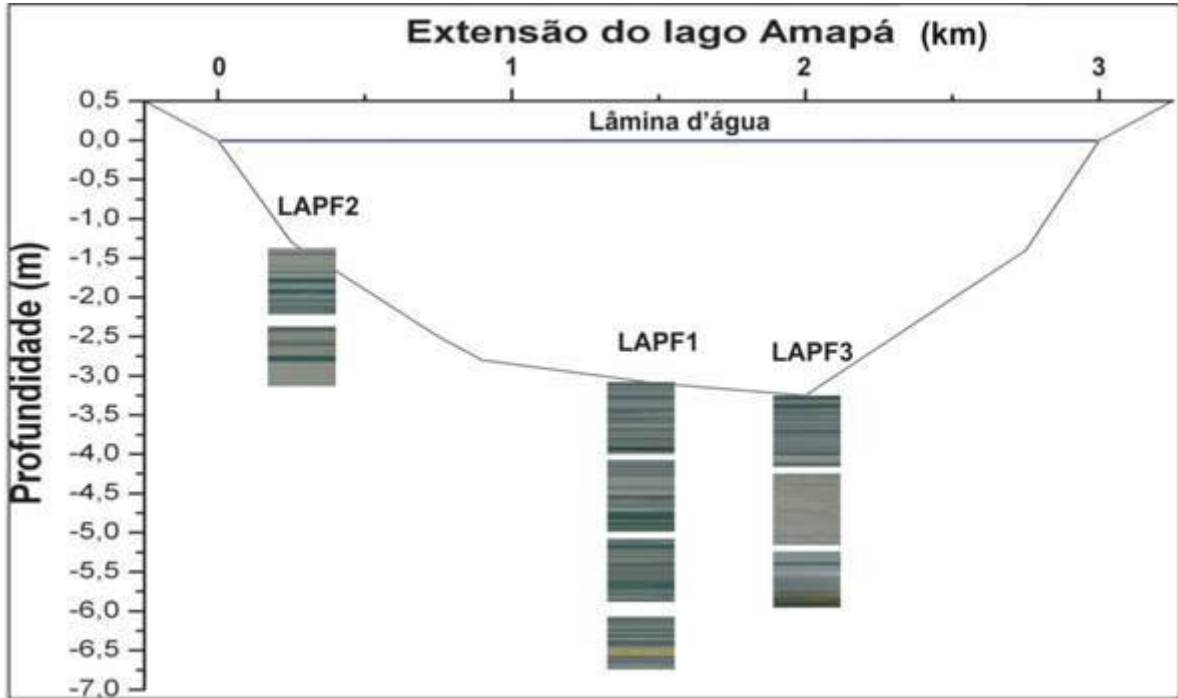
O lago Amapá tem um formato típico em ferradura com extensão aproximada de 3 km em estágio de colmatação (Figura 21), recebendo ainda carga em suspensão do seu rio formador, o rio Acre, principalmente à época das enchentes decenais.



Figura 21 - O lago Amapá e sua típica morfologia em ferradura e localização dos pontos de coleta de sedimento de fundo. Margens direita e esquerda do lago orientadas de acordo com o antigo curso do rio Acre indicado na figura. Imagem modificada do site [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).

A denominação das margens “direita” e “esquerda” foi estabelecida baseando-se no percurso do paleo-rio Acre, antes do isolamento do meandro que formou o lago Amapá (Figura 21).

A lâmina de água chegou a 3,25 m na estação mais profunda, LAPF3, medida em julho de 2005 (Figura 22).



**Figura 22 - Perfil longitudinal do lago Amapá com indicação dos logs dos furos de sondagem nas suas respectivas estações.**

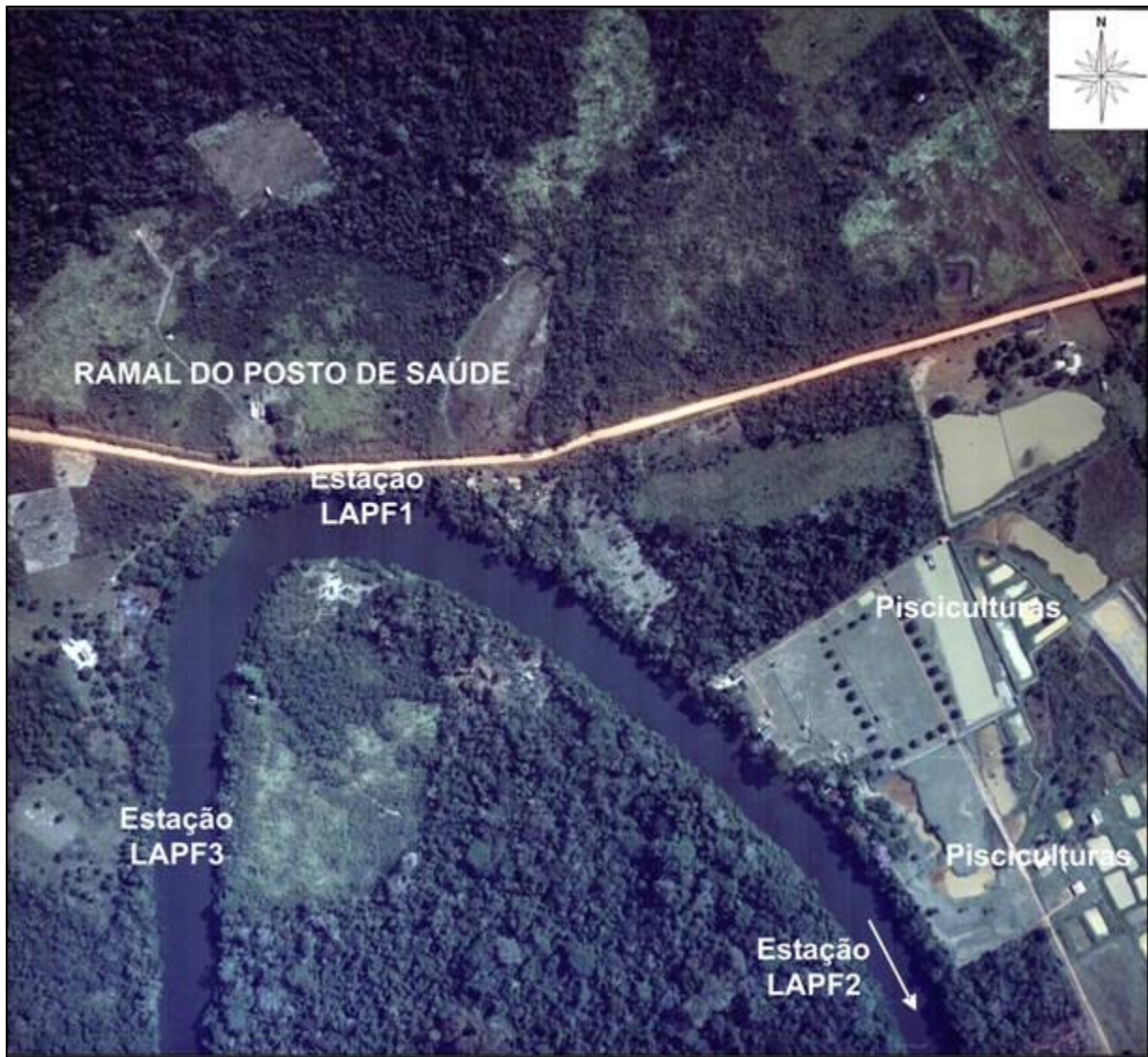
O lago é alimentado, durante os períodos de cheia, pelo braço mais afastado do rio Acre (Figura 23), por onde recebe sedimentos inorgânicos em suspensão. Nos períodos de estiagem, a ligação entre o lago e o rio é interrompida, passando o primeiro a continuar recebendo material apenas dos terrenos que o margeiam, como matéria orgânica de vegetação e pequenos organismos mortos e material inorgânico resultantes da erosão de suas margens.





**Figura 23 - Imagem aérea do lago Amapá. Pode-se visualizar um tanque de piscicultura dentro da localidade P5 (Piscicultura Nordeste), às margens do lago, próximo à estação LAMP2. Ao fundo, um trecho sinuoso do rio Acre. Foto obtida no mês de julho de 2005 (estiagem), por sobrevôo.**

Grande parte do perímetro às margens do lago Amapá é recoberta de mata fechada, mas, afastando-se dessas margens para terra firme, podem ser observadas alterações na paisagem natural como desmatamento devido à ocupação antrópica da área (Figuras 23 e 24).



**Figura 24 - Imagem aérea parcial do lago Amapá mostrando as estações LAPF1 e LAPF3. Modificado de Vectra (2003).**

Pela imagem da figura 24, é possível observar áreas onde se concentram algumas atividades econômicas no ramo de piscicultura - localidade P3 (Piscicultura Amapá) -, a sudeste da estação LAPF1, e muitas áreas já sem vegetação nativa como consequência da ocupação humana.

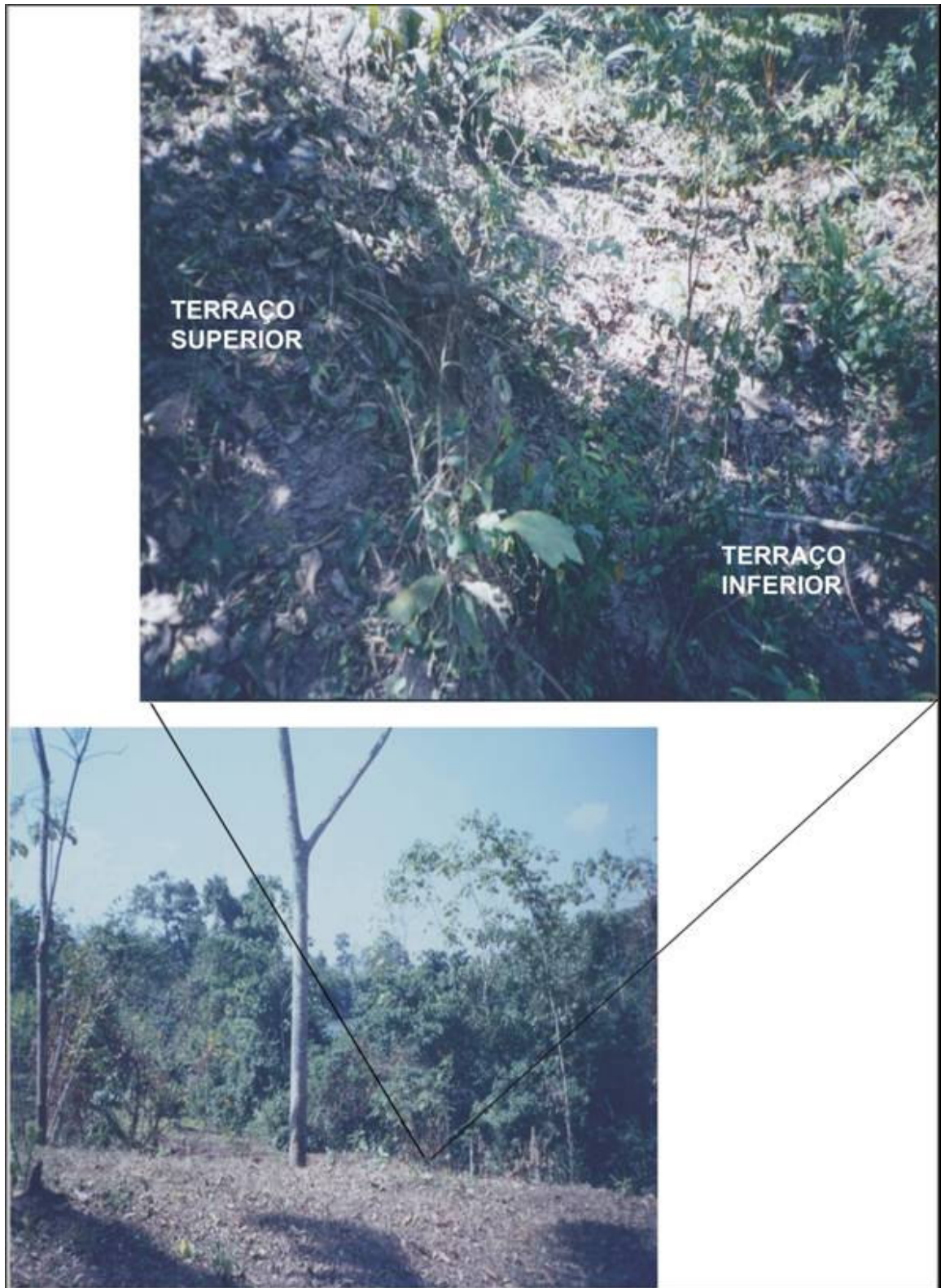


O antigo leito do rio Acre pode ser observado a caminho do Lago Amapá ao longo de alguns trechos da estrada que leva até o lago (Figura 25).



**Figura 25 - Imagem dos terrenos em torno do lago Amapá, sendo possível visualizar trechos do paleo-rio Acre, alguns na forma de ferradura (lagos assoreados). A paisagem à margem direita do rio Acre é predominantemente aluvial holocênica e à margem esquerda é flúvio-lacustre terciária. Modificado do site [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).**

Dentro de algumas propriedades, aos arredores do lago Amapá, pode-se observar o paleo-barranco do rio (Figura 26) o qual é recoberto pela água quando de grandes enchentes do rio Acre. As mais recentes ocorreram em 1978, 1988, 1997 e 2006. Nesse último período de cheia (fevereiro de 2006), a lâmina de água no lago Amapá chegou a cerca de 10,6 m de espessura a altura do furo F1.



**Figura 26 - Imagem de dentro da localidade P2 às margens do lago Amapá, no perímetro entre as estações de coleta LAPF1 e LAPF3, tendo ao fundo o lago. O detalhe, acima, é de um paleobarranco do rio Acre precursor do lago Amapá.**



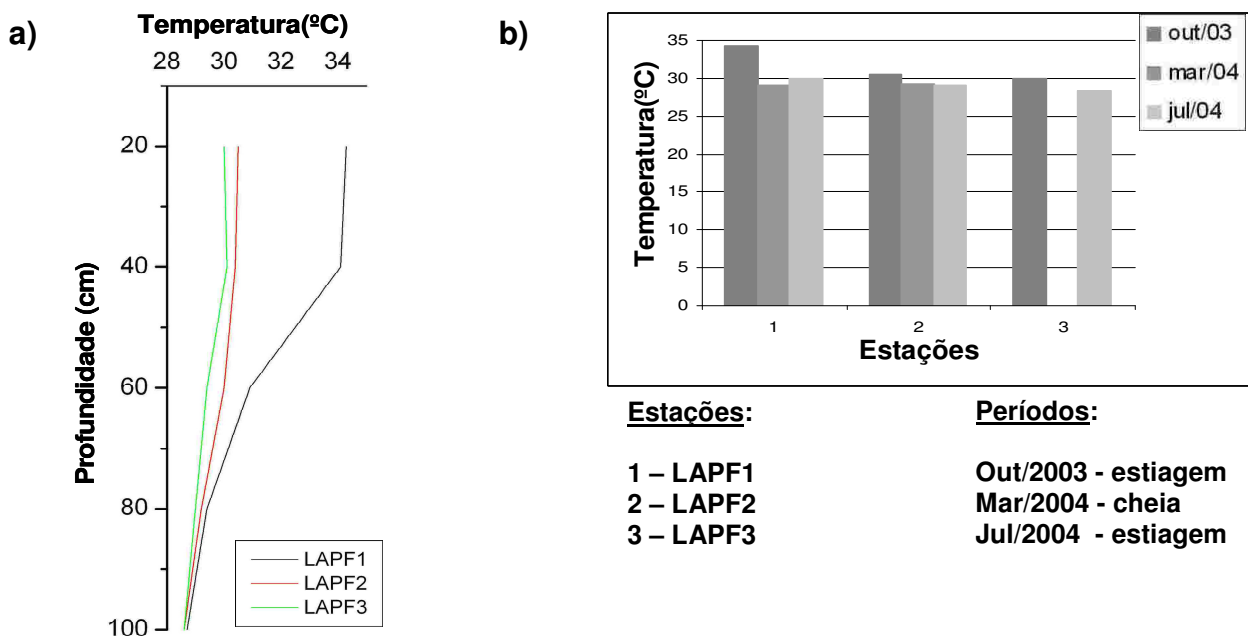


**Figura 27 -** Imagens de troncos de árvores às margens do lago Amapá com marcas do nível da água da penúltima grande enchente do rio Acre que ocorreu em 1997. Fotografia obtida na localidade P3, em julho de 2005.

## 3.2 ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS

### 3.2.1 Temperatura

A temperatura das águas superficiais do lago Amapá variou de 30 a 34,3°C no mês de outubro de 2003, com pouca variação areal e sazonal no período entre 2003 e 2004 (Figura 28). As pequenas diferenças de temperatura observadas entre as estações devem refletir as incidências de luz solar na superfície do lago ao longo do dia, controladas pela cobertura vegetal de suas margens.



**Figura 28 - a) Distribuição da temperatura nas águas do lago Amapá, em profundidade, nas três estações (outubro de 2003 - estiagem); b) Distribuição areal da temperatura no lago entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2004. As medidas mostram variação areal e sazonal.**

Nos primeiros 100 cm de profundidade de lâmina de água, a temperatura se estabiliza, a partir de 85 cm, em torno de 29°C. A maior variação observada foi na estação do furo F1, enquanto que nos furos F2 e F3 as temperaturas são semelhantes (Figura 28).

Na estação LAPF1, a maior temperatura se justifica pelo maior recebimento de luz solar. Essa grande insolação se dá em virtude da posição geográfica favorável em que esta estação se localiza no trecho do lago que está na direção E-W do sol, numa

zona em que a vegetação nas margens direita e esquerda não fornece sombra à lâmina de água e, além disso, já foi removida em parte.

A estação LAPF3, embora próxima a LAPF1, recebe menor incidência de raios solares durante o dia devido ao impedimento provocado pela mata ciliar na margem esquerda pela manhã e na margem direita no fim da tarde. Já na estação LAPF2, a pequena variação de temperatura deve-se, também, à pouca profundidade da lâmina de água.

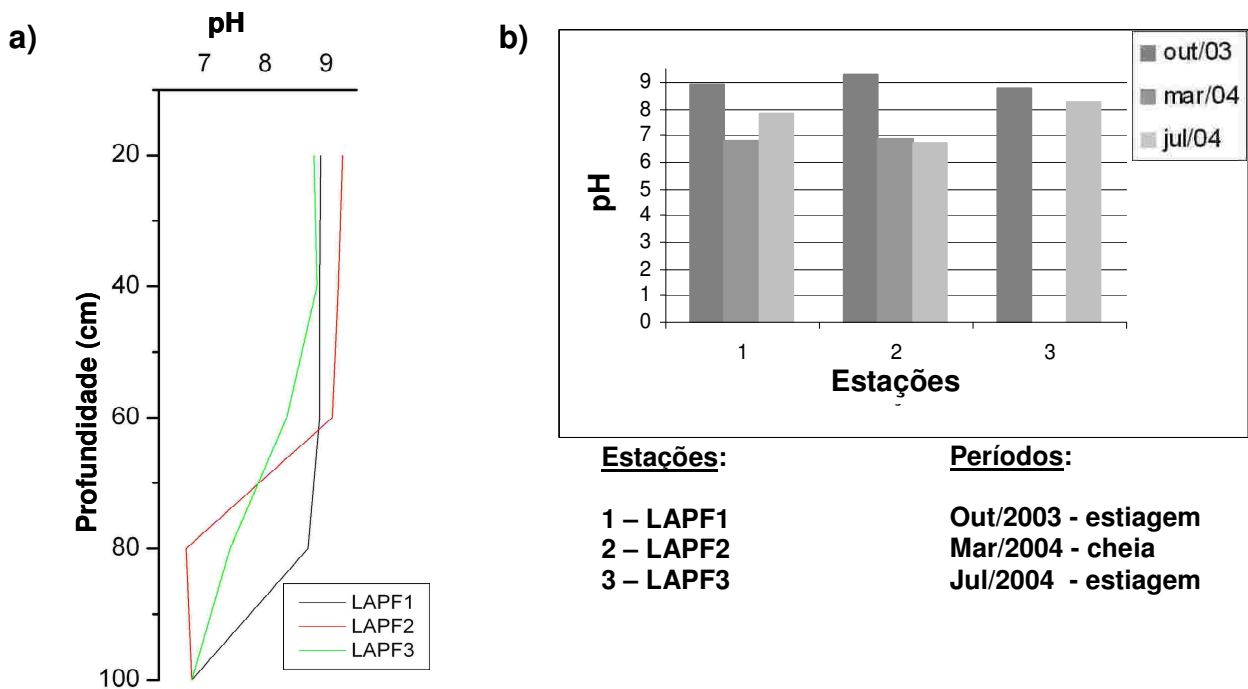
A estação LAPF1 começa a receber os primeiros raios de sol logo no início da manhã. Só depois é que as outras duas estações recebem luz solar diretamente incidente. Durante todo o dia, a estação LAPF1 permanece sob a incidência dos intensos raios solares até o fim da tarde, enquanto as estações LAPF2 e LAPF3 deixam de receber esses raios primeiramente. Levando-se em conta os aspectos abordados, ficam claras as diferenças de comportamento das curvas térmicas observadas no gráfico da figura 28a, com similaridades entre as estações LAPF2 e LAPF3 e disparidade dessas em relação à estação LAPF1.

A ação dos ventos também contribui para o equilíbrio térmico, juntamente com a turbulência provocada pelo aporte de material provindo do rio Acre, mantendo uma estabilidade térmica vertical com pequenas variações. Como a maioria dos lagos amazônicos, o lago Amapá pode ser considerado como polimítico (Almeida, 2000), com circulação de água durante o dia, o ano todo, permitindo homogeneização da temperatura por todo o corpo de água. A distribuição de temperatura no epilímnio, quando este é evidente em lagos estratificados termicamente, pode variar tanto devido à temperatura do ar logo acima da lâmina de água quanto à da camada mais profunda, dependendo da circulação (Davis, 1983).

O lago Amapá, embora raso, apresenta aumento térmico nas camadas de água mais superficiais da estação LAPF1. A elevação da temperatura também pode provocar ventos que amenizam a sensação térmica no local.

### 3.2.2 Potencial Hidrogeniônico - pH

O pH medido nas águas superficiais do lago Amapá, em outubro de 2003, ficou em torno de 9 nas três estações (LAPF1, LAPF2 e LAPF3), diminuindo com a profundidade e tendendo à neutralidade (pH = 7). Esse valor médio (pH = 9) mantém-se estável até, aproximadamente, 60 cm de lâmina de água abaixo. A variação mais brusca foi observada na estação LAPF2 (de 8,7 para 6,7) de 60 a 80 cm de profundidade. Sazonalmente, os valores de pH da superfície chegaram a valores próximos de 9 (básico) no período de estiagem, em outubro de 2003, e não ultrapassaram o valor 7 (pH neutro) no mês de março de 2004 (período chuvoso) (Figura 29).



**Figura 29 - a) Distribuição do pH em profundidade nas três estações, em outubro de 2003 (estiagem); b) Distribuição areal do pH no lago entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2004, As medidas mostram variação areal e sazonal.**

Em algumas horas do dia, durante os períodos de estiagem, pode ser observada uma grande distribuição de algas na superfície do lago. Essas podem estar contribuindo para um aumento na basicidade, uma vez que elas removem  $\text{CO}_2$  da água elevando o seu pH.



No período chuvoso, quando as águas do rio Acre (pH = 7, em março de 2004) invadem o lago Amapá (pH = 8-9), trazendo matéria orgânica e muito material em suspensão, o pH das águas do lago diminui em função do aumento da concentração de íons H<sup>+</sup>. Como, nesse período, há menor incidência de luz solar nas águas, há diminuição na atividade fotossintética das algas, o que implica baixo consumo de CO<sub>2</sub>.

A dissolução de CO<sub>2</sub> em água leva à formação de ácido carbônico conforme a reação:



O ácido, em solução, libera íons H<sup>+</sup> por ionização:



A ionização do ácido aumenta a concentração os íons H<sup>+</sup> em relação aos íons OH<sup>-</sup> liberados na auto-ionização da água conforme as equações (4), (5) e (6), deslocando o equilíbrio dessa última reação para o sentido inverso, diminuindo assim a concentração de íons OH<sup>-</sup> em solução. Isso significa pH mais baixo, favorecendo o meio ácido.



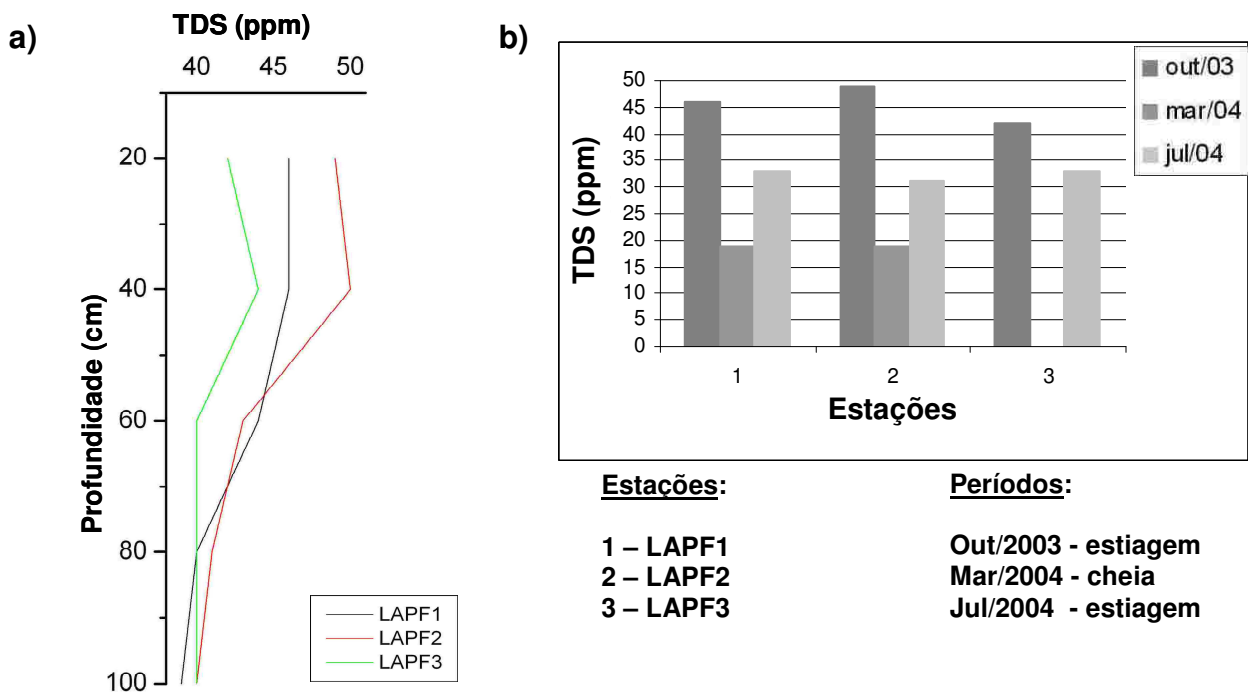
Quando começa o período de estiagem, a atividade fotossintética das algas aumenta em função do aumento da irradiação solar no corpo aquático, ou seja, há aumento no consumo de CO<sub>2</sub> liberado nos processos de respiração dos animais aquáticos. A diminuição da quantidade de CO<sub>2</sub> nas águas do lago Amapá colabora, então, para o aumento do pH.

Os valores de pH medidos no período chuvoso (março de 2004) (Figura 29b) estão na faixa dos encontrados para águas de lagos de diferentes planícies de inundação brasileiras (Amazônica, do Paraná, Moji-Guaçu, por exemplo) que foram registrados no trabalho de limnologia comparativa de Carvalho *et al.* (2001). São

semelhantes, também, aos valores de pH encontrados em lagos de área urbana no entorno da cidade de Boa Vista, em Roraima (de 6,5 a 8,2), estudados por Meneses *et al.* (2005).

### 3.2.3 Sólidos Dissolvidos Totais - TDS

Os valores de TDS encontrados nas águas superficiais do lago Amapá, em outubro de 2003, variaram de 42 a 49 ppm entre as estações LAPF1, LAPF2 e LAPF3. No mês de março de 2004, período de cheia, os valores de TDS baixaram para 18,5 ppm, em média, voltando a se elevar no mês de julho do mesmo ano com média de 32 ppm (Figura 30).



**Figura 30 - a) Distribuição de TDS em profundidade nas três estações, em outubro de 2003 (estiagem); b) Distribuição areal de TDS no lago entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2004. As medidas mostram variação areal e sazonal.**

Esses valores medidos no lago Amapá são bem elevados se comparados aos valores medidos por Meneses *et al.* (2005) em lagos de área urbana no entorno da cidade de Boa Vista em Roraima (2-7 ppm).

No período de estiagem (outubro de 2003), a quantidade de sólidos dissolvidos foi maior na estação LAPF2 (cerca de 51 ppm, em média) e menor na estação LAPF3 (aproximadamente, 43 ppm em média) nos primeiros 40 cm de lâmina d'água (Figura 30a). A partir daí (de 40 a 80 cm), os valores de TDS diminuem, estabilizando em 40 ppm em profundidades maiores que 80 cm.

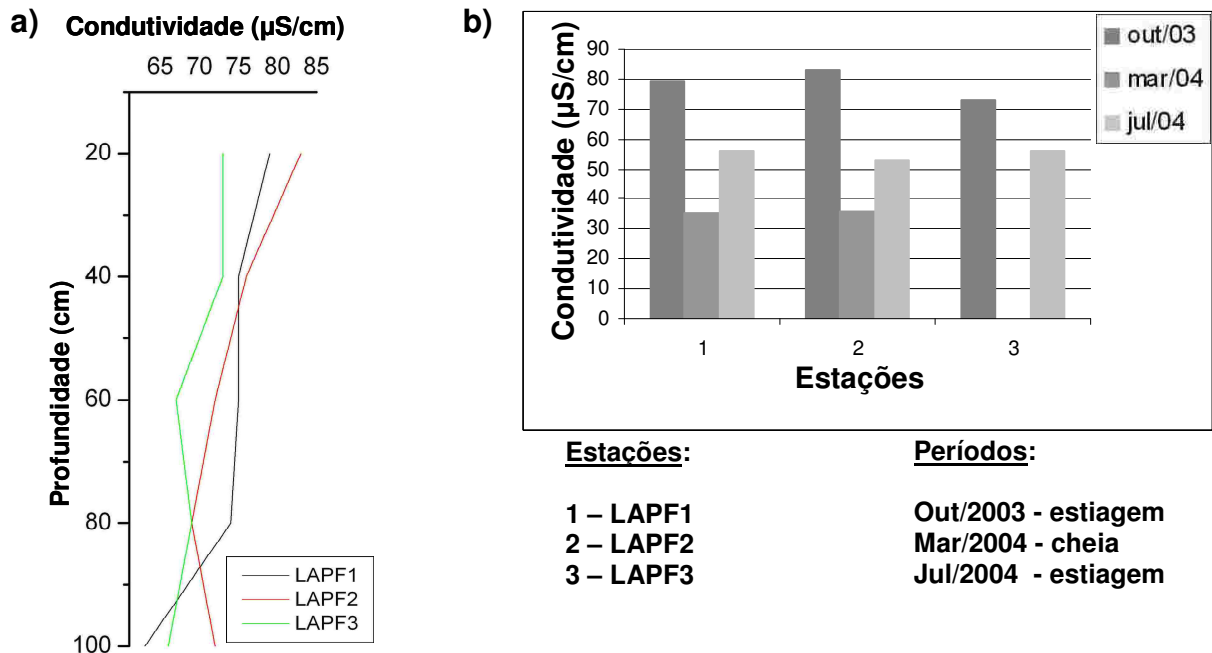
A maior variação na concentração de TDS foi observada de 40 a 60 cm de profundidade na estação LAPF2 com um decréscimo de 7 ppm entre esses pontos de medição.

Durante a estiagem (outubro de 2003), a espessura da lâmina de água é menor em função do menor volume de água no lago. Com isso, a concentração de sólidos dissolvidos aumenta nesse período. Com o início das chuvas na região, o aumento no volume de água de origem pluvial e fluvial contribui para a diluição dos sólidos dissolvidos implicando diminuição da concentração de TDS.

### 3.2.4 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica das águas do lago Amapá é relativamente elevada (Figura 31). O maior valor em águas superficiais foi medido na estação LAPF2 (83  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), durante o período de estiagem em 2003 (Figura 31a), coincidindo com o ponto de maior valor de TDS encontrado. O menor valor foi na estação LAPF3 (73  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), enquanto que na LAPF1, a condutividade medida foi de 79  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os valores de condutividade elétrica nas três estações diminuem com a profundidade para valores próximos de 70  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Os valores médios com variação areal nas águas de superfície ficaram em 78  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (outubro de 2003) e 55  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (julho de 2004), ambos, períodos de estiagem (Figura 31b), sendo comparáveis a valores encontrados em águas de bacias hidrográficas como as do Solimões e Purus, conforme constatado por Costa *et al.* (2003) e Horbe *et al.* (2003).



**Figura 31 - a) Distribuição de condutividade em profundidade nas três estações, em outubro de 2003 (estiagem); b) Distribuição areal de condutividade no lago entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2004. As medidas mostram variação areal e sazonal.**

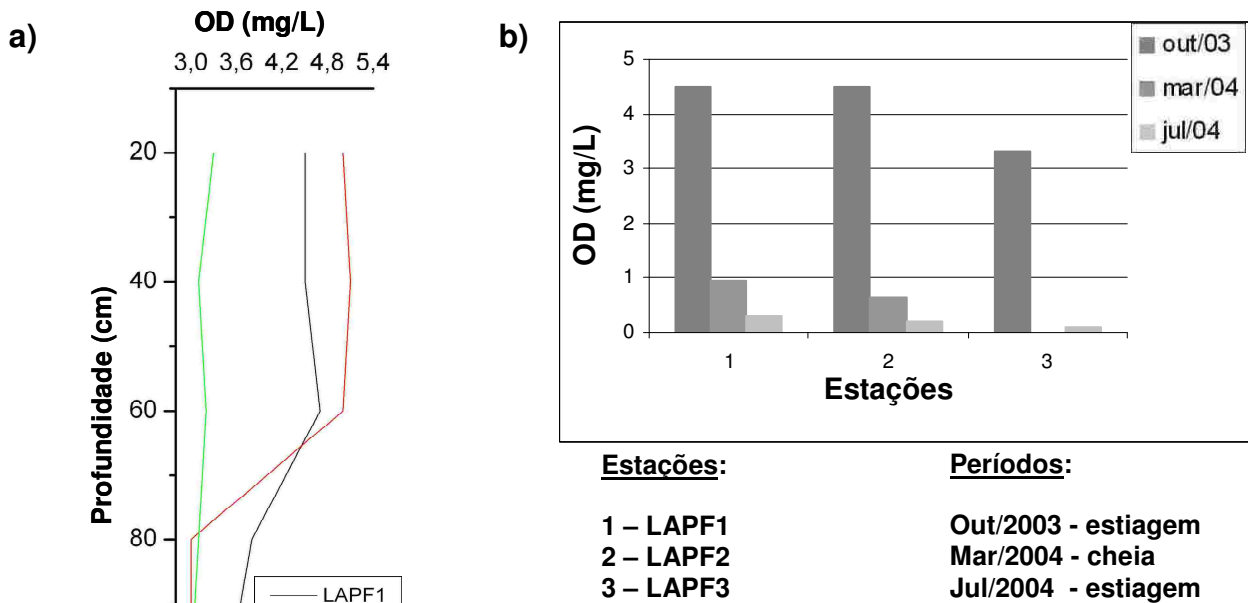
Fittkau<sup>4</sup> *apud* Esteves (1988) constatou que os valores mais altos de condutividade (30-200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) estão na porção oeste da Amazônia, onde se encontra o lago Amapá, em decorrência das altas cargas de material em suspensão.

Esses valores de condutividade elétrica refletem os de TDS encontrados nos mesmos períodos com variações similares entre as estações e sazonalmente. Nos períodos de estiagem, destacam-se os maiores valores de TDS, logo apresentam os maiores de condutividade elétrica. Já nos períodos de cheia, em que os valores de TDS são mais baixos, os de condutividade encontrados são bem menores também.

<sup>4</sup> FITTKAU, E. J. – Ökologische Gliederung des Amazonasgebietes auf geochemischer Grundlage. Minister. Forsch. Geol. Palaönt., H 20/21:35-50, 1971.

### 3.2.5 Oxigênio Dissolvido - OD

As águas superficiais do lago Amapá apresentaram valores de OD que variaram de 3,3 a 5 mg/L, no mês de outubro de 2003 (estiagem) (Figura 32).



**Figura 32 - a) Distribuição de OD em profundidade nas três estações, em outubro de 2003 (estiagem); b) Distribuição areal de OD no lago entre os meses de outubro de 2003 e julho de 2004. As medidas mostram variação areal e sazonal.**

Os valores mais elevados foram medidos nas estações LAPF1 e LAPF2 e se estendem desde a superfície até 60 cm de profundidade (cerca de 4,8 mg/L). Este valor cai para 3 mg/L a 80 cm e se mantém estável até 100 cm de profundidade.

Essa diminuição de OD em profundidade é um fato normal em estudos de lagos podendo ser explicado pela menor incidência de luz.

A própria massa de ar que circula na superfície de água, nesse período, contribui para o aumento de oxigenação do corpo aquático. Como já explicado anteriormente, na estação LAPF1, com temperaturas mais elevadas de águas superficiais, pode haver maior formação de ventos que contribuem também para oxigenação da água. Já na estação LAPF2, a produção primária é maior, com grande concentração de fauna e flora aquática.

Nos períodos de cheia, diminui a incidência de luz solar no lago, reduzindo a atividade fotossintética das algas (item 3.2.2). A decomposição de matéria orgânica submersa e a respiração dos organismos aquáticos contribuem para o aumento no consumo de oxigênio, diminuindo a quantidade desse gás dissolvido nas águas. O oxigênio pode, ainda, participar de reações de oxidação de íons metálicos dissolvidos como Fe e Mn.

Durante as estiagens, com o aumento da atividade fotossintética do fitoplâncton, disponibiliza-se mais oxigênio para o meio aquático aumentando a concentração de OD nas águas.

### 3.2.6 Turbidez, Sólidos Totais Suspensos (STS) e Transparência

#### 3.2.6.1 Estudo Areal e Sazonal

Nos períodos de estiagem (julho de 2004 e 2005), foram registrados valores mais elevados de turbidez na estação do furo F2 (68 UNT em 2004 e 88 UNT em 2005) em relação às outras estações (20 e 22 UNT na do furo F1; 21 e 24 UNT na do furo F3, em julho de 2004 e 2005, respectivamente, em ambas as estações). Os valores de turbidez na estação do furo F2, no período de estiagem, são comparáveis aos valores desse parâmetro no período de cheia (março de 2004) nessa mesma estação e na estação do furo F1.

**Tabela 5 - Valores de turbidez, STS e transparência determinados nas águas do lago Amapá e períodos de realização das medidas.**

Parâmetro	Março/2004 (cheia)		Julho/2004 (estiagem)			Julho/2005 (estiagem)		
	F1	F2	F1	F2	F3	F1	F2	F3
<b>Turbidez (UNT)</b>	60	71	20	68	21	22	88	24
<b>STS (mg/L)</b>	24	33	8	44	12	10	60	13
<b>Transparência (UC)</b>	50	50	96	355	115	123	458	133

As águas do lago Amapá são constantemente utilizadas pelos moradores de seu entorno. De acordo com CONAMA nº. 20 (1986), as águas naturais do Brasil com até 100 UNT podem ser utilizadas para consumo, desde que passem por tratamento convencional em que há remoção das partículas em suspensão, reduzindo o valor de turbidez a até 5 UNT.

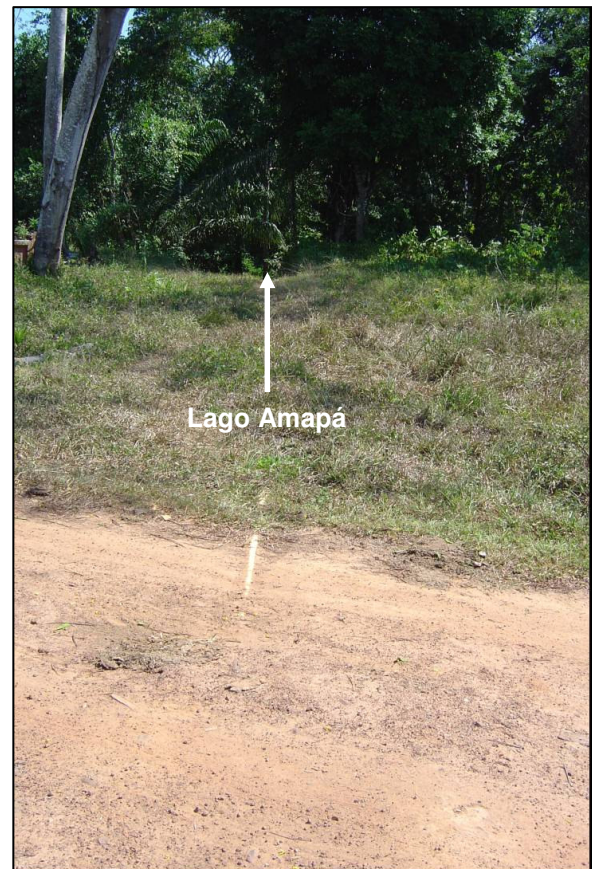
Mesmo durante o período de cheia (março de 2004), o valor da turbidez na estação LAPF2 é maior do que na estação LAPF1. Em julho de 2004, enquanto os valores de turbidez nas estações LAPF1 e LAPF3 estavam em torno de 20 e 21 UNT, respectivamente, na estação LAPF2 este parâmetro chegou a 68 UNT. O valor foi ainda maior (88 UNT) na estação LAPF2 no último período de estiagem estudado (julho de 2005), ao passo que os valores desse parâmetro nas duas outras estações aumentaram em três unidades, no máximo (de 21 para 24 UNT, na estação LAPF3).

Mesmo com valores acima de 60 UNT registrados em março de 2004 e valores bastante elevados encontrados nos períodos de estiagem, as águas do lago Amapá podem ser consideradas como aceitáveis para fins de tratamento para o consumo humano.

Com o início do período chuvoso na região, o nível de água do rio Acre sobe até invadir o lago Amapá com suas águas túrbidas, carreando material em suspensão. À medida que o nível de água do rio desce, diminuem-se as perturbações nas águas do lago e aumenta a sedimentação do suspensato fino que ali entrou.

Como a turbidez se deve à quantidade de STS existente na água, é de se esperar que os valores desses últimos sejam maiores nos períodos de cheia como, de fato, o são (24 e 33 mg/L nas estações LAPF1 e LAPF2, respectivamente). A anomalia nos valores de turbidez da estação LAPF2 reflete os também elevados valores de STS medidos nessa estação (44 mg/L em julho de 2004 e 60 mg/L em 2005). Esses valores de STS e turbidez mais elevados na estação LAPF2 se devem, além do rio Acre, às atividades no ramo de piscicultura que, de certa forma, estão contribuindo com o aporte de carga em suspensão no lago. Foi observada em campo, nas proximidades dessa estação, uma tubulação que passa sob o leito de uma estrada de terra interligando uma propriedade ao lago Amapá (Figura 33). Nessa área, notou-se a acumulação de material rico em argila e com restos de construção civil, formando um banco na margem do lago. O material de construção pode ter sido conduzido intencionalmente através de máquinas para algum tipo de contenção (Figura 34).





**Figura 33 - Possível emissário saindo de uma propriedade (piscicultura) em direção ao lago Amapá. Depois de cruzar a estrada de terra, não é possível visualizar o prolongamento da tubulação. Provavelmente, termina dentro do lago, subterraneamente.**





**Figura 34 - Banco de areia e argila formado por material transportado do entorno do lago e das próprias margens. Esse material foi depositado recentemente e é exposto durante os períodos de estiagem, quando baixa o nível d'água do lago. Imagem de julho de 2005.**

As medidas mais elevadas de alguns parâmetros podem ser explicadas, em parte, por injeção de material sólido de pisciculturas já que a existência de tubulações permite sugerir que esse material foi conduzido para o lago. A re-suspensão de sedimento de fundo do lago nas estações próximas a essas pisciculturas, provavelmente, deve-se à formação de ventos ou à presença de algum emissário.

As maiores transparências foram registradas nos períodos de estiagem com mínimas de 96 UC na estação LAPF1 e 115 UC na estação LAPF3, em julho de 2004. Nesse mesmo período, a transparência das águas do lago chegou a 355 UC na estação LAPF2 e a quase 460 UC em julho de 2005. Os valores de transparência registrados anteriormente no período de cheia (março de 2004) não ultrapassaram 50 UC. Esses resultados também estão relacionados ao regime hidrológico do sistema flúvio-lacustre. Nos períodos de chuva, maiores quantidades de material em suspensão na água condicionam menos transparência. Com a diminuição da espessura da lâmina de água e maior sedimentação do material em suspensão, aumenta a transparência nas águas do lago Amapá. Por isso, os valores de transparência medidos nas águas do lago foram elevados em julho de 2004 (estiagem) (96 UC na estação LAPF1 e 355 UC na LAPF2) e maiores ainda em julho de 2005 (123 UC e 458 UC nas estações LAPF1 e LAPF2, respectivamente).

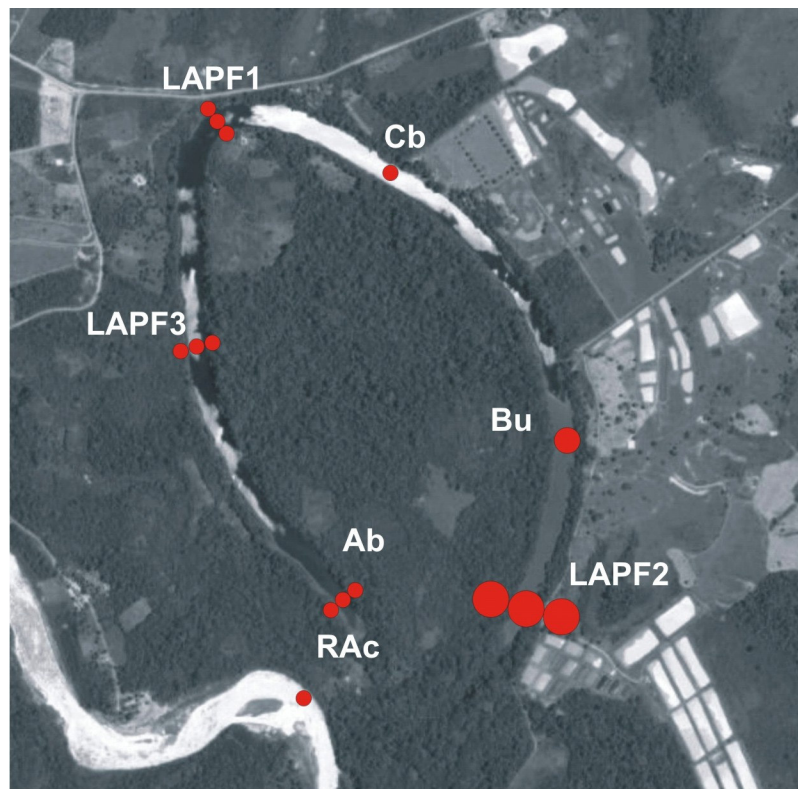
### 3.2.6.2 Estudo Espacial – Superfície e em Profundidade

No último período de estiagem estudado (julho de 2005), os valores de turbidez nas águas superficiais do lago Amapá variaram de 20 a 96 UNT (estações Ab e LAPF2, respectivamente) (Figura 35).

Destacam-se, nesse período, maiores valores de turbidez nas estações Bu e LAPF2 (Figura 35). Como já comentado anteriormente, a turbidez está relacionada à concentração de sólidos totais suspensos, observando-se similar variação deste último parâmetro nas águas superficiais por toda a extensão do lago (Figura 36). Os valores um pouco mais elevados nessas estações justificam-se pela re-suspensão do material recentemente sedimentado no fundo do lago, principalmente na estação LAPF2, onde a lâmina de água é menos espessa.

Como observado, a estação LAPF2 apresenta valores de STS e, conseqüentemente, de turbidez, mais elevados, tanto em águas superficiais quanto em profundidade. Esses valores aumentam de 74 UNT nas águas de superfície da margem esquerda para 88 UNT na região central e chegam a 96 UNT na margem direita. A concentração de STS também aumenta nesse sentido de 46 mg/L até 64 mg/L.

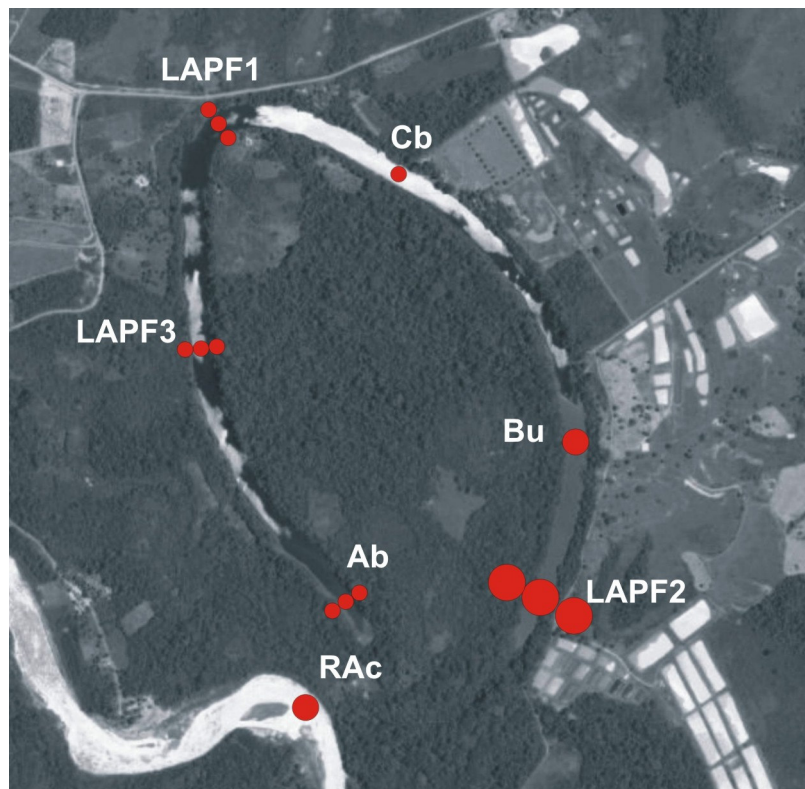
Os valores medidos no rio formador do lago Amapá são ligeiramente superiores aos medidos na maioria das estações e bem inferiores aos medidos na estação LAPF2.



- < 37,48 UNT
- 37,48 – 60,38 UNT
- > 60,38 UNT

**Legenda**

Figura 35 - Distribuição da turbidez nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Três pontos de amostragem em algumas estações representam os resultados pontuais nas margens esquerda e direita e região central (estações Ab, LAPF1, LAPF3 e LAPF2). Imagem-base extraída do site [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).



- < 22,78 mg/L
- 22,78 – 40,46 mg/L
- > 40,46 mg/L

**Legenda**

Figura 36 - Distribuição da STS nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).

### 3.2.7 Composição Iônica das Águas

As concentrações de fluoreto e sulfato estavam abaixo do limite de detecção do aparelho, em sua maioria, não podendo ser avaliadas suas variações neste estudo.

Em regime de alta pluviosidade e predominância de rochas sedimentares, a composição iônica das águas é determinada pela composição das rochas, ou seja, pela geologia da bacia de drenagem (Hutchinson<sup>5</sup> *apud* Esteves, 1988). Em alguns casos, deve-se levar em conta o tipo de influência antrópica à qual um corpo de água está submetido (Esteves, 1988).

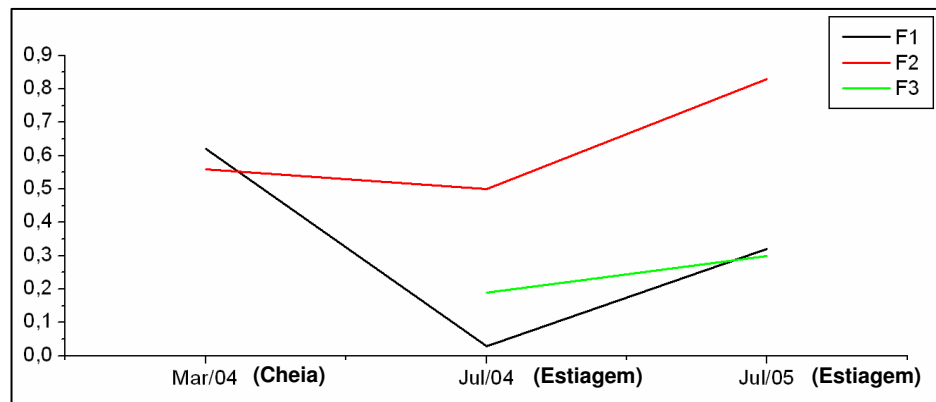
Por estar localizado em perímetro urbano, o lago Amapá recebe carga iônica também devido à ação antrópica.

#### 3.2.7.1 Estudo Areal e Sazonal de Amônia, Nitrito e Nitrato

No período de cheia (março de 2004), a concentração de amônia nas águas superficiais foi de 0,62 ppm na estação LAPF1 e de 0,56 ppm na estação LAPF2 (Figura 37). Em julho desse mesmo ano (período de estiagem), a concentração desse íon caiu para 0,03 ppm na estação LAPF1 e permaneceu quase constante na estação LAPF2 (0,5 ppm). A outra estação incluída no estudo (LAPF3) apresentou concentração de amônia de 0,19 ppm. No mês de julho de 2005 (estiagem), a concentração desse íon em duas estações experimentou acréscimo, em ambas as estações, de aproximadamente 0,3 ppm (0,32 ppm, na estação LAPF1; 0,83 ppm, na LAPF2), enquanto que a estação LAPF3 experimentou ligeiro acréscimo, para 0,3 ppm.

---

<sup>5</sup> HUTCHINSON, G. G. – A treatise on limnology. I Geography, physics and chemistry. New York, John Wiley. 115p, 1957.



**Figura 37 - Concentração de íons amônia (em ppm). As medidas indicam variação areal e sazonal nas estações LAPF1, LAPF2 e LAPF3.**

A diminuição na quantidade de amônia nas águas na estiagem relaciona-se ao fato de que há menos material orgânico sendo carregado para dentro do lago. O aumento dessa concentração nas estações durante o último período de estiagem (julho de 2005) sugere que outras fontes atualmente estão contribuindo para que isso ocorra, de natureza humana ou dos próprios pequenos organismos do lago, que morrem ali mesmo, e seus excrementos que liberam nitrogênio orgânico para o meio aquoso. A diminuição na quantidade de amônia na estação LAPF3 reflete menor ação antrópica nas suas proximidades do que nas outras estações.

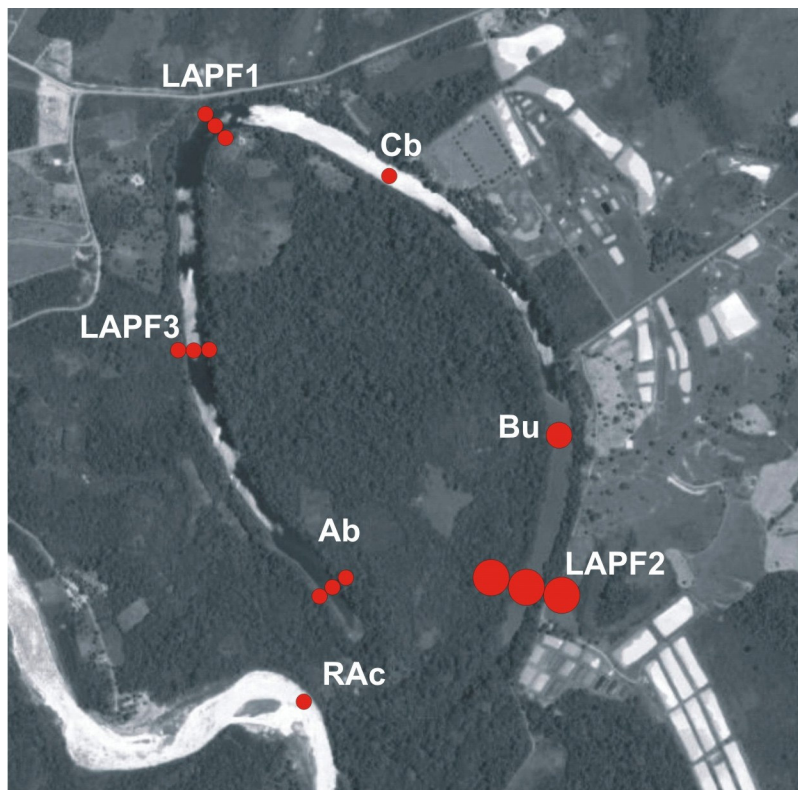
No último período de estiagem amostrado (julho de 2005), a distribuição areal de amônia na superfície das águas do lago Amapá foi bastante homogênea com tendência a aumentar da estação Ab em direção à estação LAPF2 (Figura 38).

Na estação LAPF2, com valores mais elevados, a concentração do íon diminuiu da margem direita para a margem esquerda (de 1,00 ppm para 0,73 ppm), havendo pouca variação com o aumento da profundidade no ponto central (de 0,83 ppm para 0,75 ppm). Nas outras estações (Ab, LAPF3 e LAPF1) localizadas dentro do lago, a concentração do íon permaneceu abaixo de 0,45 ppm com pouca variação em profundidade em algumas estações. A estação RAc, localizada no rio Acre, também experimentou um valor mais baixo, analisado apenas na superfície.

Apesar de os dados correspondentes às concentrações de íons nitrito e, principalmente, nitrato serem insuficientes para avaliação areal, os poucos obtidos sobre a concentração do primeiro mostram que as estações com mais baixas concentrações de amônia apresentam concentrações um pouco mais elevadas de

nitrito. Os valores desse íon variaram de 0,001 a 0,006 ppm, bem abaixo do valor limite estabelecido pelo CONAMA nº. 20 (1986) em águas destinadas ao consumo humano que é de 1 ppm. Essas concentrações foram mais elevadas nas estações Ab, LAPF1 e LAPF3, chegando a 0,006 na primeira. Na estação LAPF2, a concentração de nitrito foi muito baixa, não podendo ser detectada em águas de superfície, bem abaixo de 0,006 ppm da estação Ab (Figura 39). Esse baixo valor encontrado na estação do furo F2 pode ser explicado por uma maior reciclagem de nitrogênio ( $\text{NO}_2^-$ ) nesse ambiente que mostra uma grande recarga de amônia por fontes já mencionadas. Na estação Ab, o processo de nitrificação do nitrito deve ser bem mais baixo, elevando a concentração desse íon em relação às outras estações.

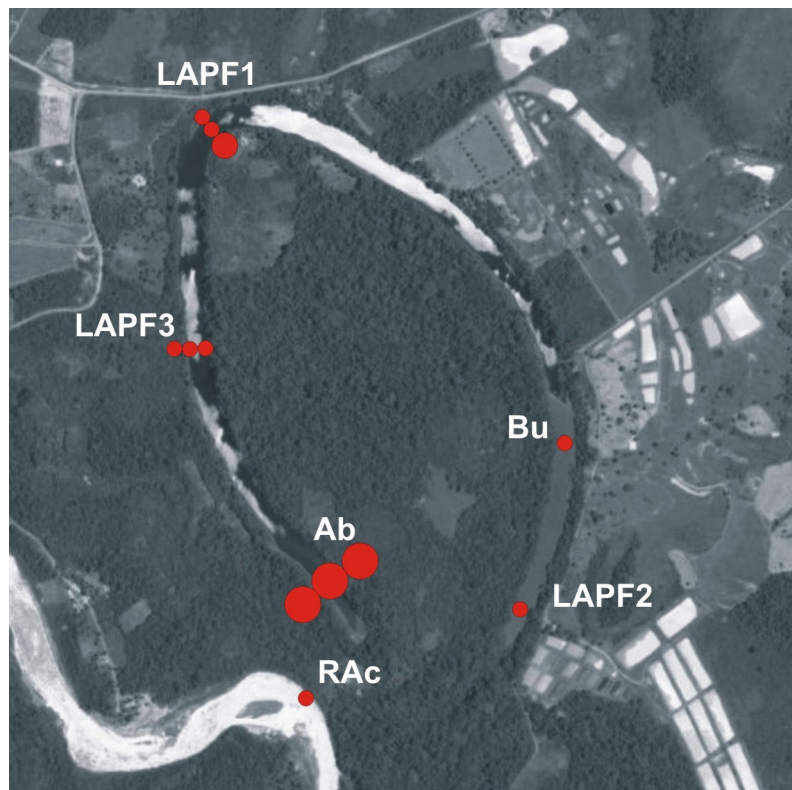




**Legenda**

- < 0,45 ppm
- 0,45 – 0,65 ppm
- > 0,65 ppm

Figura 38 - Distribuição de íons amônia nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).



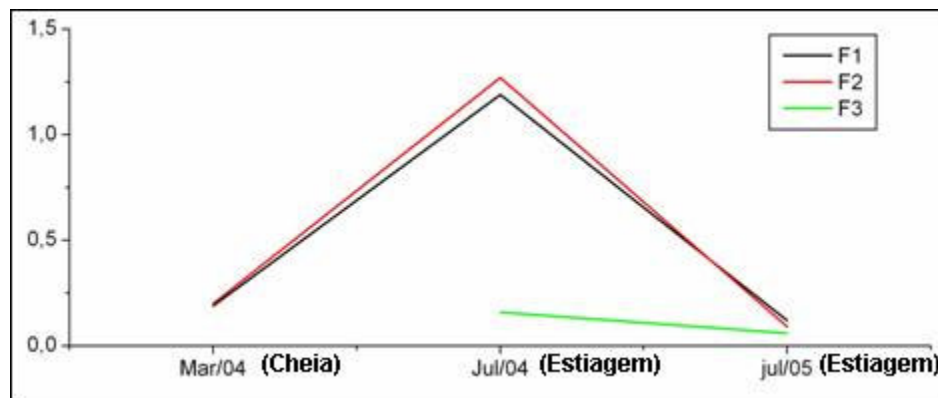
- < 0,0026 ppm
- 0,0026 – 0,0045 ppm
- > 0,0045 ppm

Figura 39 - Distribuição de íons nitrito nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).

### 3.2.7.2 Estudo Areal e Sazonal de Fosfato

Em março de 2004 (período de cheia) a concentração de fosfato nas águas superficiais foi de 0,19 ppm na estação LAPF1 e 0,2 ppm na estação LAPF2 (Figura 40). No período de estiagem do mesmo ano (julho), a concentração aumentou para 1,19 ppm na estação LAPF1, para 1,27 ppm na estação LAPF2 e foi medido 0,16 ppm na estação LAPF3.

No período de estiagem do ano seguinte (julho de 2005), a concentração de fosfato caiu para 0,12 ppm na estação LAPF1, 0,09 ppm na LAPF2 e 0,06 na LAPF3.



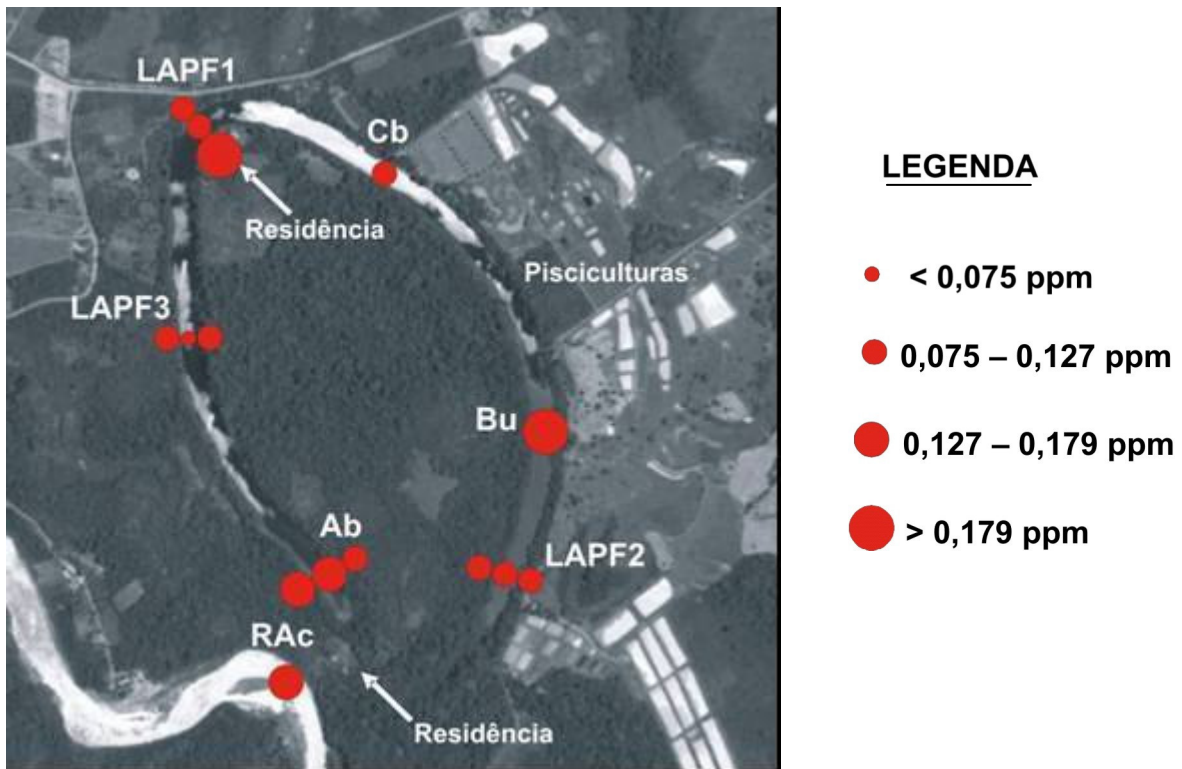
**Figura 40 - Concentração de íons fosfato (em ppm). As medidas indicam variação areal e sazonal nas estações LAPF1, LAPF2 e LAPF3.**

Essas concentrações de fosfato são comparáveis às encontradas para fósforo total no estudo comparativo de Carvalho *et al.* (2001) em ambientes lacustres na planície de inundação Amazônica e são mais elevados que o limite máximo permitido pelo CONAMA nº. 20 (1986) para águas destinadas a tratamento para consumo humano (0,025 ppm). Os valores altos de P medidos em julho de 2004 podem estar refletindo aporte das pisciculturas. Novas medidas deveriam ser feitas para confirmar a possibilidade de erro analítico ou mesmo de aporte antrópico.

No estudo de distribuição de fosfato nas águas do lago Amapá, no período de estiagem (julho de 2005) (Figura 41), observou-se concentração ligeiramente mais elevada nas estações LAPF1, tanto em superfície (máximo de 0,18 ppm) quanto em profundidade (máximo de 0,26 ppm), e também nas estações Bu, Ab e RAc (no rio



Acre). Essas estações estão localizadas em áreas onde existem residências fixas (com lavagem de roupas em suas águas) e pisciculturas.



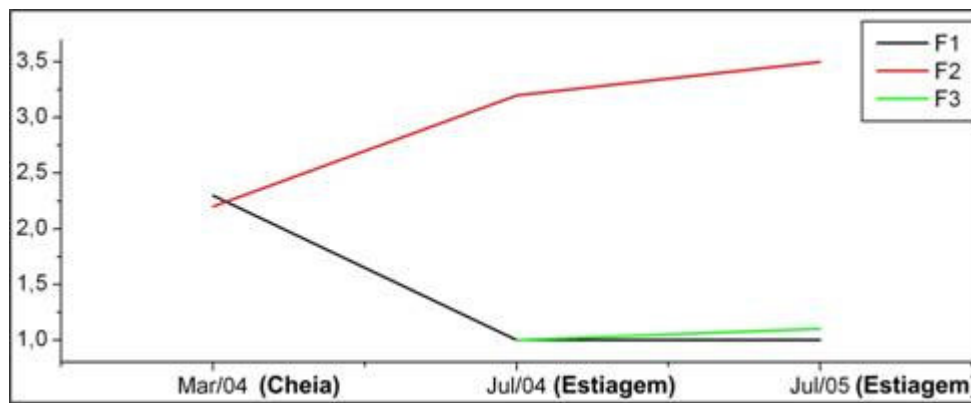
**Figura 41 - Distribuição de íons fosfato nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).**

A presença de íons fosfato em águas naturais como as do lago Amapá se explica pelo material orgânico que sofre degradação, liberando o íon para o meio aquoso.

As concentrações mais elevadas medidas em julho de 2004 (período de estiagem) podem ser explicadas por aumento na deposição de material orgânico, como excrementos humanos e de animais (pássaros, peixes, suínos e bovinos) dentro do lago, além de aporte das pisciculturas. A área de terra firme entre a estação Ab (no lago Amapá) e a estação RAc (no rio Acre) sofre ocupação antrópica bem como a região em torno da estação LAPF1, com residências fixas onde os moradores lavam suas roupas. A influência antrópica nas proximidades da estação Bu é bem mais intensa e agressiva para com o lago devido à emissão de material, por vezes grosseiro, proveniente das pisciculturas estabelecidas no local.

### 3.2.7.3 Estudo Areal e Sazonal de Cloreto

A concentração de íons cloreto medida nas águas superficiais do lago Amapá, em março de 2004 (período de cheia) quase não variou entre as duas estações (2,3 ppm na estação LAPF1 e 2,2 ppm na LAPF2) (Figura 42). Nos períodos de estiagem, a concentração de cloreto baixou para 1,0 ppm na estação LAPF1 – mesmo valor medido na estação LAPF3. Na estação LAPF2, a concentração de cloreto aumentou para 3,2 ppm em julho de 2004 e 3,5 ppm em julho de 2005 (períodos de estiagem).



**Figura 42 - Concentração de íons cloreto (em ppm). As medidas indicam variação areal e sazonal nas estações LAPF1, LAPF2 e LAPF3.**

Esses valores são comparáveis aos de lagos de águas brancas e mistas no Estado do Amazonas (2,1 ppm, no lago Castanho; 2,0 ppm no lago Calado) e do rio Solimões (3,1 ppm) estudados por Furch<sup>6</sup> *apud* Esteves (1988).

A média da concentração de íons cloreto em rios sul-americanos é de 4,9 ppm (Livingstone<sup>7</sup> *apud* Esteves 1988), destacando-se os rios Solimões e Purus (de águas brancas) com média de 4,32 ppm observada por Horbe *et al.* (2003).

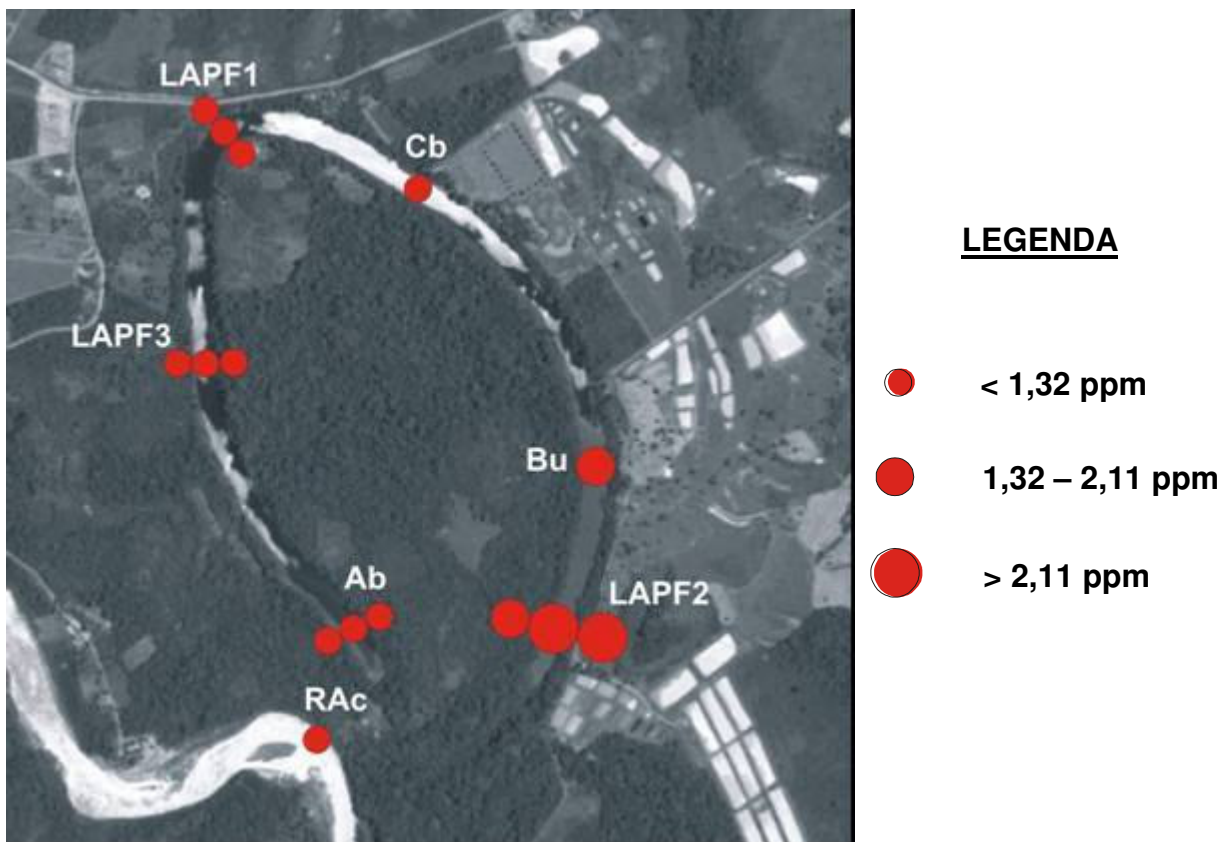
<sup>6</sup> FURCH, K. – Water chemistry of the Amazon: the distribution of chemical among freshwaters. In SIOLI, ed. *The Amazon*. Limnology and Landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. The Hague, Dr. W. Junk. P. 167-199, 1984.

<sup>7</sup> LIVINGSTONE, D. A. – Chemical composition of rivers and lakes. U. S. Geol. Surv., Prof. Paper (440): G.1-64, 1963.

Embora se destaquem maiores concentrações de íons cloreto na estação LAPF2, esses valores estão condizentes com os determinados para ambientes de água doce, apresentando-se centenas de vezes mais baixos do que o permitido pela Resolução do CONAMA nº. 20 (1986) (250 ppm de cloro).

Vale ressaltar a precipitação de possível sal de K e Cl em amostra de sedimento de fundo observado em imagem de MEV, provavelmente formado por ocasião da secagem da amostra a temperatura ambiente durante sua preparação para análise.

No período de estiagem (julho de 2005), a concentração de cloreto foi maior nas estações LAPF2 e Bu, chegando a 3,5 ppm na primeira (Figura 43). As outras estações apresentaram valores mais baixos comparáveis ao da estação RAc, no rio Acre, que foi de 1,3 ppm.



**Figura 43 - Distribuição de íons cloreto nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).**

Do ponto de vista areal, os valores mais altos estão na área de influência de piscicultura (estação Bu) e na estação LAPF2. Nessas estações, há grande presença

de pássaros que encontram ali muitos nutrientes disponibilizados pelos efluentes das propriedades em seu entorno. O cloro faz parte da constituição dos sais incluídos na dieta de criação de peixes e bovinos, por exemplo, que fazem parte do cenário do entorno do lago.

#### 3.2.7.4 Estudo Areal e Sazonal de Brometo

Em julho de 2004 (estiagem), a concentração de íons brometo foi de 0,02 ppm na estação LAPF1, de 0,01 ppm na LAPF3 e 0,27 ppm na LAPF2. Em julho de 2005 (estiagem), a estação LAPF1 experimentou aumento na concentração desse íon para 0,35 ppm e a estação LAPF3 para 0,15 ppm, enquanto que na estação LAPF2 a concentração baixou para 0,23 ppm (Figura 44).

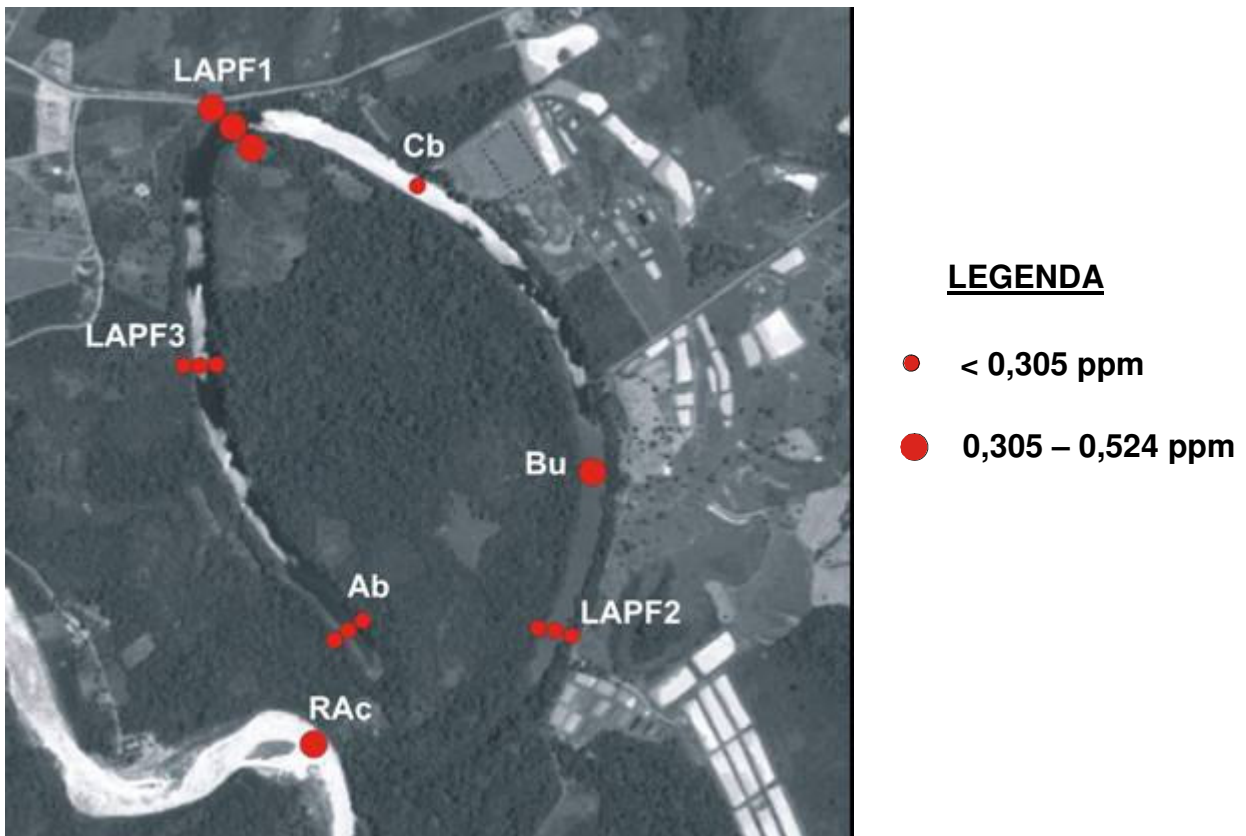


Figura 44 - Distribuição de íons brometo nas águas do lago Amapá (0-0,1m de profundidade) em julho de 2005. Imagem-base extraída do site [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).

Durante o último período de estiagem estudado (julho de 2005), as variações areais mostram que os valores mais elevados do íon brometo foram medidos na estação do furo F1 e próximo à estação Bu e são da mesma ordem de grandeza do rio Acre (estação RAc) (Figura 44).

Observou-se ligeiro aumento de brometo com a profundidade: de 0,11 para 0,16 ppm na estação Ab; de 0,15 para 0,28 ppm na LAPF3; de 0,35 para 0,66 ppm na LAPF1 (chegando a 1,03 ppm a 1,55 m de profundidade); e de 0,33 para 0,35 ppm na LAPF2. A concentração desse íon no rio Acre (estação RAc) ficou em 0,33 ppm medido apenas nas águas superficiais.

### **3.2.8 Considerações sobre os Parâmetros Físico-Químicos das Águas**

O que se pode concluir a respeito do comportamento dos parâmetros físico-químicos das águas do lago Amapá, abordados neste estudo, é que existe forte correlação entre a ação antrópica e as modificações ambientais nas áreas do entorno do lago. As áreas onde se concentram as atividades econômicas de pisciculturas (estações Bu e LAPF2) são as que mais apresentam alteração - valores mais elevados - em parâmetros como turbidez, STS, amônia, (fosfato) e cloreto. Outras estações (LAPF1, LAPF3 e Ab) com altas concentrações de fosfato, principalmente, também refletem a ocupação antrópica.

É visível a diferenciação na paisagem em uma das cabeceiras do lago - nas proximidades da estação LAPF2 - que está em estágio mais avançado de colmatação. O aporte de nutrientes no local é intenso. Durante as cheias, as águas do rio Acre entram no lago Amapá por essa cabeceira. Outro fator que contribui para aumento de carga iônica são as pisciculturas. Diante de um ambiente rico em nutrientes - eutrófico - é favorecido o "*bloom*" (desenvolvimento em grande quantidade) de algumas espécies de algas. Peixes e pequenas aves também encontram no local excelente fonte nutricional e participam do processo de reciclagem desses nutrientes enriquecendo mais ainda o meio com produtos de seu próprio metabolismo. Associado a isso, o aporte de sedimento mais grosseiro do que o material em suspensão carregado pelo rio Acre contribui para o assoreamento do lago. Assim, o processo de eutrofização do lago

Amapá progride com maior velocidade nessa extremidade do que em outras estações (LAPF1, LAPF3, Ab, por exemplo).

### 3.2.9 Concentrações de Metais nas Águas

Dos elementos químicos analisados referentes às amostras coletadas no período de cheia (março de 2004) (Tabela 4), destacam-se as concentrações mais altas de Na, Mg, K e Fe com mesma ordem de grandeza tanto no lago Amapá quanto no rio Acre, além de Al e Mn (Tabela 6).

**Tabela 6 - Resultados de análise química das águas do lago Amapá e do rio Acre, comparados com dados encontrados em lago e rios das águas brancas. Valores em ppm.**

Elemento Analisado	LAPF1	LAPF2	Rio Acre	Lago Jacaretinga <sup>a</sup>	Rios Solimões e Purus <sup>b</sup>	CONAMA
Na	2,031	2,181	1,8421	2,5	0,86	-
Mg	1,323	1,391	1,4729	1,4	1,12	-
K	1,240	1,428	-	1,4	0,47	-
Fe	1,075	0,933	0,591	0,123	0,10	5,0
Mn	0,256	0,256	0,0499	0,003	< 0,02	0,5
Al	0,207	0,116	0,3487	0,020	0,06	0,1
Ba	0,0529	0,0483	0,058	0,0217	0,01	1,0
Sr	0,0322	0,0300	0,0361	0,0397	9,20	-
Rb	0,0029	0,0030	0,0022	-	-	-
Li	0,0024	0,0026	0,0025	-	-	2,5
Hg	0,0059	0,0055	0,011	-	-	0,002
As	0,0036	0,0055	0,0027	-	0,04	0,05
Cu	0,0036	0,0014	0,0071	0,0016	-	0,5
Cd	0,0029	0,0005	0,0002	-	-	0,01
I	0,0015	0,0015	0,0084	-	-	-
Pb	0,0006	0,0003	0,001	-	0,16	0,05
Zn	< 0,002	< 0,002	0,6689	0,0022	< 0,01	5,0
Se	< 0,001	< 0,001	0,0612	-	0,15	0,01
Cs	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	-	-	-
Ce	0,0004	0,0004	0,0005	-	-	-
U	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	0,02
Sn	-	-	-	-	-	2,0
Sb	< 0,0003	< 0,0003	0,0004	-	-	-
B	< 0,001	< 0,001	0,0215	-	0,01	0,75

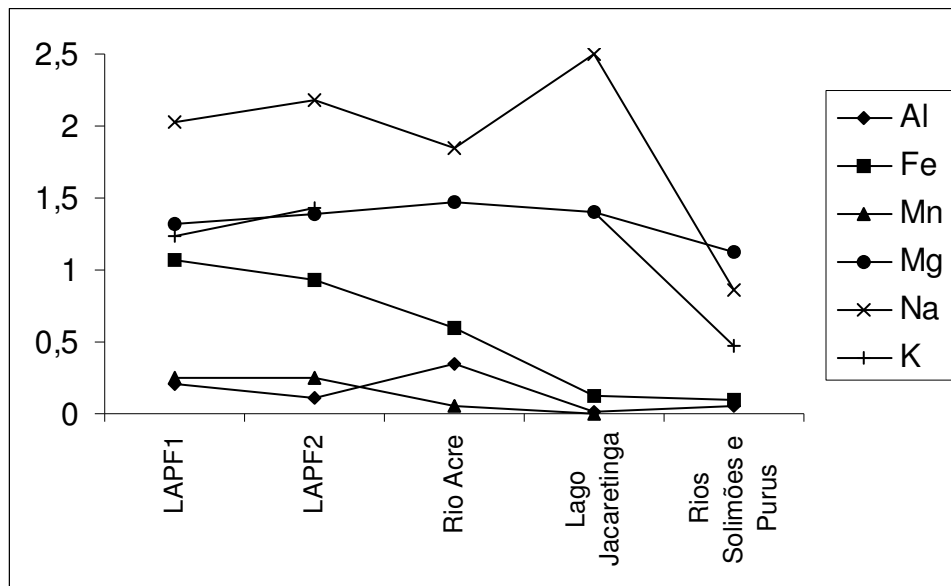
<sup>a</sup> Furch<sup>8</sup> *apud* Esteves, 1988.

<sup>b</sup> Horbe *et al.*, 2003.

<sup>8</sup> FURCH, K. – *op. cit.*

Dos elementos mais abundantes analisados nas águas, o Na é o que está em maior concentração (em torno de 2 ppm), tanto nas estações LAPF1 e LAPF2, dentro do lago Amapá, quanto nas águas do rio Acre e do lago Jacaretinga (no Amazonas) estudado por Furch<sup>9</sup> *apud* Esteves (1988), todos de águas brancas (Figura 45). Comparados com os dados de Horbe *et al.* (2003), a concentração de sódio nas águas dos rios Solimões e Purus no Estado do Amazonas é bem mais baixa (em média, 0,86 ppm).

Para o segundo elemento de maior concentração analisado, o Mg, a variação dessa foi mínima, estando na mesma ordem de grandeza nas águas do lago Amapá e do rio Acre (Figura 45). São valores comparáveis aos das águas do lago Jacaretinga e rios Solimões e Purus - cerca de 1,4 ppm. As concentrações de K são da mesma ordem de grandeza do Mg nas águas do lago do presente estudo.



**Figura 45 - Elementos maiores nas águas do lago Amapá e rio Acre comparados com lago Jacaretinga e rios Solimões e Purus, de águas brancas.**

<sup>9</sup> FURCH, K. – *op. cit.*

A concentração de Fe foi maior nas estações LAPF1 e LAPF2 (1 ppm, aproximadamente), o dobro do rio Acre. Esses valores são mais elevados do que os encontrados por Furch<sup>10</sup> *apud* Esteves (1988) no lago Jacaretinga e por Horbe *et al.* (2003) nos rios Solimões e Purus. A concentração de Fe nas águas do lago Amapá estão dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA (5 ppm) aceitáveis para fins de tratamento e posterior consumo humano.

Quanto ao Al e Mn, as concentrações de ambos estavam na mesma ordem de grandeza no lago Amapá (0,207 ppm de Al na estação LAPF1 e 0,116 ppm de Al na LAPF2; e 0,256 ppm de Mn em ambas as estações). O rio Acre concentrou mais Al (0,3487 ppm) e muito menos Mn (0,0499 ppm). Embora mais baixa que no rio Acre, a concentração de Al nas águas do lago Amapá apresentou-se bem mais elevada do que as encontradas por Horbe *et al.* (2003) nos rios Solimões e Purus (média de 0,06 ppm) e por Furch<sup>11</sup> *apud* Esteves (1988) no lago Jacaretinga (0,02 ppm). A concentração de Al nas águas do lago Amapá apresentou-se ainda mais elevada do que em lagos de águas pretas (<0,001 ppm) segundo Horbe *et al.* (2003). A concentração de Al tanto nas águas do lago Amapá quanto nas do rio Acre estão acima do limite permitido pelo CONAMA nº. 20 (1986) para águas naturais destinadas ao consumo humano que é de 0,1 ppm.

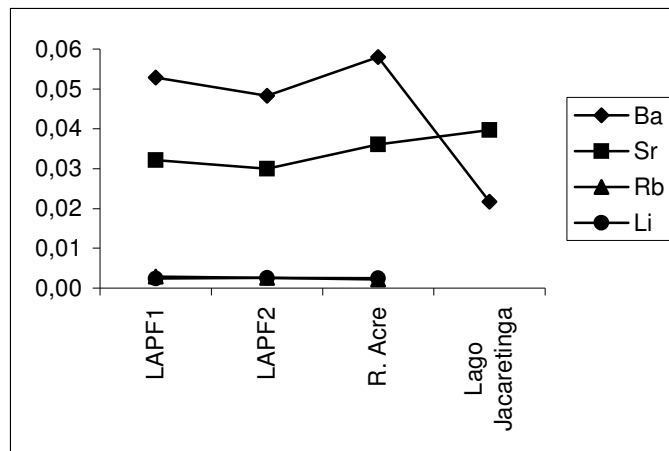
Bário, Sr, Rb e Li encontram-se em concentrações mais baixas que os elementos maiores analisados (Al, Fe, Na, K, Mg) e estão na mesma ordem de grandeza nas estações dentro do lago Amapá e rio Acre (Figura 46).

---

<sup>10</sup> FURCH, K. – *op. cit.*

<sup>11</sup> FURCH, K. – *idem.*





**Figura 46 - Elementos-traço nas águas do lago Amapá e rio Acre comparados com lago Jacaretinga e rios Solimões e Purus, de águas brancas.**

Desses elementos analisados, o Ba apresenta maior concentração chegando a 0,058 ppm no rio Acre, 0,0529 ppm na estação LAMP1 e 0,0483 ppm na LAMP2. São valores cerca de cinco vezes maiores do que os encontrados nos rios Solimões e Purus e estão bem abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA nº. 20 (1986), que é de 1 ppm.

O Sr é o segundo mais abundante, na ordem de 0,03 ppm nas águas do lago Amapá e do rio Acre, sendo comparável com a concentração do lago Jacaretinga.

Metais pesados como Pb, Cu, (Zn), Cd e Hg estão em concentrações abaixo de 0,01 ppm, sendo Hg e Cu os mais abundantes. As concentrações desses dois elementos variam significativamente entre as estações do lago Amapá e do rio Acre, estando pelo menos duas vezes mais concentrados nas águas do rio. As concentrações de Hg (0,0059 ppm na estação LAMP1 e 0,0055 ppm na LAMP2) estão acima do limite permitido pela Resolução do CONAMA nº. 20 (1986) para águas naturais destinadas ao consumo humano que é de 0,002 ppm.

Zinco e Pb são praticamente ausentes nas águas desse estudo, ou em concentrações muito baixas. Boro, Se e Sb estão em concentrações abaixo de 0,001 ppm e As e I um pouco acima desse valor. Os três elementos (B, Se e Sb) estão praticamente ausentes nas águas do lago Amapá e presentes nas do rio Acre. A concentração de As está a níveis aceitáveis pelo CONAMA (0,05 ppm) com grandes

variações entre as estações no lago (0,0036 ppm na estação LAPF1 e 0,0055 ppm na LAPF2) e no rio Acre (0,0027 ppm). Iodo concentra-se um pouco mais no rio (0,0084 ppm) enquanto que no lago Amapá chega a 0,0015 ppm. Cério, Cs e U estão em concentrações extremamente baixas.

As concentrações mais elevadas de alguns elementos nas águas do lago Amapá podem ser justificadas pela adsorção desses em argilas (esmectita) e material orgânico que são carregados pelo rio Acre como material em suspensão e, ao entrarem no lago, são liberados em solução. A quantidade de material em suspensão, muito maior em rios de águas brancas, explica o fato de maior concentração de determinados elementos nesses rios em relação aos de águas pretas.

A forte similaridade de concentração da maioria dos elementos analisados tanto no lago Amapá como no rio Acre, mostra que o rio é ainda de fato o seu alimentador principal, ou que os sedimentos do entorno do lago preservam o quimismo do rio.

### 3.3 PERFIL LITOLÓGICO DOS SEDIMENTOS DE FUNDO

A seqüência sedimentar sondada no fundo do lago Amapá é caracterizada por delgadas camadas cinza-claras e cinza-escuras, alternadas, conferindo ao sedimento um claro “bandamento” ou listramento (Figura 47).

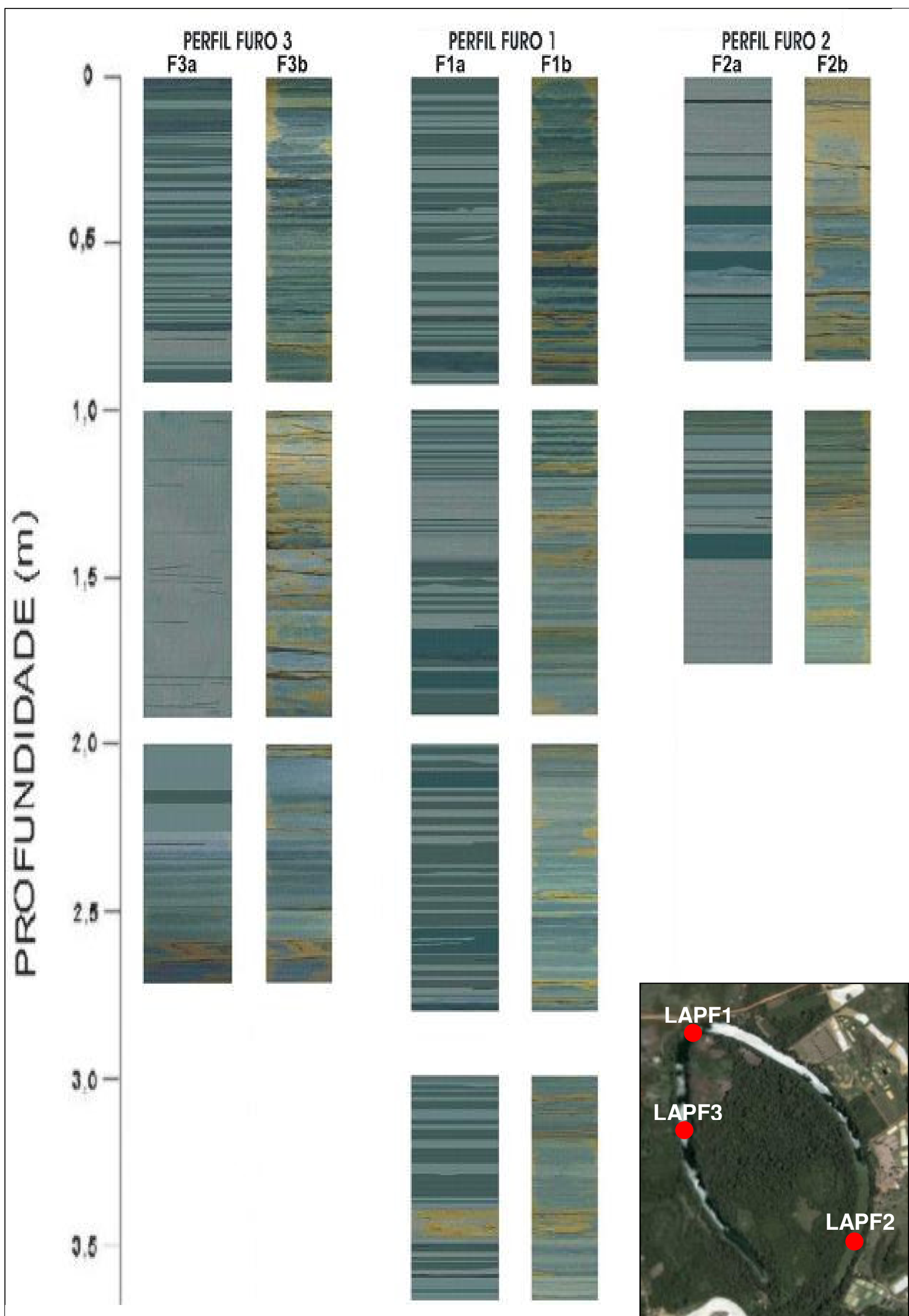


Figura 47 - Perfil litológico dos furos nas estações LAPF1, LAPF2 e LAPF3. Os perfis F3b, F1b e F2b são imagens obtidas com câmera digital, enquanto que os perfis F3a, F1a e F2a são desenhos representativos das imagens digitais.

O bandamento expresso pela alternância de camadas claras e escuras é melhor visualizado na figura 48. Cada camada tem tendência a apresentar uma espessura de 10 a 11 mm. As camadas mais espessas - sejam claras ou escuras - tendem a ser microlaminadas (Figura 49). Infelizmente, a rápida oxidação do material dificulta uma explicação mais precisa do listramento (bandamento) destes sedimentos. Ao longo da seção indicada, observam-se, de vez em quando, bandas mais espessas com mais de 20 mm de espessura.

Os sedimentos de fundo do lago Amapá são basicamente constituídos de material síltico-argiloso, uma lama detrítica fina e macia com folhas preservadas entre as camadas delgadas formadas no processo de sedimentação.

Quando exposto à temperatura ambiente, o material se desidrata e endurece fortemente. Essa exposição afeta o sedimento, também, oxidando-o rapidamente, o que se evidencia pela cor marrom-amarelada nas partes periféricas dos testemunhos (Figuras 48 e 49).



**Figura 48 - Aspecto dos sedimentos de fundo do lago Amapá, mostrando o bandamento característico dado pela alternância de camadas claras e escuras afetadas pela oxidação, ao serem expostos ao ambiente, denotada pela cor marrom na periferia dos testemunhos. Detalhe da seção 100-140 cm do furo LAPF1 (Foto: Marcondes Lima da Costa).**



**Figura 49 - Detalhe da seção 148-167 cm do furo F2, com microlaminação de camadas claras e escuras (Foto: Marcondes Lima da Costa).**

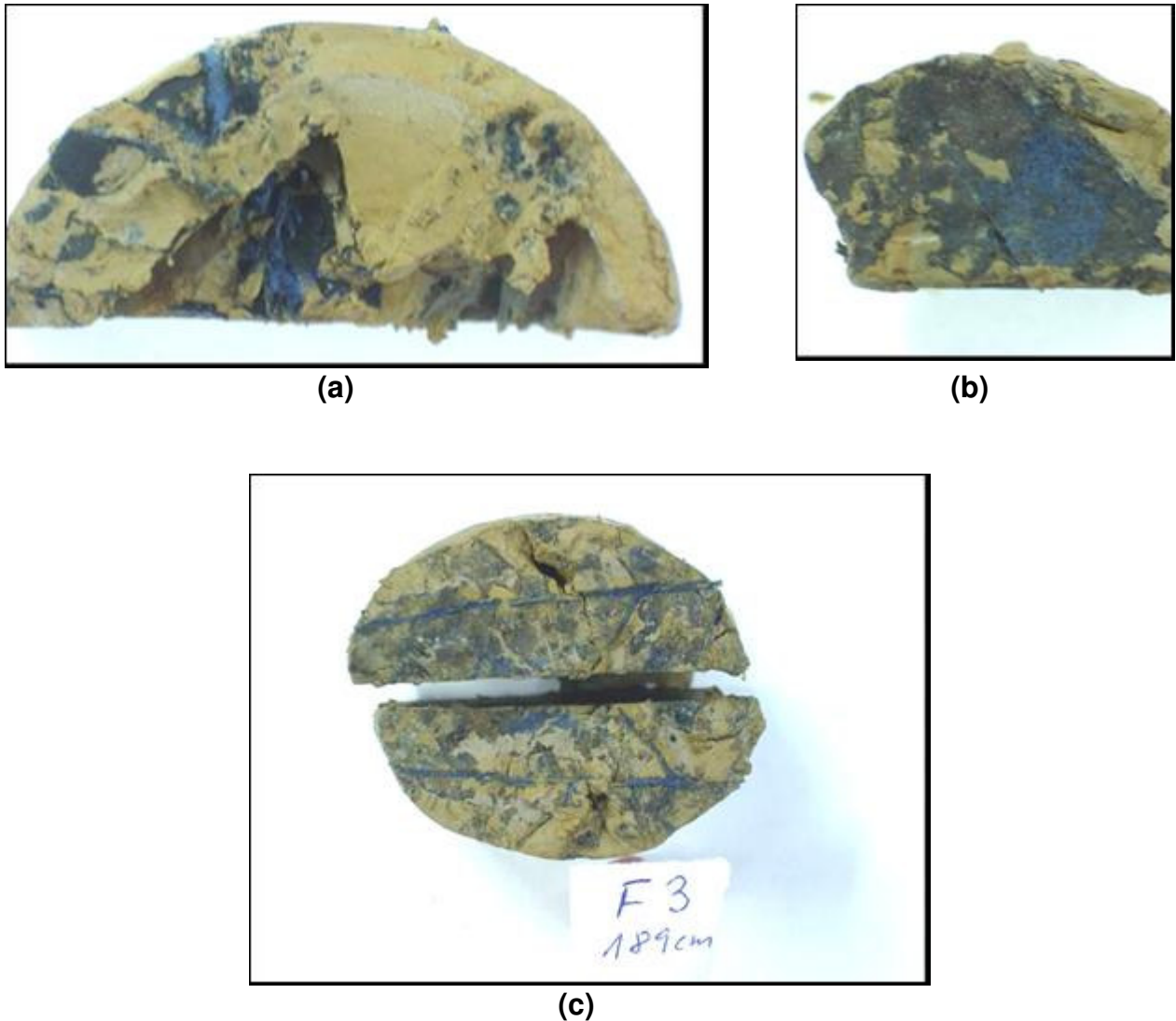
As bandas escuras refletem o maior conteúdo de matéria orgânica com material detrítico fino, por vezes com grandes pedaços de folhas depositadas em planos paralelos a estratificação.

O acúmulo de material orgânico vegetal particulado como folhas e pequenos fragmentos vegetais misturados é muito comum. Neste furo, observa-se uma rápida oxidação do testemunho (Figura 50).



**Figura 50 - Pedacos de material orgânico entre camada de sedimento da seção 0-38 cm do testemunho do furo F2 (Foto: Marcondes Lima da Costa).**

Em determinadas seções dos testemunhos estudados, nas quais havia matéria orgânica, a estrutura celulósica foi substituída por vivianita (Figura 51). Ela foi identificada por difração de raios-X e MEV.



**Figura 51 - Desenvolvimento de vivianita em cavidades e planos de acamamento em contato ou próximo ao acúmulo de material vegetal: a) Seção 233-280 cm do furo F1; b) Seção 128-176 cm do furo F2 com presença de material vegetal; e c) Vivianita pseudoformada segundo folhas de vegetais a 189 cm de profundidade do furo F3 (Fotos: Marcondes Lima da Costa).**



### 3.3.1 Granulometria

O padrão geral de distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo do lago Amapá dos três perfis estudados (LAPF1, LAPF2 e LAPF3) indica que há predominância da fração silte fino e que o diâmetro médio de 50% do material está em torno de 6  $\mu\text{m}$  (Figuras 52-63).

A distribuição granulométrica nos furos F1, F2 e F3 mostra padrão bimodal, com porcentagem de fração silte-argila alcançando até 93%. Essa constituição granulométrica é comparável à de sedimentos finos do lago Grande do Curuai, um lago de várzea da planície de inundação na região do Baixo Amazonas, estudado por Moreira-Turcq *et al.* (2004), onde a fração silte-argila é maior que 87%. Amorim *et al.* (2005) encontraram cerca de 98% dessa fração nesse mesmo lago, e também no lago Açaí, situado na mesma região.

Já no lago Campelo, um lago de restingas, localizado no estado do Rio de Janeiro, e que é cercado por pastos e canaviais, a quantidade de silte e argila é em torno de 70%, bem como no lago Jacaré, na mesma região do estado (Souza & Guedes, 2005).

A base aparente do perfil LAPF3 (intervalo 265-272 cm) mostra predomínio da fração silte (Figura 57), com diâmetro médio de 4,8  $\mu\text{m}$  para 50% do material. Há tendência de aumento das frações silte fino e argila até o intervalo 176-180 cm (Figura 56). A fração silte aumenta para o topo do perfil, que apresenta fração areia fina no intervalo 0-5 cm com diâmetro médio de 5,4  $\mu\text{m}$  para 50% do material (Figura 55). O último intervalo de deposição apresenta padrão bimodal de distribuição evidenciando aumento dos grossos em tempos recentes na estação do perfil LAPF3.

Na base aparente do perfil LAPF1 (intervalo 366-367 cm) (Figura 61), predomina fração silte médio com aumento de silte fino e argila até o intervalo 310-313 cm. A fração silte médio aumenta para o topo com tendência de aumento dos grossos até o intervalo 100-103 cm (Figura 59). Há predomínio da fração silte fino e argila no intervalo 80-85 cm (Figura 61) com aumento dos grossos para o topo do perfil. Os três últimos intervalos de deposição analisados do perfil LAPF1 (50-54 cm, 31,5-33,5 cm e 06-11 cm) apresentam padrão de distribuição bimodal e aumento das frações silte grosso e

areia fina, com diâmetro médio de 6,0  $\mu\text{m}$  de 50% de material. Este comportamento é similar ao do furo LAPF3.

Similarmente à seqüência deposicional dos perfis LAPF3 e LAPF1, a granulometria dos sedimentos do perfil LAPF2 varia de silte médio, predominante na base aparente (intervalo 164-170 cm) (Figura 63), para fração silte grosso no topo, com diâmetro médio de 8-9,2  $\mu\text{m}$ , nos três últimos intervalos depositados do perfil (50-52 cm, 29-31 cm e 0-3 cm) (Figura 62).

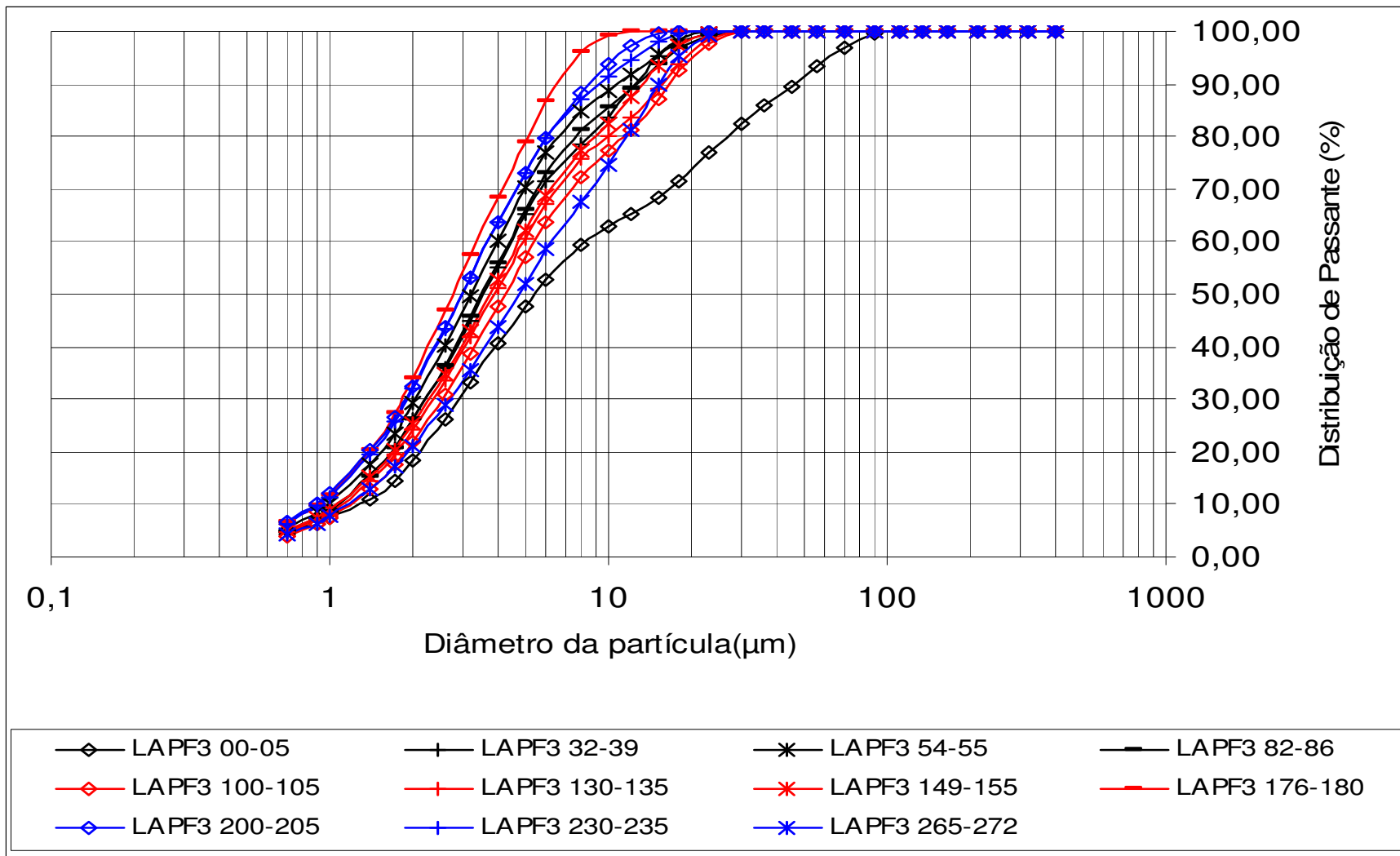


Figura 52 - Distribuição de granulometria dos sedimentos do furo LAPF3. O diâmetro de 50% do material varia entre 2,8 e 5,4  $\mu\text{m}$ .

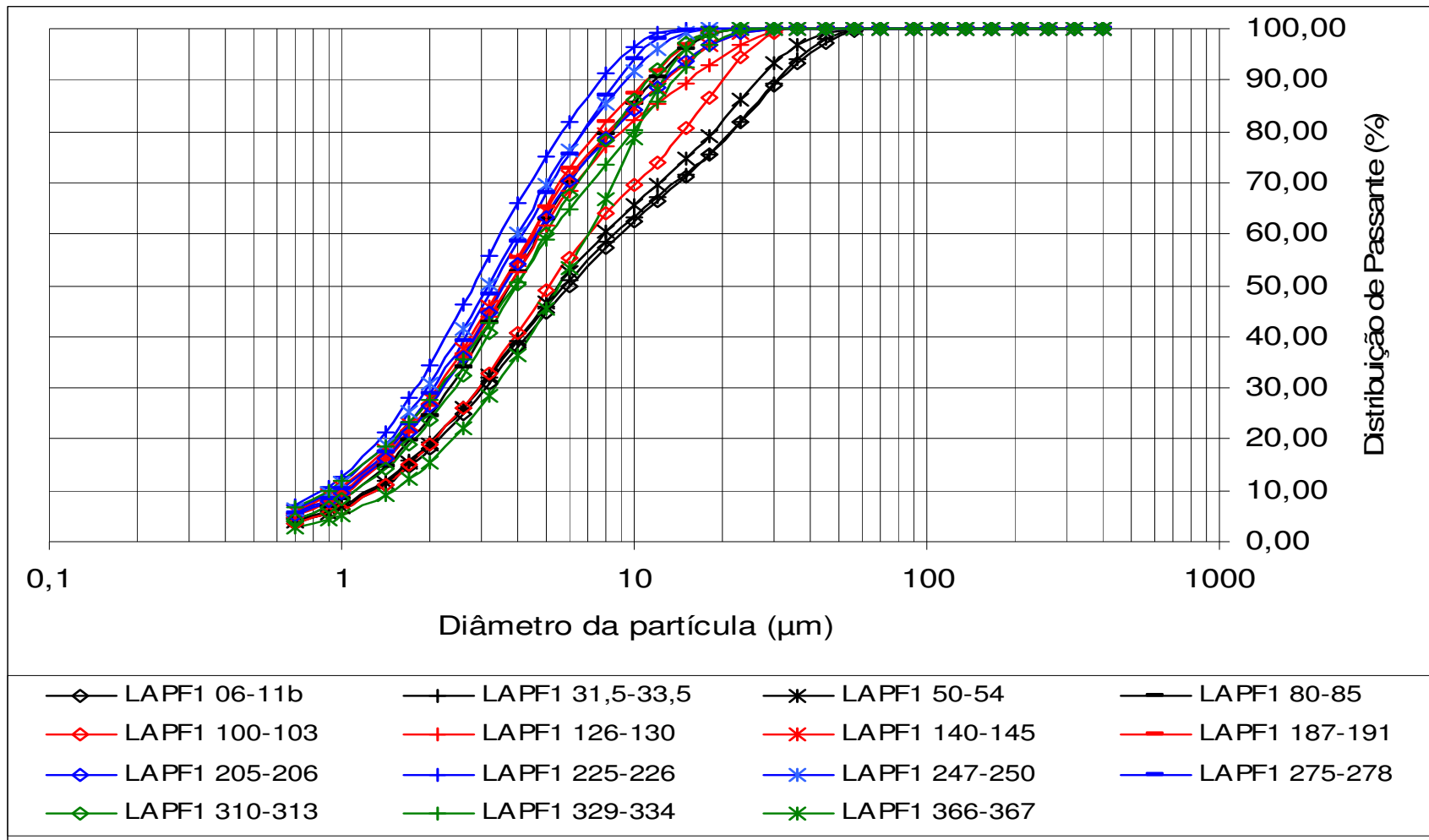


Figura 53 - Distribuição de granulometria dos sedimentos do furo LAPF1. O diâmetro de 50% do material varia entre 2,8 e 6,0 µm.

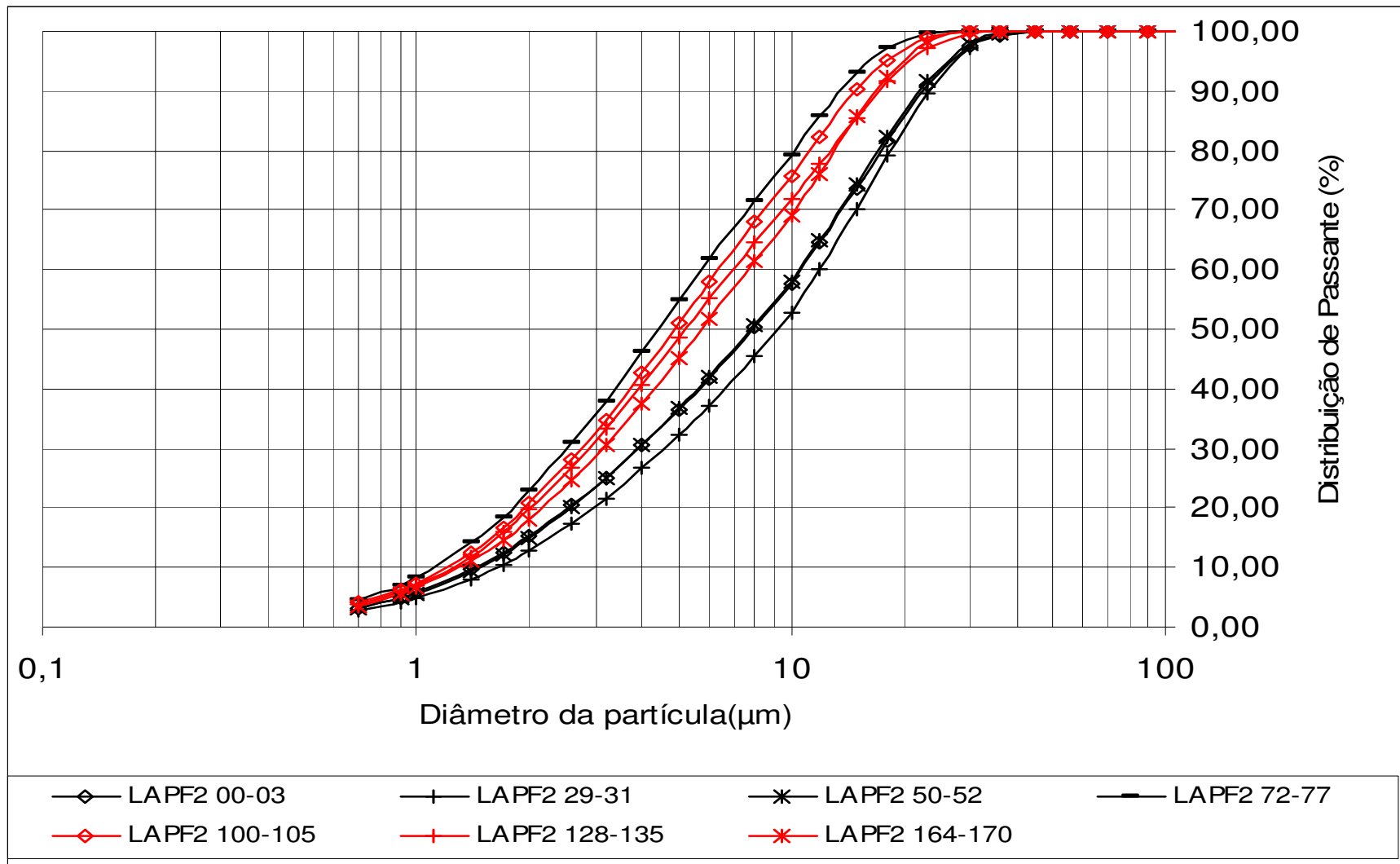
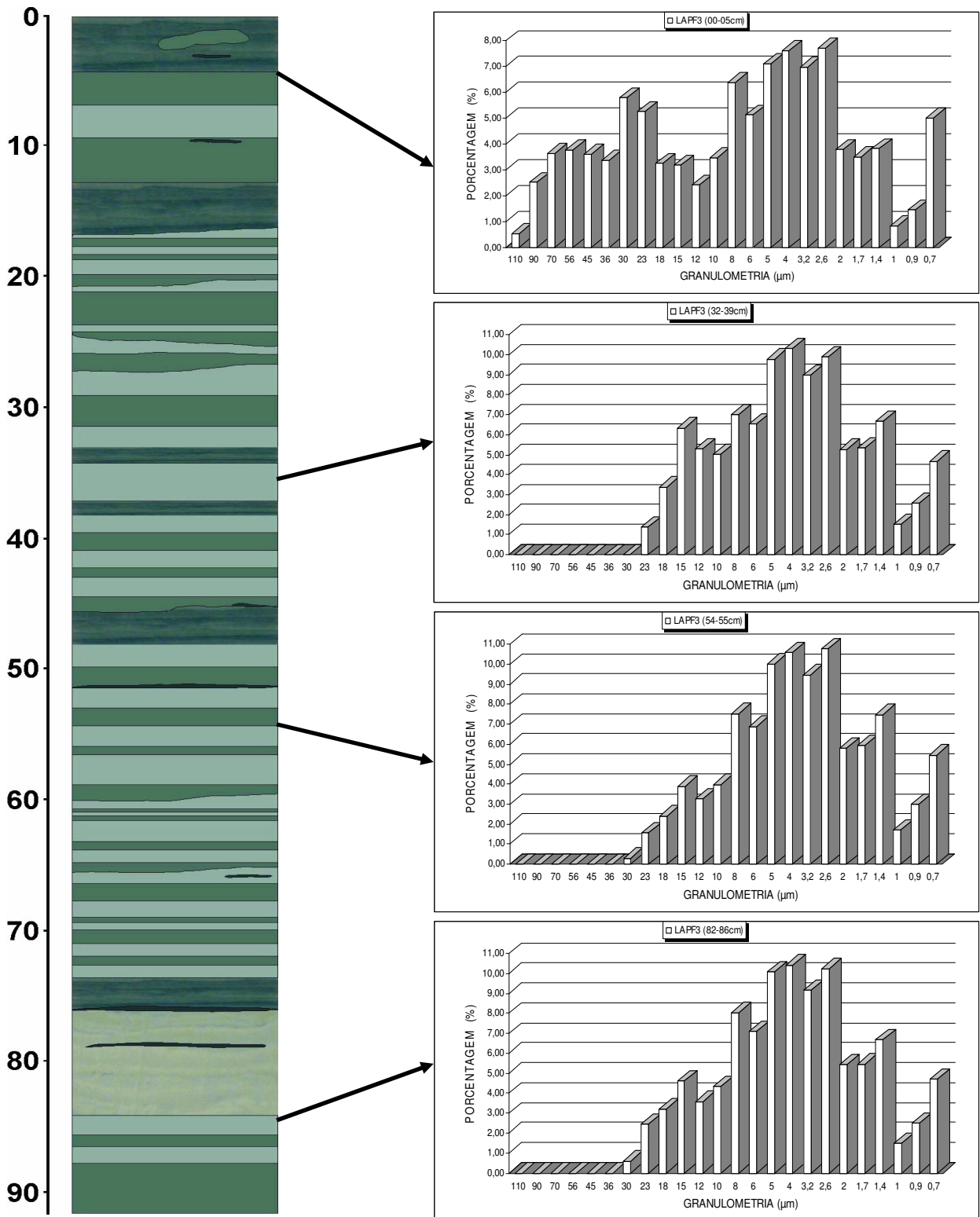
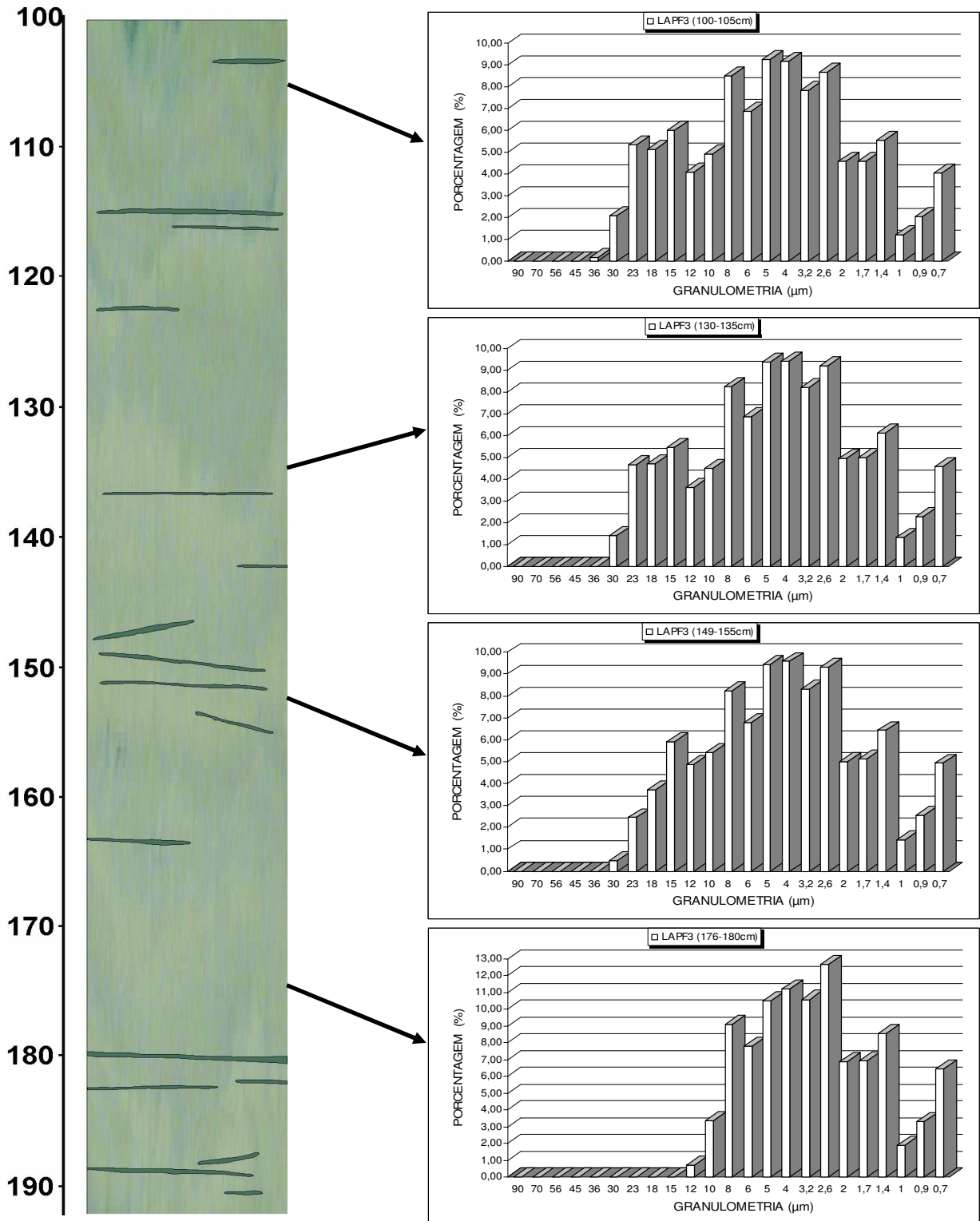


Figura 54 - Distribuição de granulometria dos sedimentos do furo LAPF2. O diâmetro de 50% do material varia entre 4,4 e 9,2  $\mu\text{m}$ .



**Figura 55 - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção do primeiro metro do testemunho LAF3 (granulometria média de 50% do passante de 3,2-5,4 µm). Similaridade na distribuição de argila e silte, com predominância da fração silte fino. Observa-se aumento da granulometria (23-110 µm) nos 5 cm do topo da seção cuja fração areia fina corresponde a cerca de 7% do total da amostra.**



**Figura 56 - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 1 a 2 m do testemunho LAF3 (granulometria média de 50% do passante de 2,8-4,2 µm). Granulometria silteca predominante com diminuição do tamanho dos grãos a 176 cm de profundidade, aumentando a fração silte fino. Fração argila com distribuição similar representando 22-34% nas amostras e com tendência a diminuir em quantidade no sentido da base para o topo da seção.**



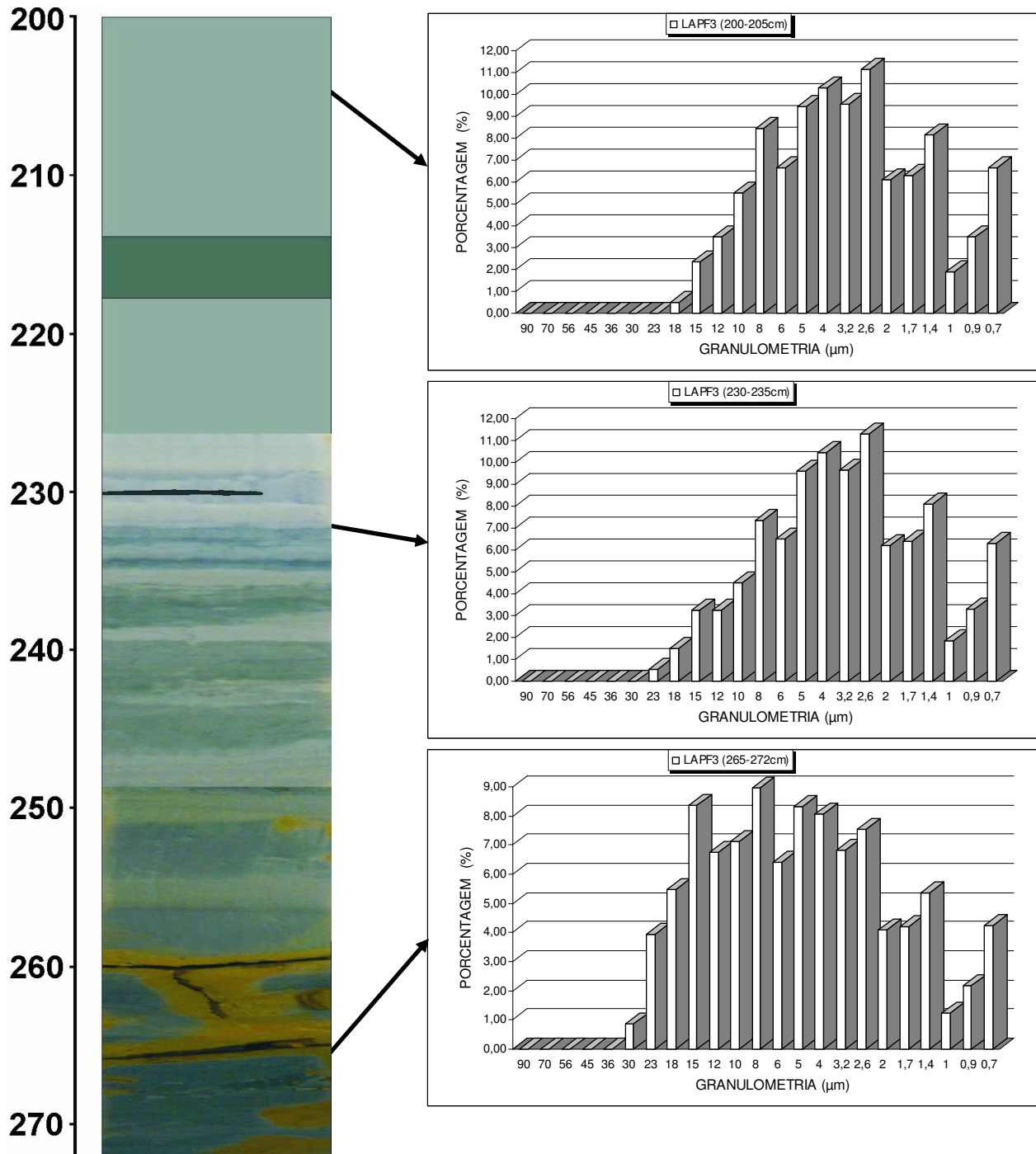
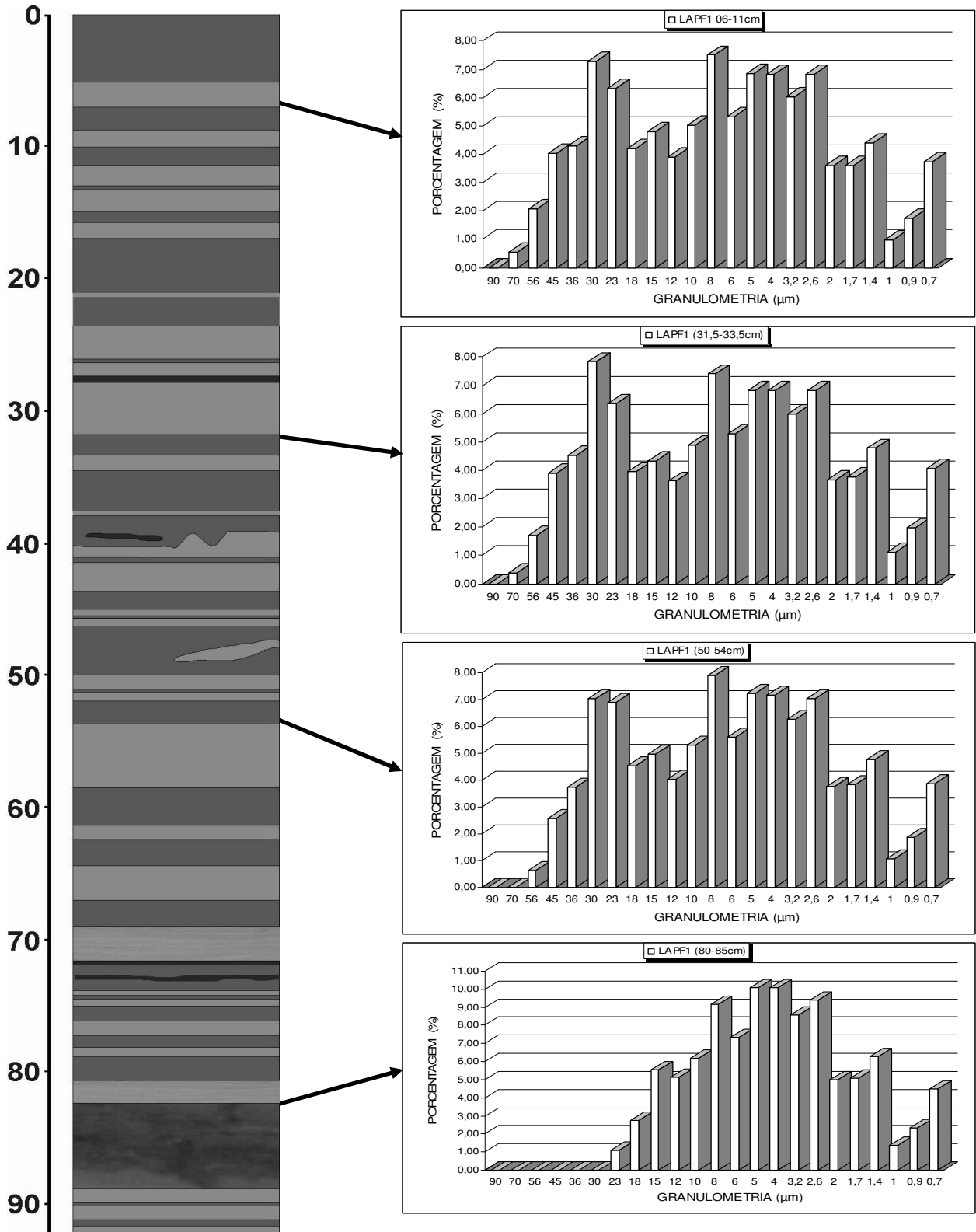


Figura 57 - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 2 a 3 m do testemunho LAPP3 (granulometria média de 50% do passante de 3-4,8 μm). Predominância da fração silte (67-79%, em média) cuja quantidade diminui para o topo da seqüência. A quantidade de silte fino e argila é maior no intervalo 200-205 cm.



**Figura 58 - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção do primeiro metro do testemunho LAPP1 (granulometria média de 50% do passante de 3,8-6,0 µm). Ligeiro aumento da granulometria nos 50 cm do topo da seção com 0,38-0,55% de areia. Média de 80% de silte com diminuição da fração fina para o topo da seção.**

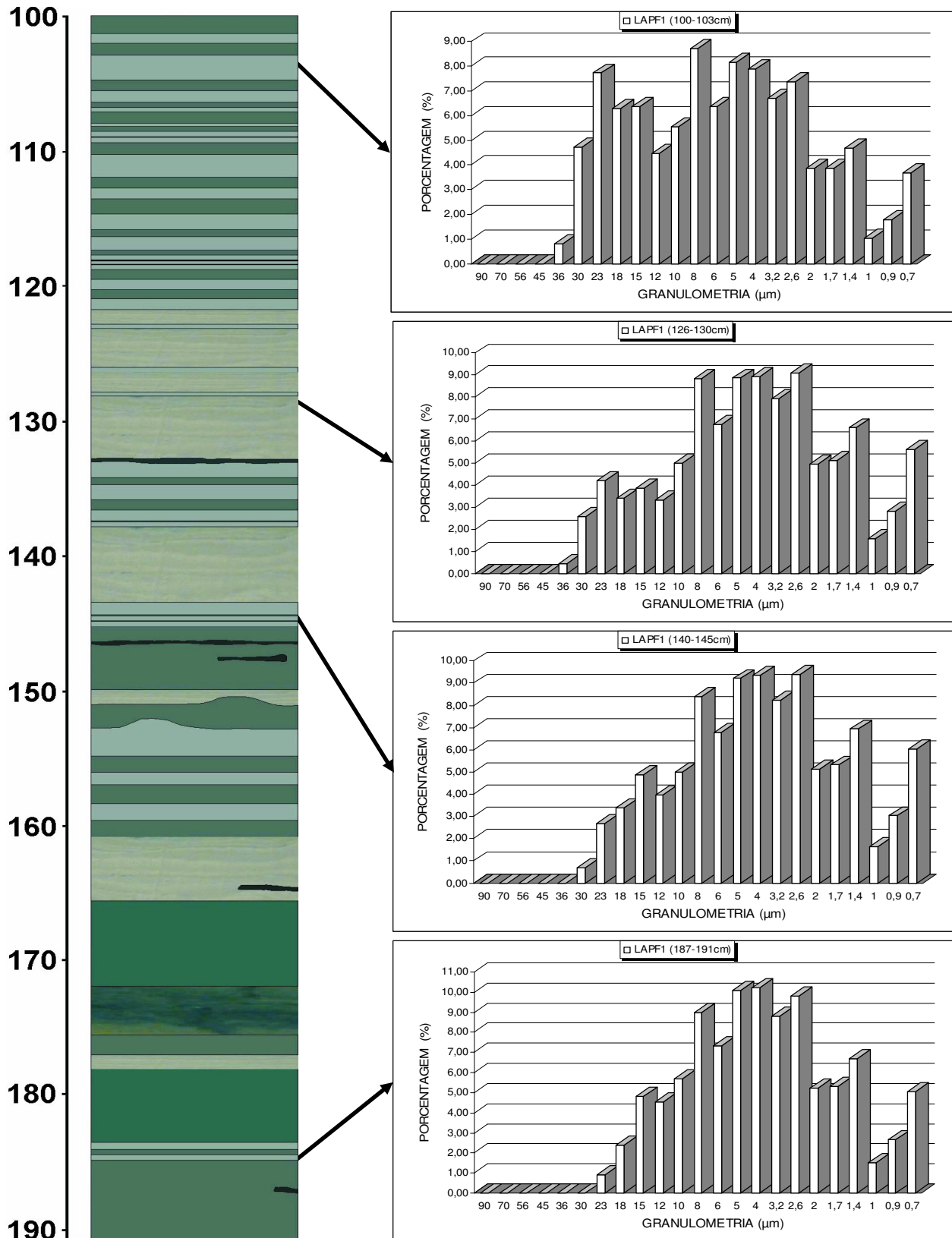


Figura 59 - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 1 a 2 m do testemunho LAPP1 (granulometria média de 50% do passante de 3,4-5,1  $\mu\text{m}$ ). Predominância da fração silte com até 36  $\mu\text{m}$  (média de 73%). Fração argila com 26%, em média, nesta seção.

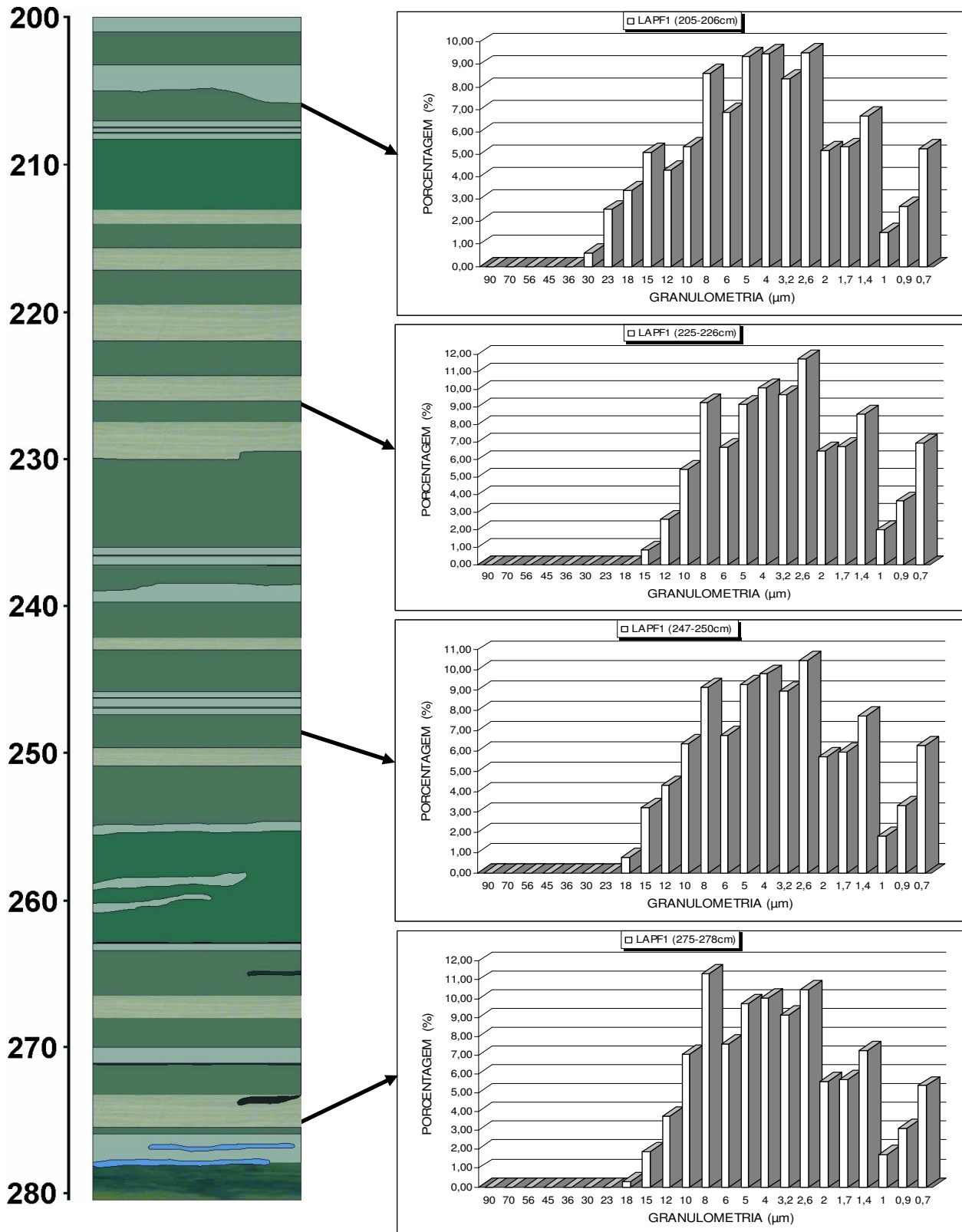


Figura 60 - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 2 a 3 m do testemunho LAPF1 (granulometria média de 50% do passante de 2,8-3,6 μm). Predominância da fração silte até 30 μm de diâmetro, correspondendo de 65,57 a 73,37% (intervalo 205-206 cm). A quantidade de argila chegou a 34,43% no intervalo 225-226 cm desta seção.

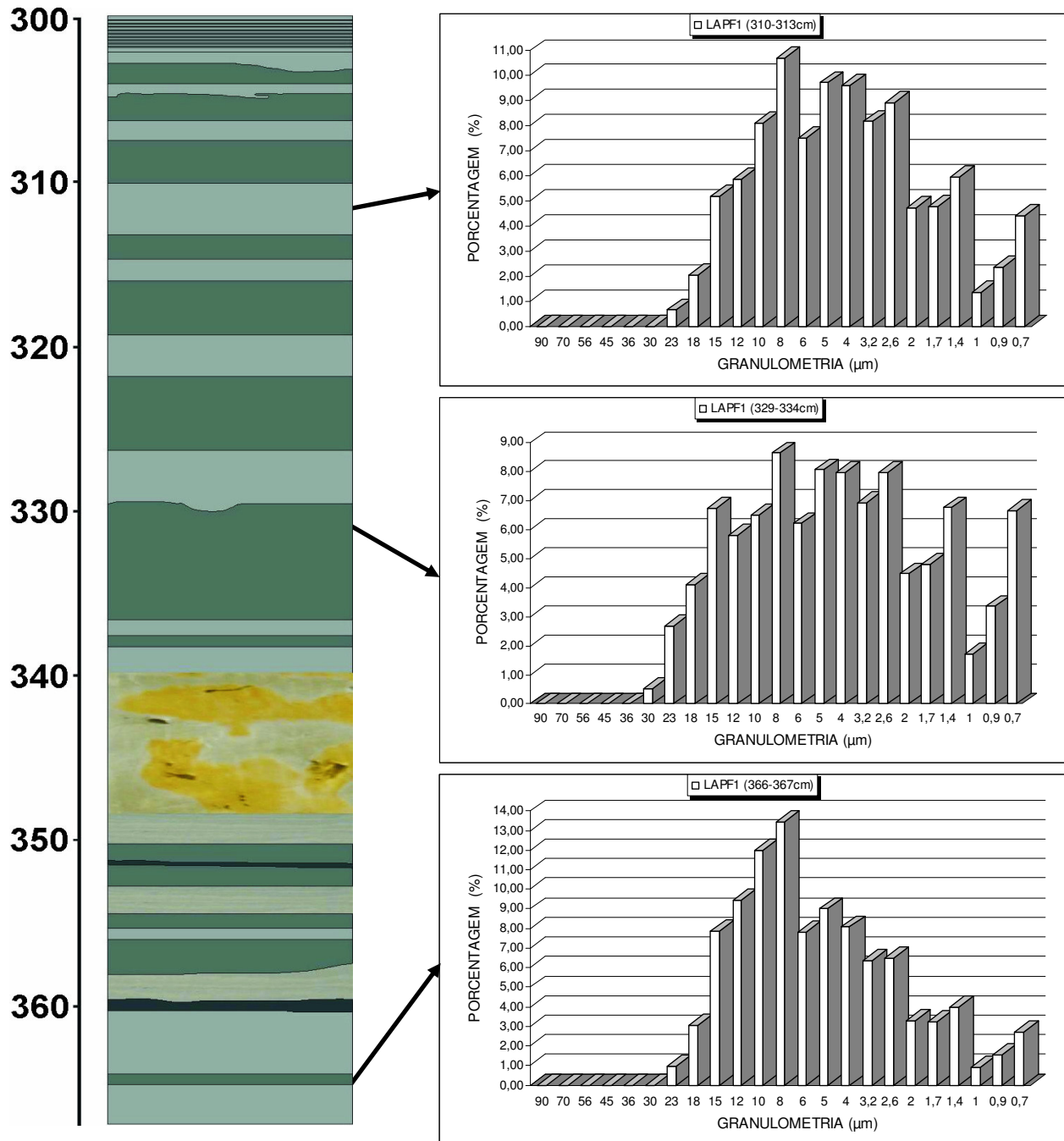
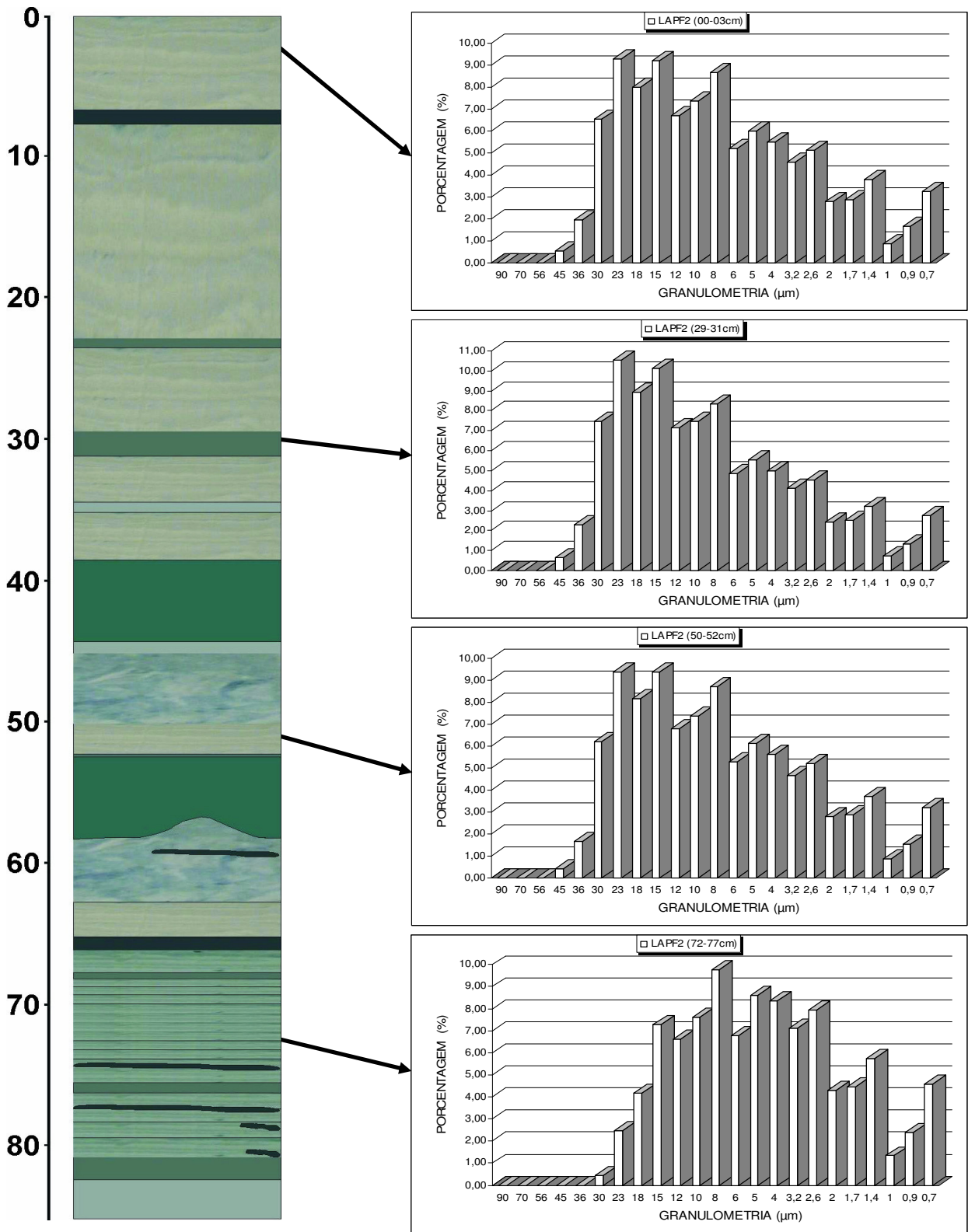


Figura 61 - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 3 a 4 m do testemunho LAPP1 (granulometria média de 50% do passante de 4-5,4  $\mu\text{m}$ ). Aumento de granulometria observado no intervalo de 329-334 cm. Predominância da fração silte de 84,42% na base do perfil (366-367 cm).



**Figura 62 - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção do primeiro metro do testemunho LAF2 (granulometria média de 50% do passante de 4,4-9,2 µm). Observa-se maior granulometria (8-9,2 µm) nos 50 cm do topo da seção com fração silte ente 77 e 87%. Fração argila (13-23%) com tendência a diminuir para o topo.**

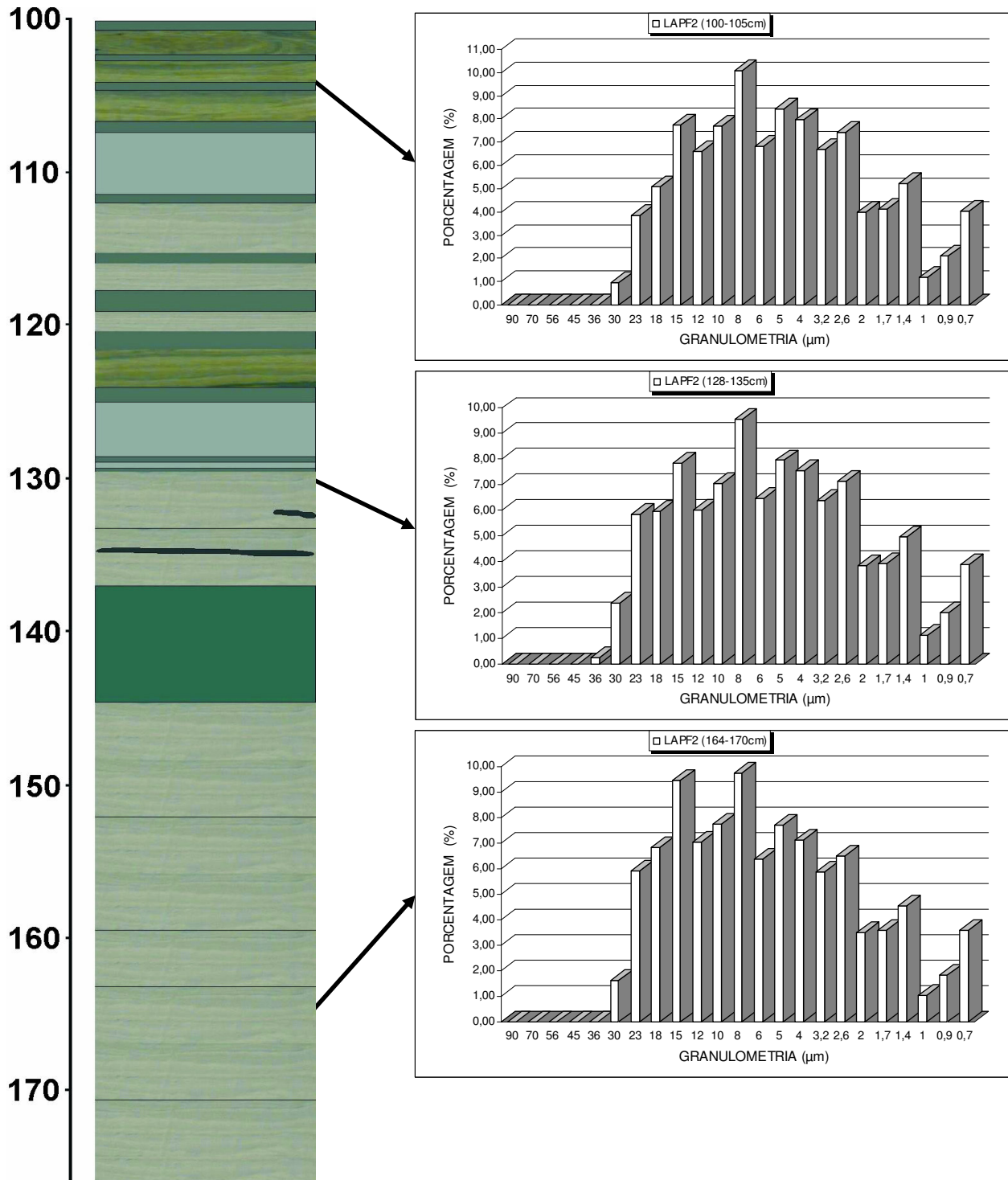


Figura 63 - Histogramas de distribuição granulométrica correspondentes à seção de 1 a 2 m do testemunho LAPP2 (granulometria média de 50% do passante de 4,9-5,8  $\mu\text{m}$ ). Fração silte predominante com até 36  $\mu\text{m}$  de diâmetro, correspondente a 80%, em média, e fração argila (20%) com tendência a aumentar para o intervalo 100-105 cm.

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo do lago Amapá, nos três furos localizados em estações de sondagem distintas, permite avaliar seu processo de formação.

Anteriormente, como ainda parte do rio Acre, o meandro continha sedimentos de fundo de mesma característica daqueles do rio. Com a dinâmica fluvial - erosão das partes côncavas e sedimentação das partes convexas - deu-se o início do processo de rompimento e barramento do canal, isolando o meandro do rio Acre.

Como o processo de isolamento progride de meandros em colmatção para meandros em lagos, destes para meandros colmatados (ACRE, 2000) e do seu estado já totalmente assoreado (eutrofizado) para paleomeandros, no início da formação do lago Amapá, este ainda recebia material (de granulometria silte) pelas duas extremidades (próximas às estações LAPF2 e LAPF3). Como a extremidade próxima à estação do furo F3 é de terrenos com domínio de terra firme, foi isolada primeiramente forçando a entrada de material em suspensão pela extremidade do furo F2 de planície aluvial iniciando o processo de sedimentação lacustre. Esse suspensato do rio (granulometria fina) continuou entrando no lago até o isolamento parcial da outra extremidade, a partir de quando passou a receber carga fluvial apenas nos períodos de cheia, depositando-se em camadas delgadas misturadas com material orgânico - como discutido anteriormente.

Recentemente, o lago Amapá experimenta um processo de deposição de material com granulometria mais grosseira em determinadas áreas. Esse fato pode estar relacionado com a ação antrópica bem evidente às margens do lago nas proximidades desses pontos como LAPF1 e LAPF3. Foram observadas, em campo, áreas desmatadas aos arredores do lago, conseqüentes da ocupação humana. Sem mata ciliar, nos períodos de grandes chuvas, a erosão nas margens contribui para o aumento da quantidade de material mais grosseiro (areia) que está sendo depositado nessas áreas. Por estar sendo margeado por uma estrada não pavimentada (estação do furo F1), também é possível que haja uma contribuição de material suspenso transportado pelos ventos e por re-suspensão. Na estação LAPF2, o aumento na média da fração silte (8-9,2  $\mu\text{m}$ ) também pode ser explicado pela recente intervenção antrópica nas proximidades. A não evidência de fração areia nesse ponto de



amostragem deve-se ao fato de ainda haver melhor conservação da mata às margens do lago, apesar de existirem algumas atividades econômicas no ramo de piscicultura nas áreas próximas a esse ponto de amostragem - o que já foi discutido anteriormente.

### 3.3.2 Mineralogia

#### 3.3.2.1 Difração de Raios-X

Os sedimentos dos furos LAPF1, LAPF2 e LAPF3 são constituídos, principalmente, de quartzo e argilominerais como caulinita, illita e esmectita segundo as análises de DRX, além de vivianita formada em alguns intervalos (Figuras 64-73). Há ainda pequenas quantidades de minerais como albita e K-feldspatos. Esses são os minerais que foram identificados nos sedimentos de praias e barrancos do rio Acre por Viana (2005).

Essas análises não permitiram identificar possíveis diferenças entre variações em profundidade e nem mesmo entre camadas escuras e claras.

A composição mineralógica dos sedimentos de fundo do lago Amapá também se assemelha à do lago Grande do Curuai com illita, esmectita, caulinita, quartzo e feldspatos constituindo os grãos de silte e argila (Moreira-Turcq *et al.*, 2004).

Comparando-se com o lago Crispim (Behling & Costa, 2001) – um lago raso da região costeira do nordeste do estado do Pará – esse apresenta composição mineralógica basicamente de matéria orgânica, quartzo e caulinita.

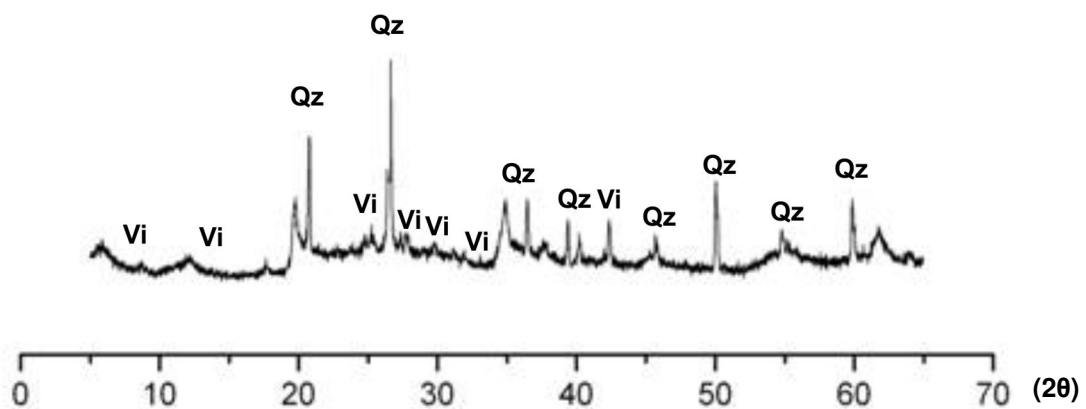


Figura 64 – Quartzo e vivianita constituintes do testemunho LAPF3, seção 1-2 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); vivianita (Vi).

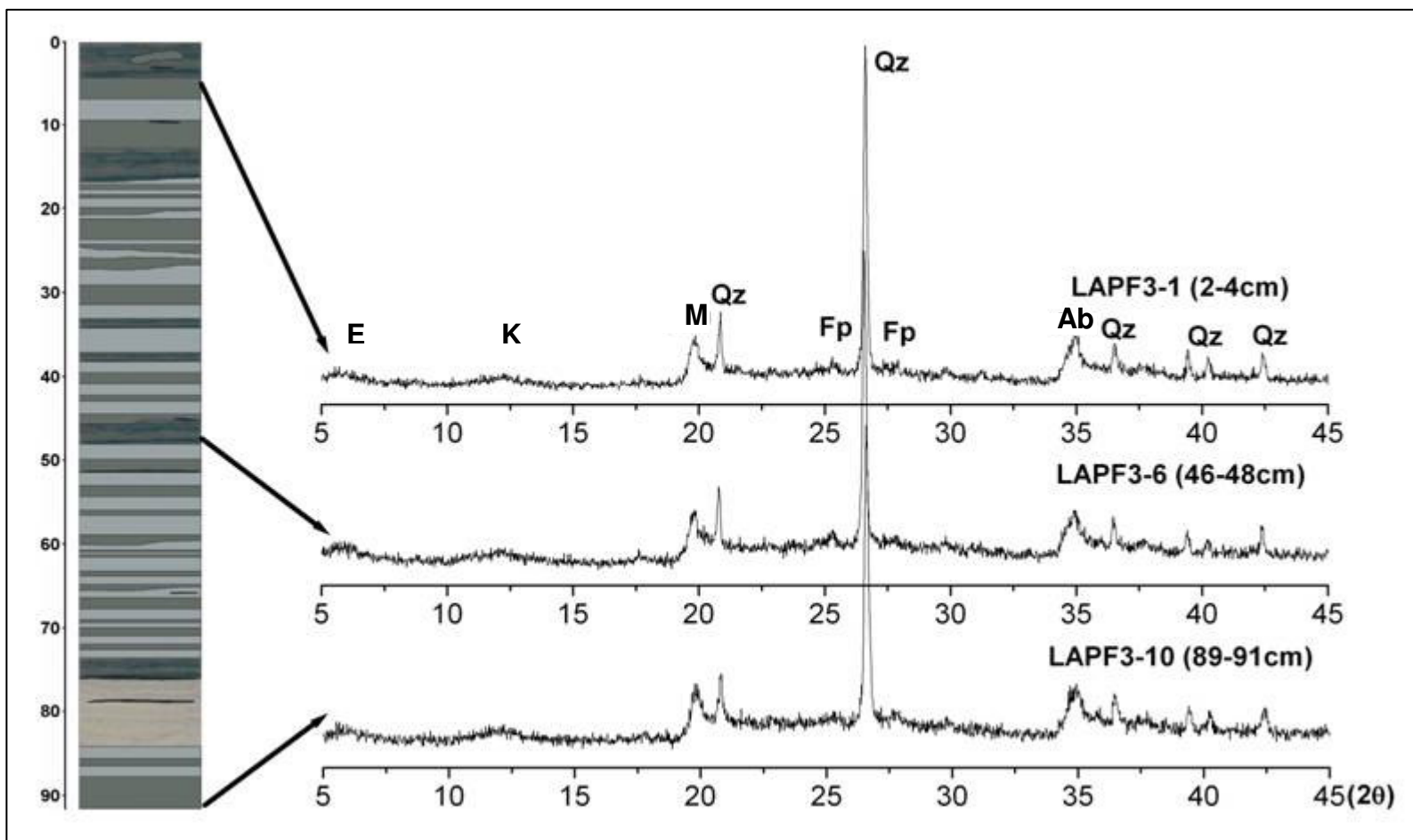


Figura 65 - Principais minerais constituintes do testemunho LAF3, seção 0-1 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).

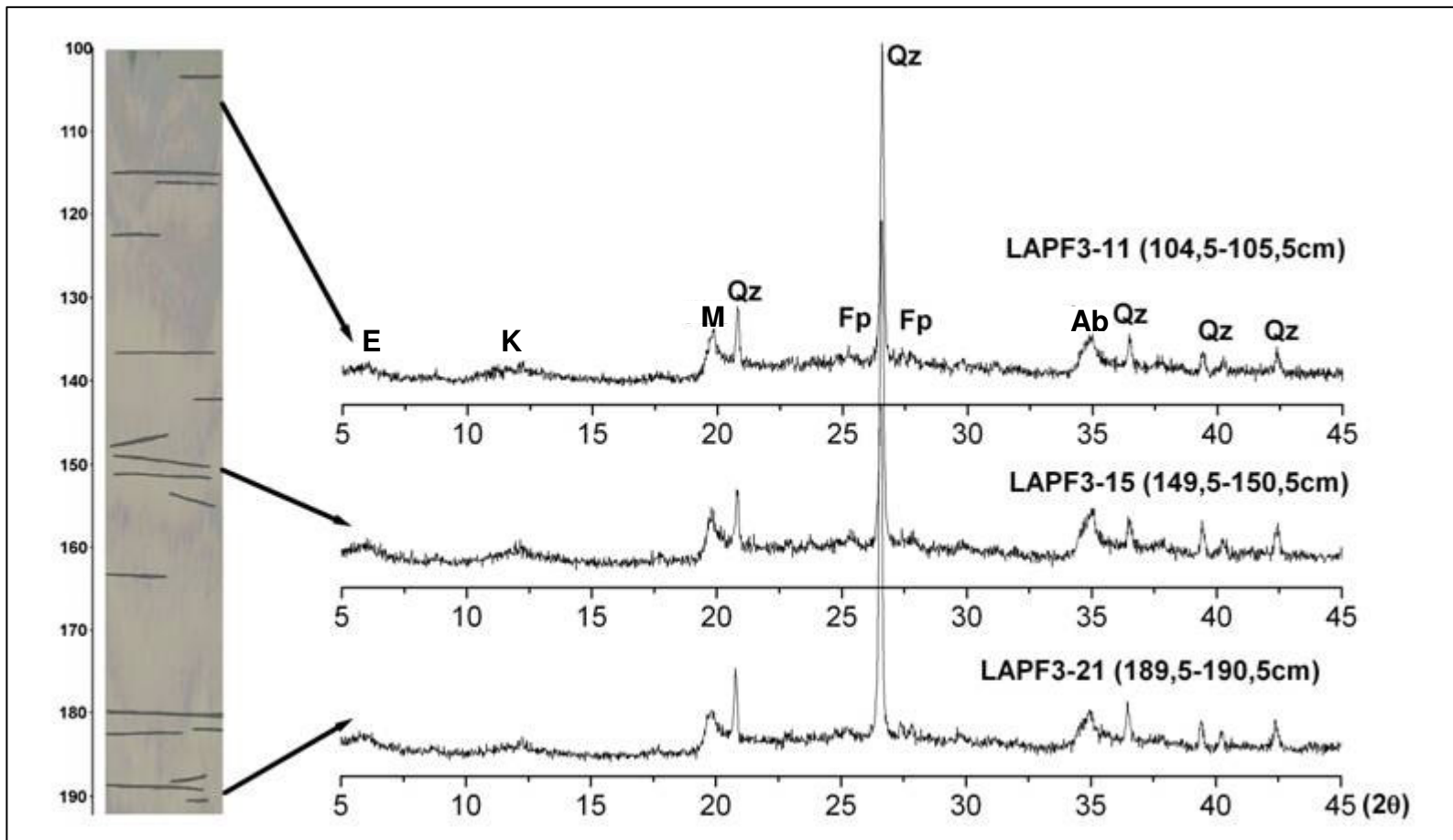


Figura 66 - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF3, seção 1-2 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).

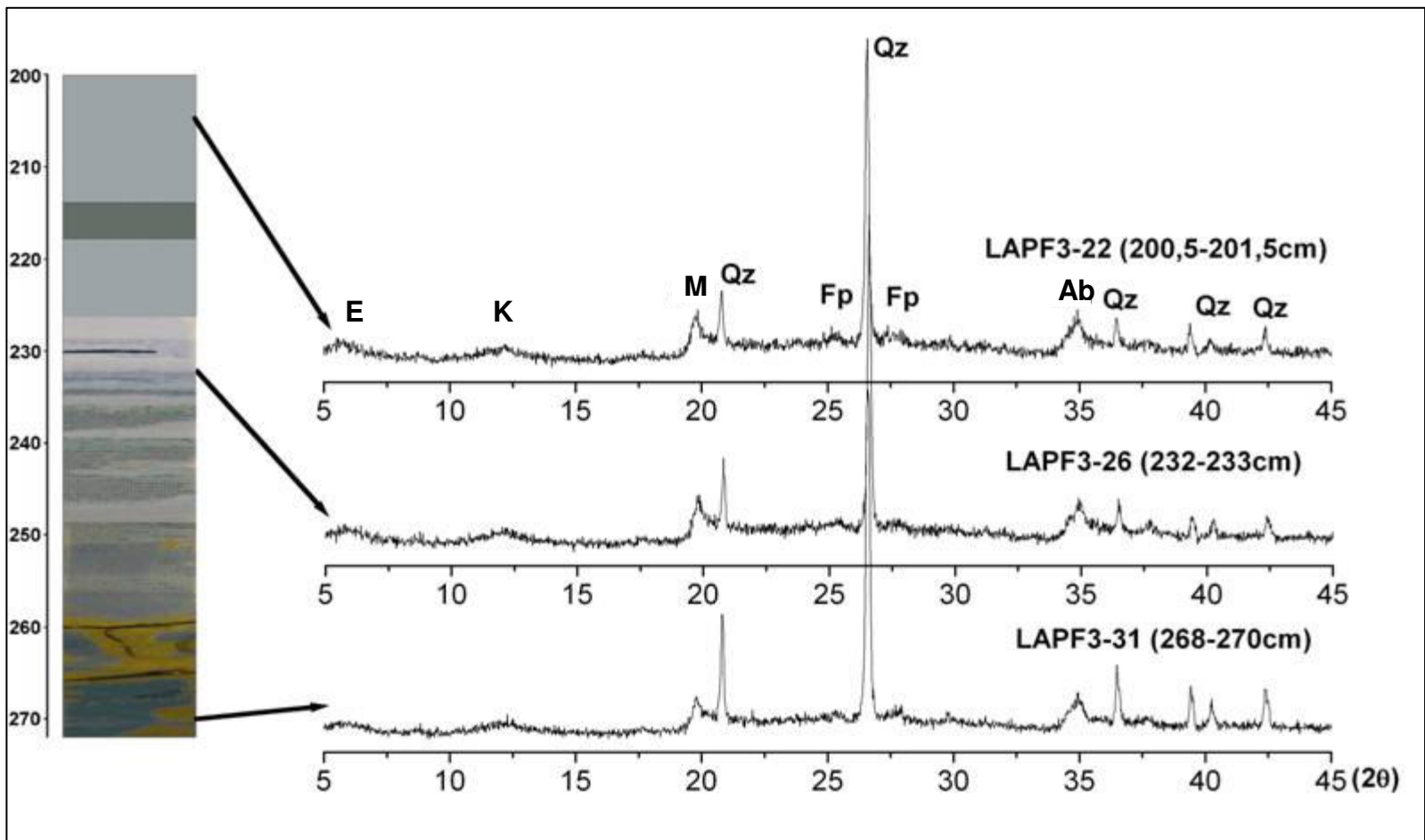


Figura 67 - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF3, seção 2-3 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmeclita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).

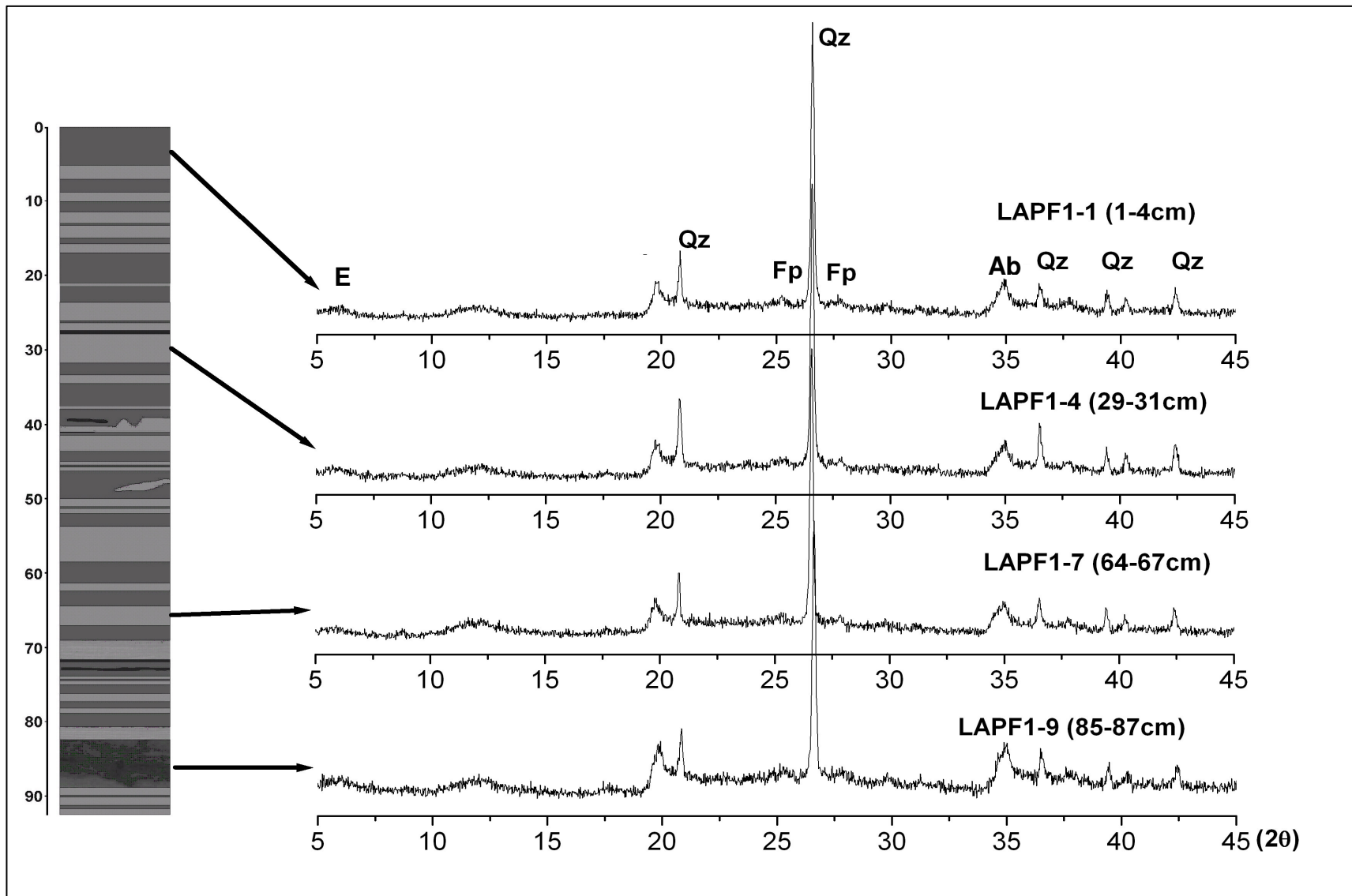


Figura 68 - Principais minerais constituintes do testemunho LAF1, seção 0-1 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).

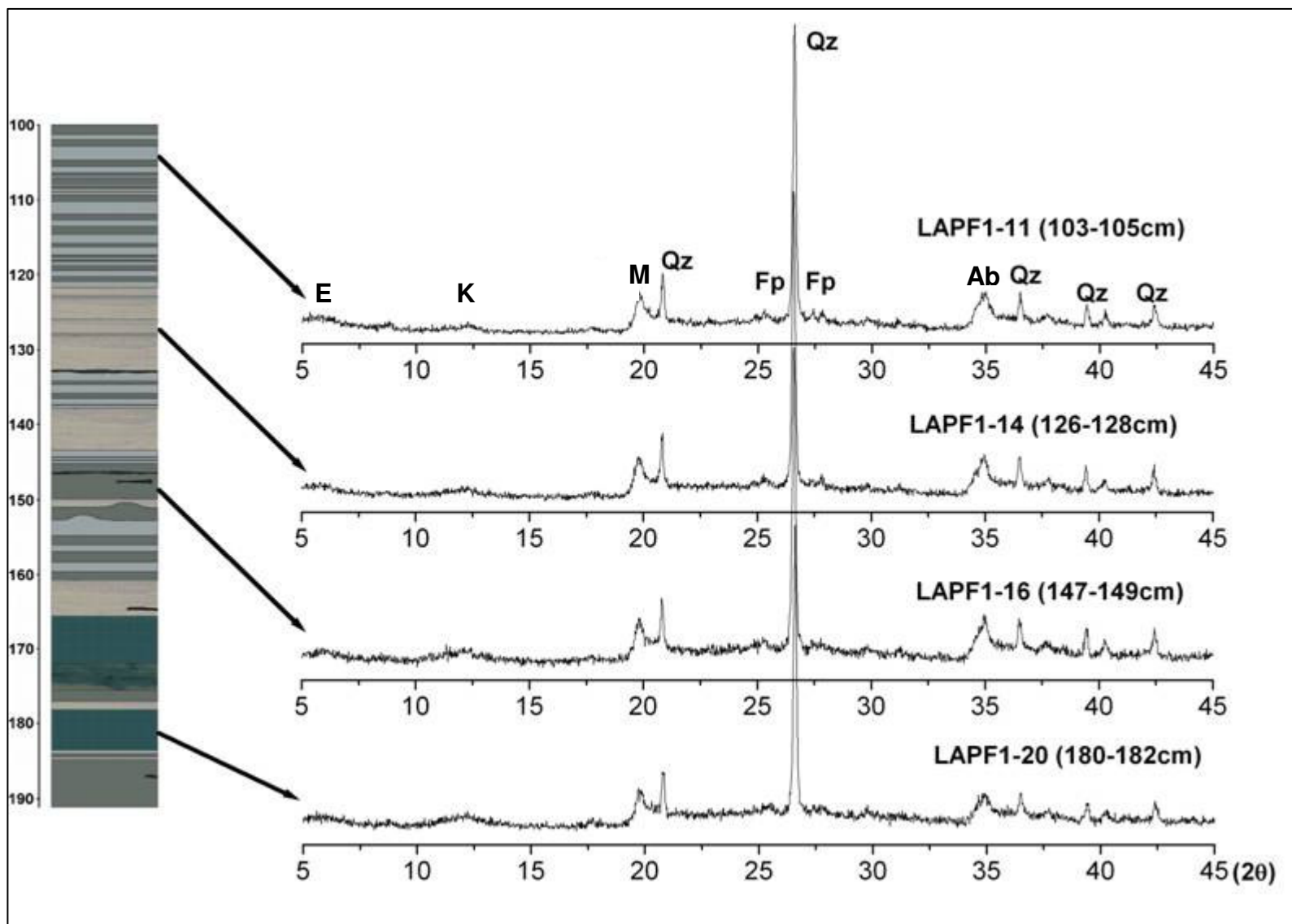


Figura 69 - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF1, seção 1-2 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).

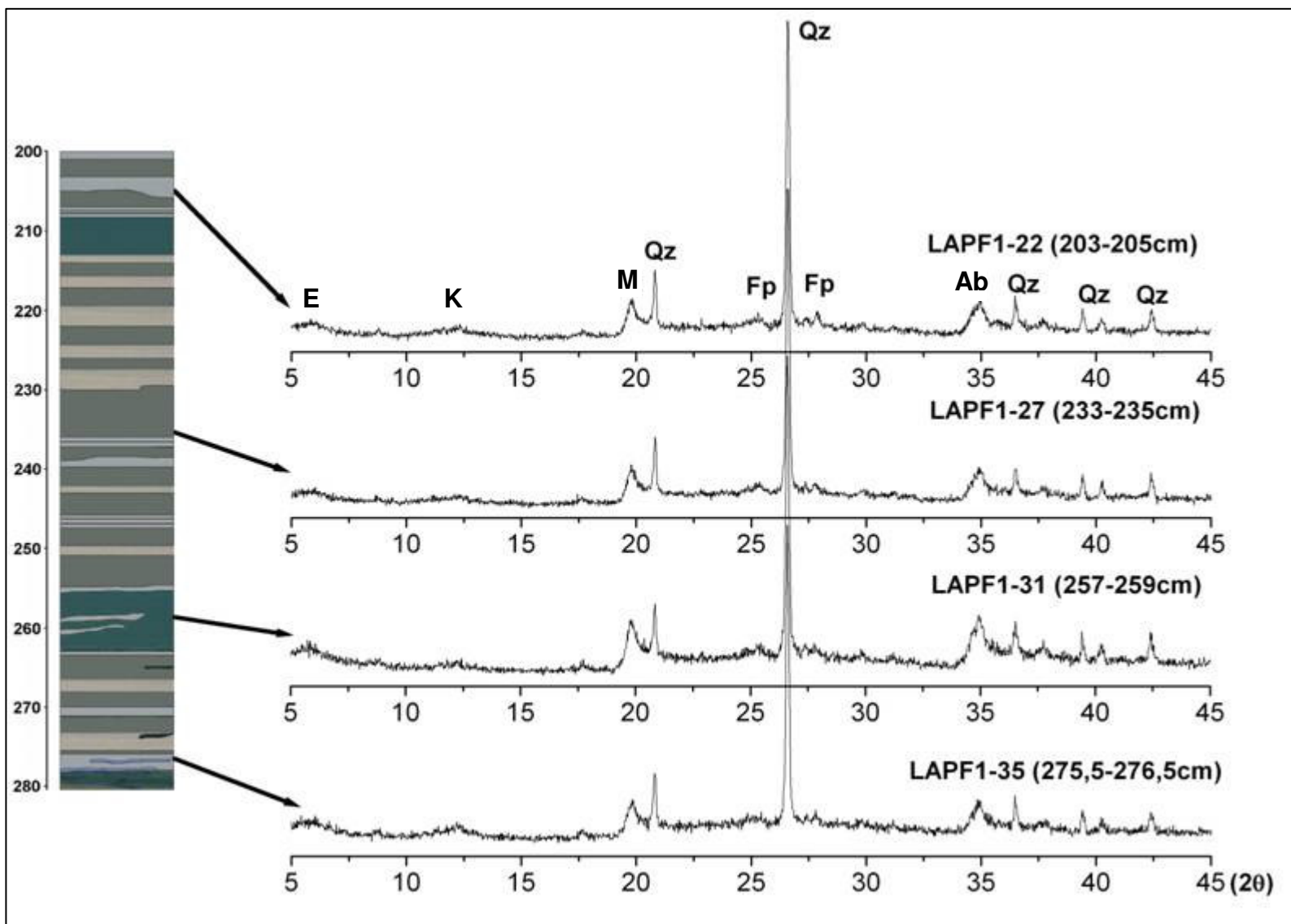


Figura 70 - Principais minerais constituintes do testemunho LAF1, seção 2-3 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).



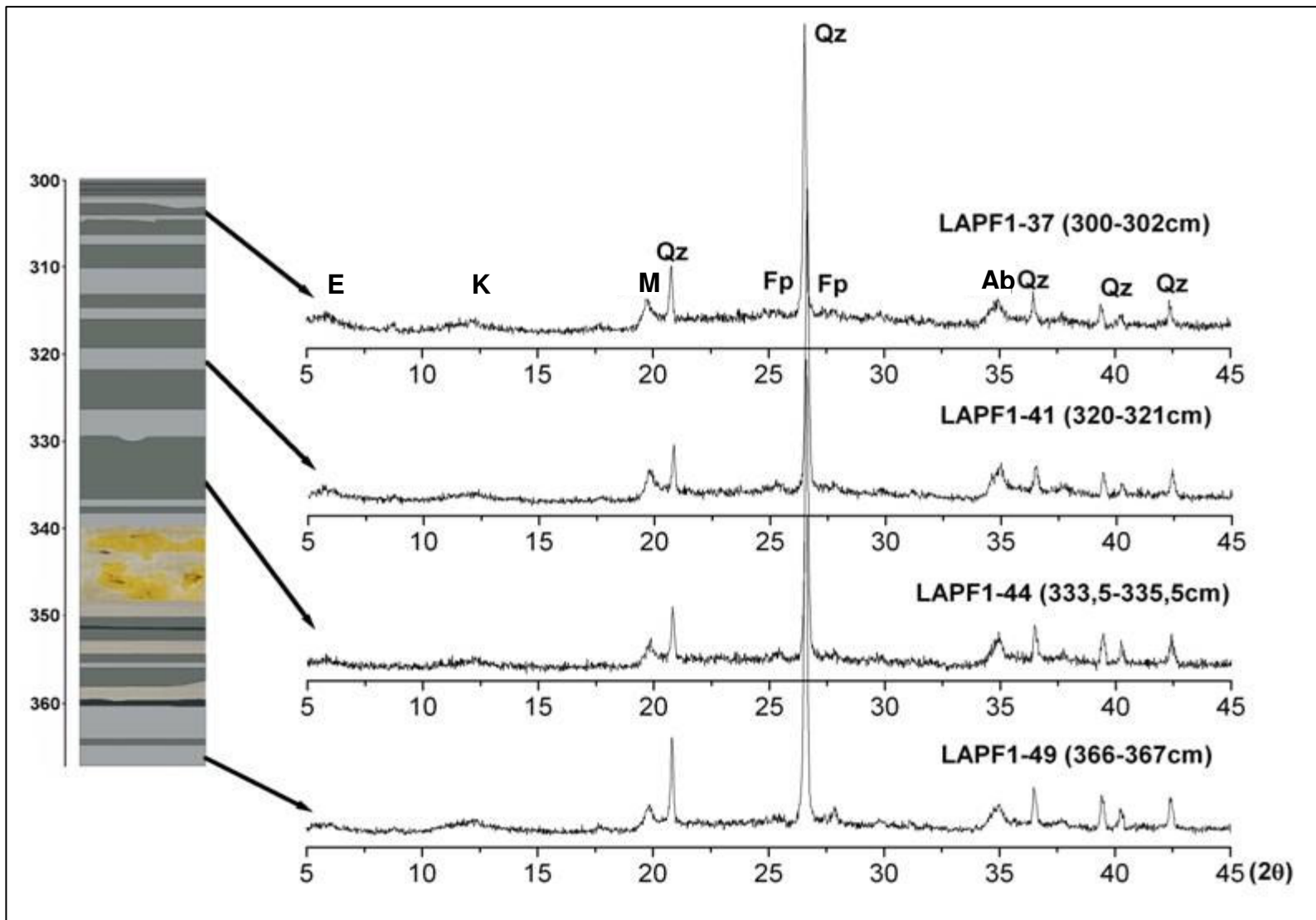


Figura 71- Principais minerais constituintes do testemunho LAPF1, seção 3-4 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).

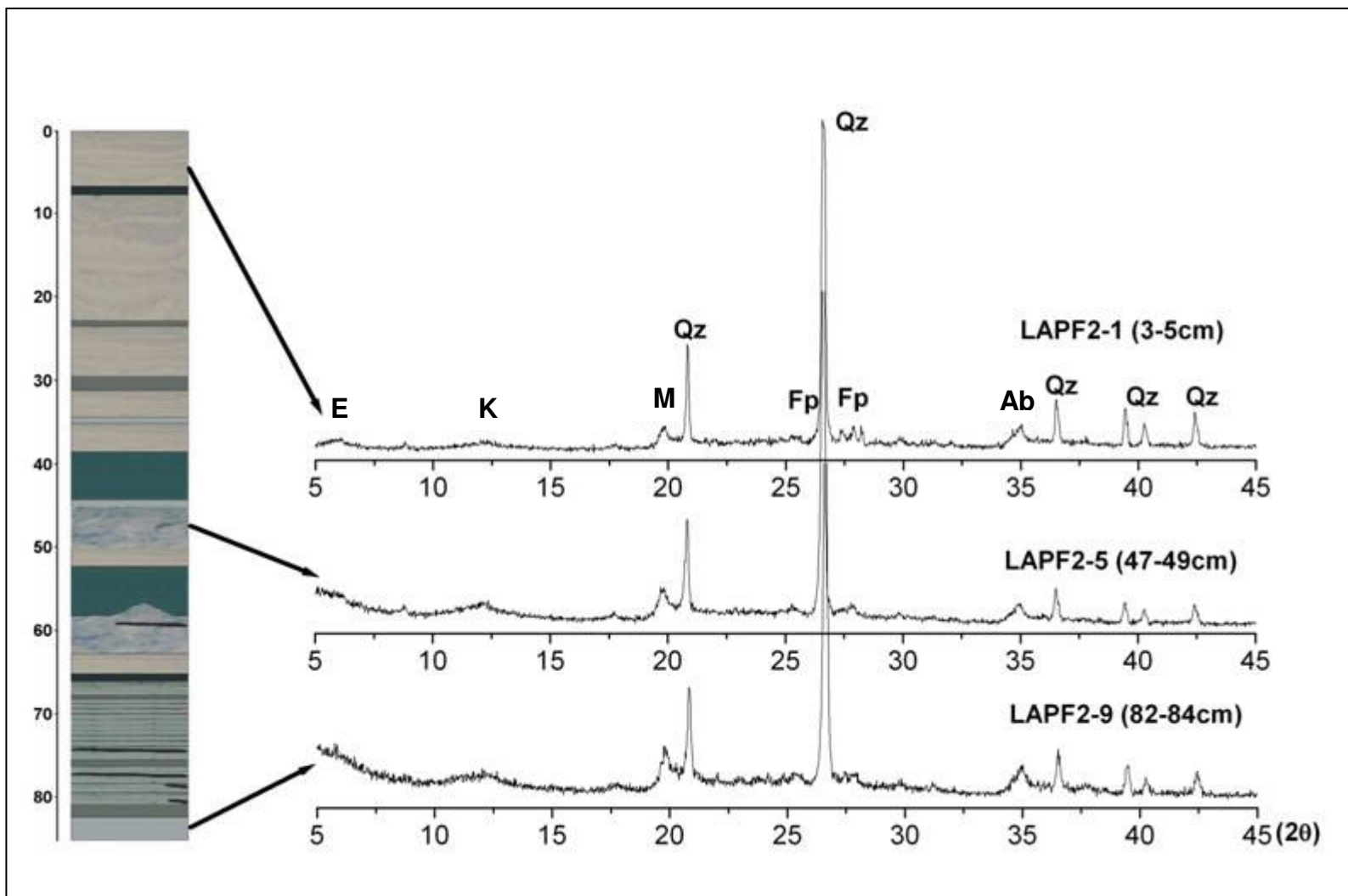


Figura 72 - Principais minerais constituintes do testemunho LAF2, seção 0-1 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).

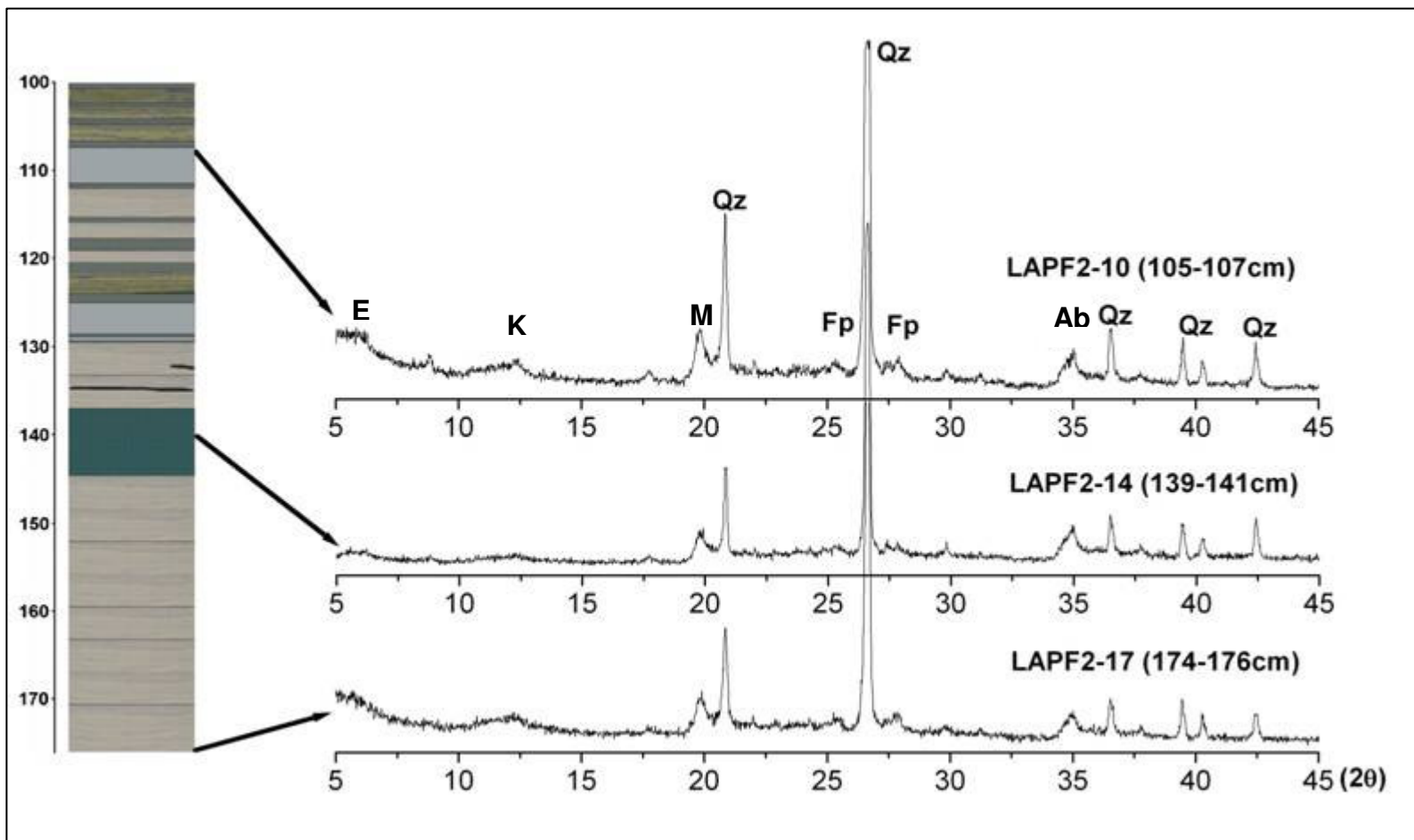
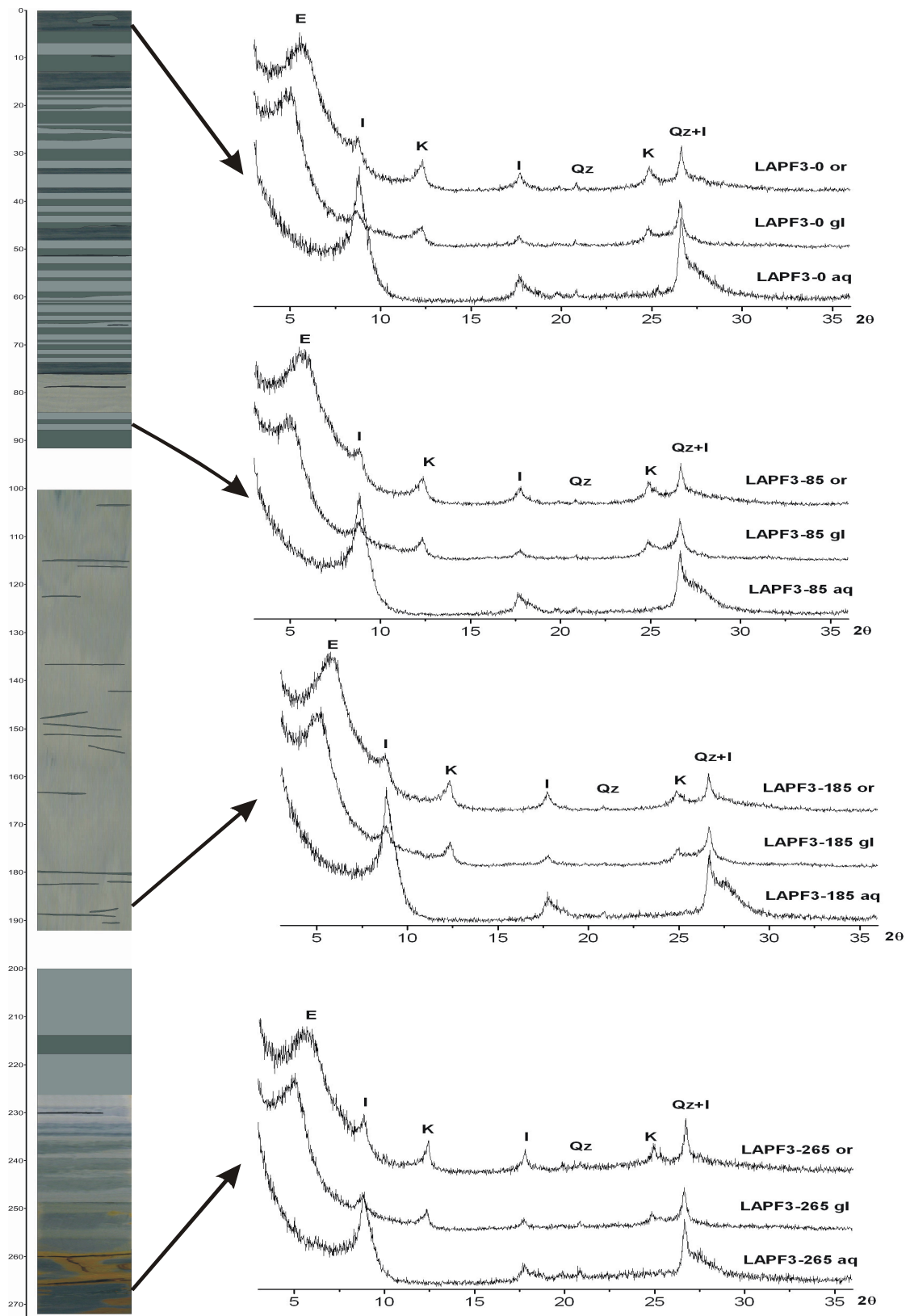


Figura 73 - Principais minerais constituintes do testemunho LAPF2, seção 1-2 m de profundidade, identificados por difração de raios-X. Quartzo (Qz); feldspatos (Fp); esmectita (E); caulinita (K); albita (Ab); mica (M).

## Caracterização dos Minerais de Argila

Os minerais de argilas foram caracterizados por difração de raios-X em lâminas orientadas, glicoladas e aquecidas. Nos sedimentos do lago Amapá, ocorrem basicamente esmectita, illita e caulinita (Figuras 74, 75 e 76). Esses sedimentos também são homogêneos quanto à distribuição de minerais de argila.



**Figura 74 - Principais minerais de argila constituintes do testemunho LAPF3 identificados por difração de raios-X. Esmectita (E); illita (I); caulinita (K); quartzo (Qz). Orientada (or); Glicolada (gl); Aquecida (aq).**

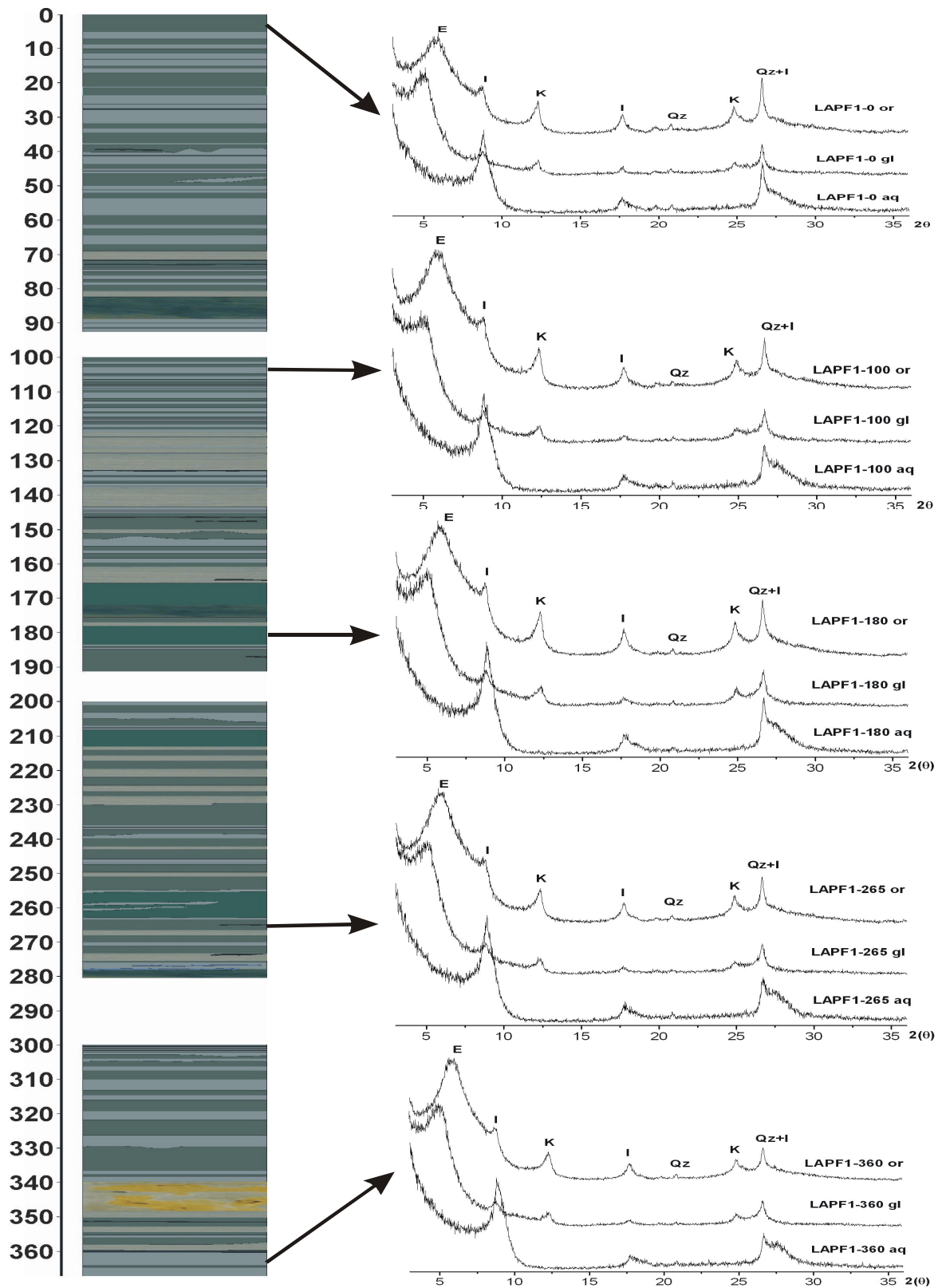
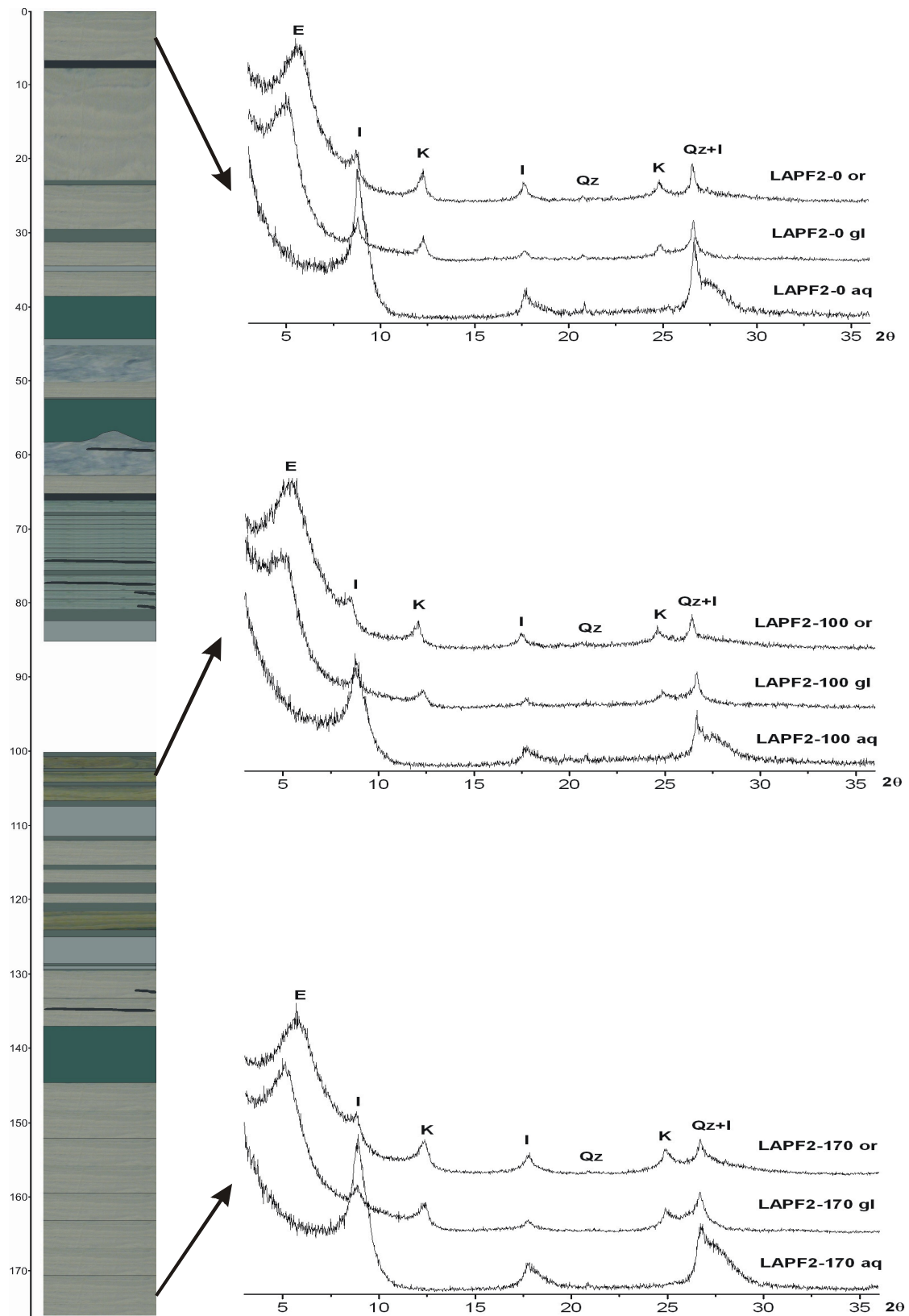


Figura 75 - Principais minerais de argila constituintes do testemunho LAPF1 identificados por difração de raios-X. Esmectita (E); illita (I); caulinita (K); quartzo (Qz). Orientada (or); Glicolada (gl); Aquecida (aq).



**Figura 76 - Principais minerais de argila constituintes do testemunho LAPF2 identificados por difração de raios-X. Esmectita (E); illita (I); caulinita (K); quartzo (Qz). Orientada (or); Glicolada (gl); Aquecida (aq).**

A identificação de esmectita nos sedimentos foi elucidada pela reflexão característica  $d=15,3 \text{ \AA}$  nas amostras de lâmina orientada e  $d=17,0 \text{ \AA}$ , após o tratamento com etileno glicol. Os picos alargados na base indicam que se trata de esmectita de baixa cristalinidade.

A caracterização de illita fundamentou-se na reflexão  $d=10,0 \text{ \AA}$  que não variou após o tratamento com etileno glicol e nem após o aquecimento.

Já a caulinita foi identificada pela reflexão  $d=7,1 \text{ \AA}$  que desaparece após o aquecimento.

Os cálculos semiquantitativos das proporções de minerais de argila por difração de raios-X, segundo método de Gomes (1986) mostram que o mineral de argila mais abundante nos sedimentos do lago Amapá é a illita seguido da caulinita, cujo valor mais elevado ocorre a 265 cm de profundidade no furo F1 (45 %) (Tabela 7). A 170 cm de profundidade do furo F2, há predominância de esmectita (62 %) e caulinita (34 %) em detrimento da quantidade de illita (4%) (Figura 77).

**Tabela 7 - Distribuição da quantidade (%) de minerais de argila nos sedimentos do lago Amapá.**

<b>PERFIS</b>	<b>Profundidades (cm)</b>	<b>Caulinita</b>	<b>Illita</b>	<b>Esmectita</b>
<b>LAPF1</b>	0	25	47	28
	100	35	48	17
	180	35	46	19
	265	45	35	20
	360	23	54	23
<b>LAPF2</b>	0	22	56	22
	100	24	62	14
	170	34	4	62
<b>LAPF3</b>	0	34	51	15
	85	31	51	18
	185	29	41	30
	265	31	50	19



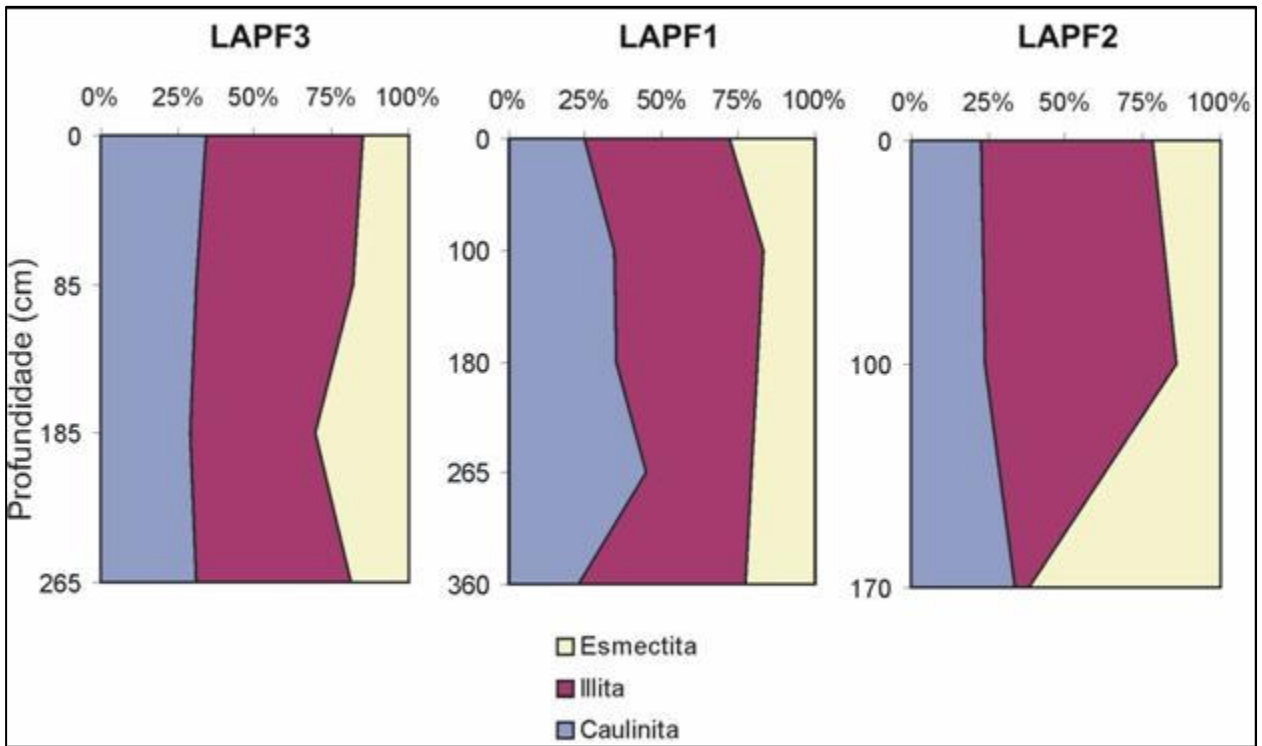


Figura 77 - Distribuição de minerais de argila ao longo dos perfis estudados.

Segundo Margalef (1983), a caulinita predomina em lagos de pH inferior a 7, em países de clima chuvoso e em lugares circundados por rochas ricas em metais alcalinos. A illita forma-se especialmente quando o pH está próximo da neutralidade e a quantidade de esmectita (montmorilonita) aumenta em condições de pH mais alto. No entanto, em parte, esses minerais já chegaram à bacia do lago Amapá no suspensato trazido pelo rio Acre. Provavelmente, a fonte de onde está sendo trazido o material em suspensão, sedimentos da Formação Solimões, tivera condições favoráveis à formação desses minerais de argila.

### 3.3.2.2 Caracterização Micromorfológica e Química por MEV

#### Vivianita

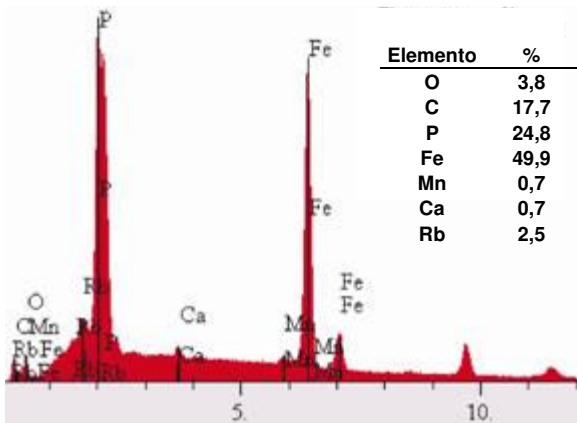
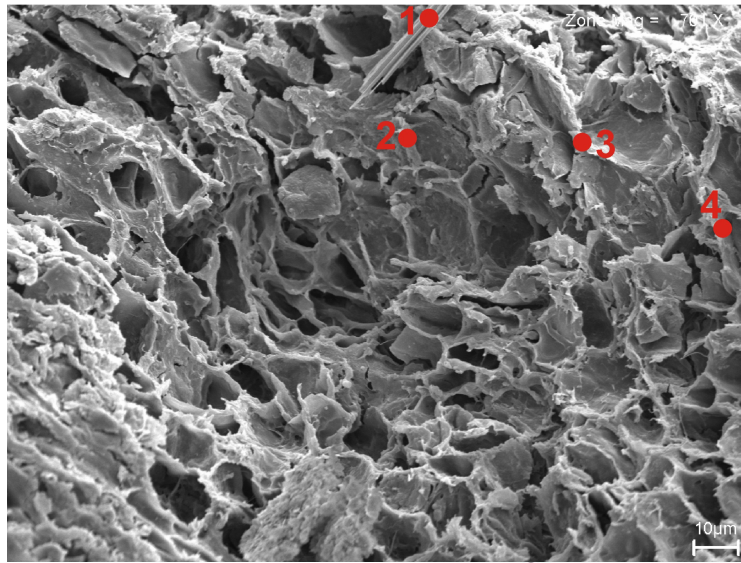
Ao longo dos três furos, foram encontrados materiais de coloração azulada associados à matéria orgânica ou substituindo, como pseudomorfo, a estrutura vegetal (folha). Análises semiquantitativas de MEV sugerem tratar-se de vivianita. Em alguns pontos, o material ainda preserva a estrutura do material orgânico que lhe serviu como molde quando do início de sua formação (Figura 78).

Segundo Fagel *et al.* (2004), fosfatos, tais como vivianita [ $\text{Fe}_3^{2+}(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ], têm sido identificados em sedimentos lacustres por todo o mundo: no lago Baikal na Rússia (Deike *et al.*, 1997; Fagel *et al.*, 2004), no lago Ossa em Camarões (Sifeddine *et al.*, 2004) e Padauri-Barcelos no Amazonas (Costa & Lemos, 2000). A vivianita é um mineral comum em sedimentos lacustres e pantanosos (Postma, 1981), onde é, provavelmente, o orto-fosfato de  $\text{Fe}^{2+}$  mais estável.

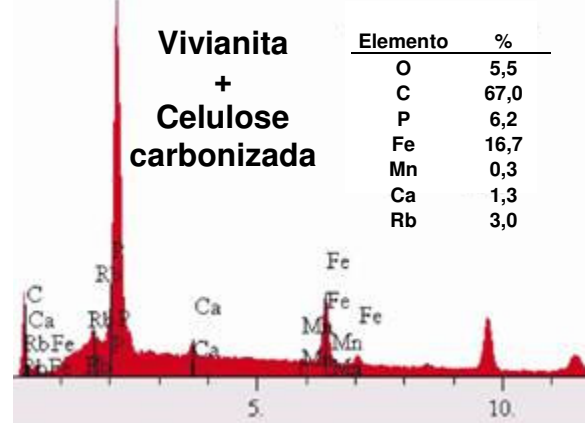
São requeridas altas atividades de íons ferrosos e fosfatos, tanto quanto baixa atividade de sulfatos, para estabilizar a vivianita na maioria dos sistemas. Este mineral é um constituinte estável em sedimentos lacustres redutores (Nriagu<sup>12</sup> *apud* Fagel *et al.*, 2004).

---

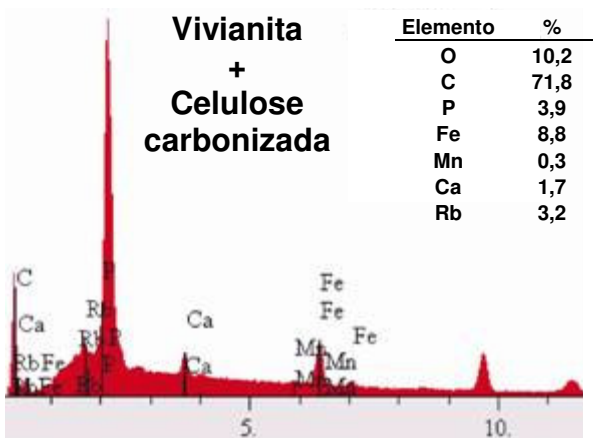
<sup>12</sup> NRIAGU, J. O. - Stability of vivianite and iron-pair formation in the system  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$ . *Geochim. Cosmochim. Acta* 36, 459-470. 1972.



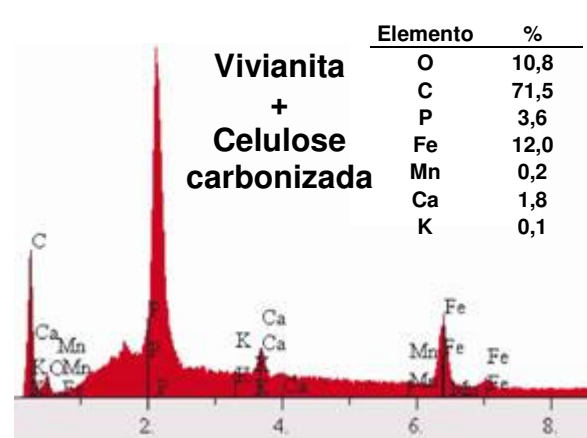
Análise do Ponto 1



Análise do Ponto 2



Análise do Ponto 3

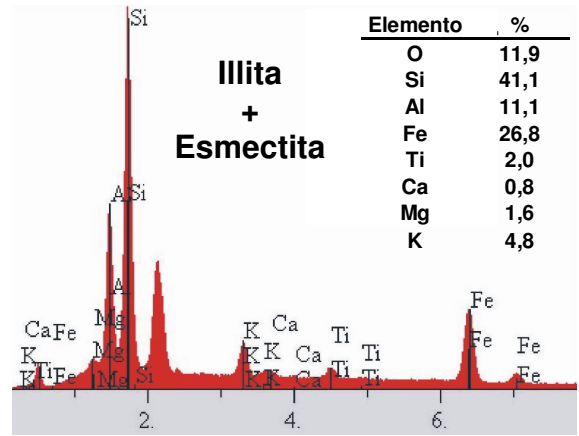
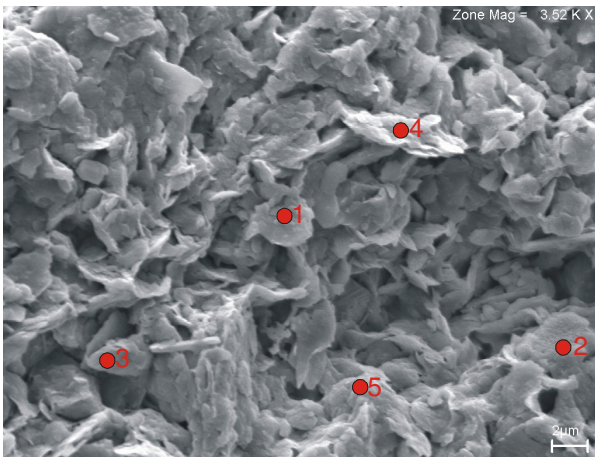


Análise do Ponto 4

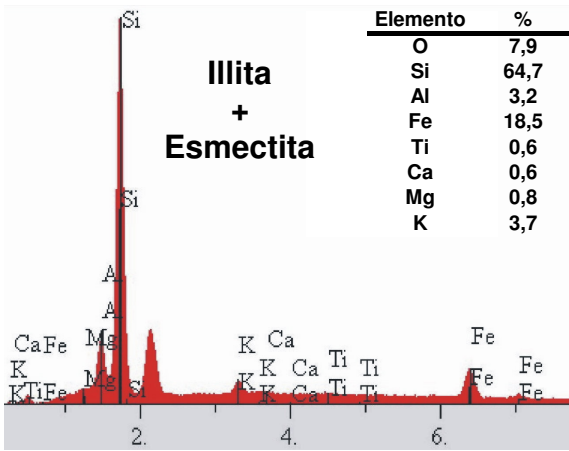
Figura 78 - Imagem MEV da amostra LAPF1-23 representando a estrutura vegetal sendo substituída por vivianita e espectros SED de análise química semiquantitativa. O valor elevado de C representa o carbono da celulose.

## Minerais de Argila e Feldspatos

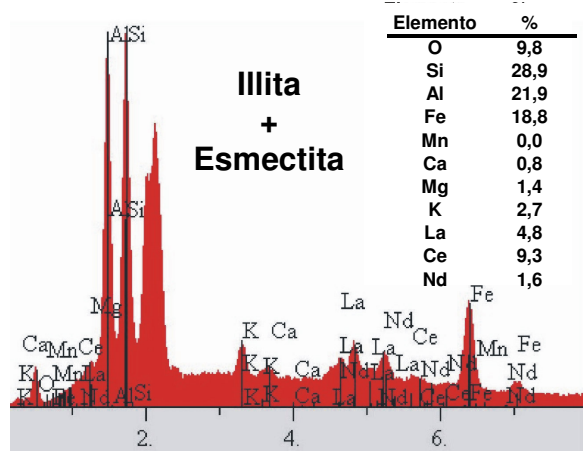
Assim como a DRX, as análises de MEV-EDS auxiliaram na identificação dos minerais de argila esmectita, illita e caulinita, bem como de feldspatos. As imagens de MEV acopladas com EDS permitiram confirmar a presença de illita (Figuras 79 e 80) ainda com um óxido de ETR (La, Ce), provavelmente cerianita - devido a altos teores de Ce em algumas análises EDS -, e um mineral de bário, um provável feldspato (Figura 81, análise 4), celsiana, já que não foi detectado S, para que fosse interpretado como barita.



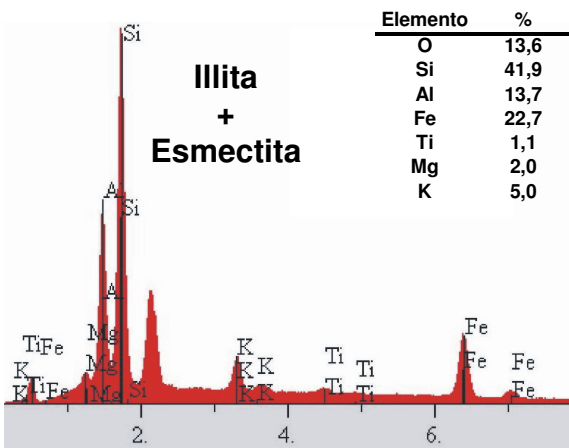
**Análise do Ponto 1**



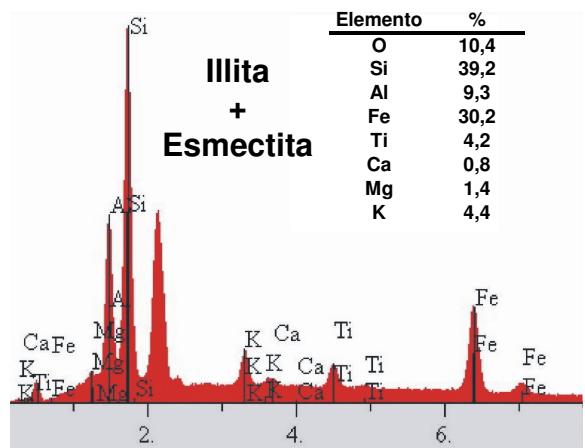
**Análise do Ponto 2**



**Análise do Ponto 3**

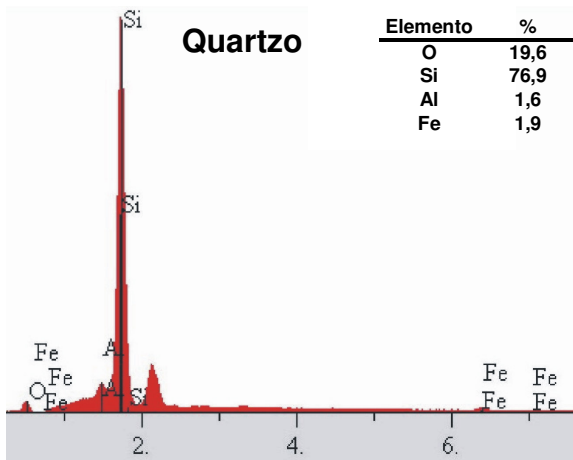
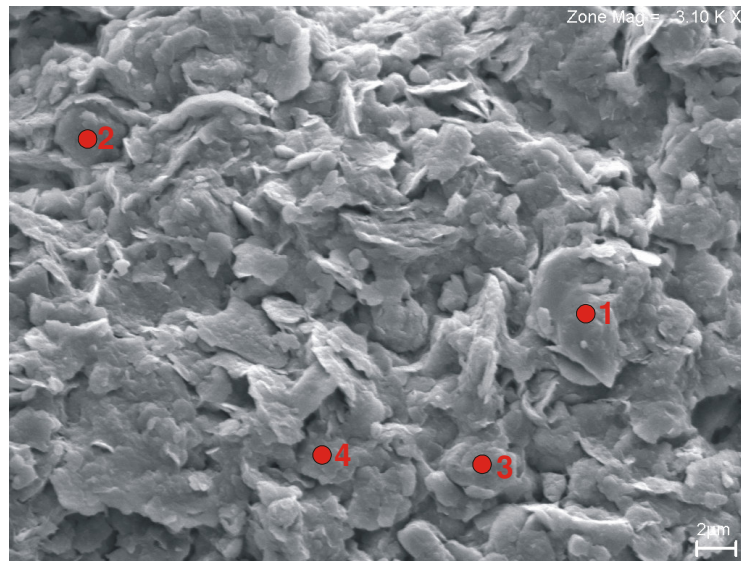


**Análise do Ponto 4**

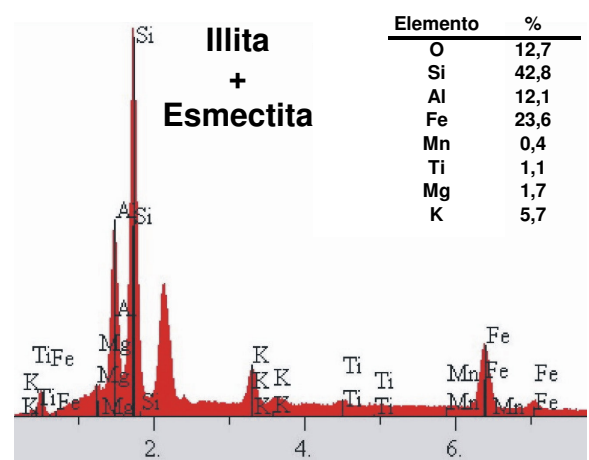


**Análise do Ponto 5**

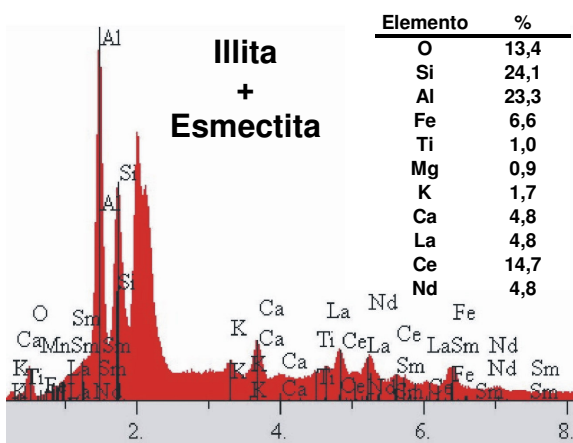
**Figura 79 - Imagem MEV da amostra LAF1-10a na seção 89-91 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa indicativa de illita, esmectita e, provavelmente, cerianita.**



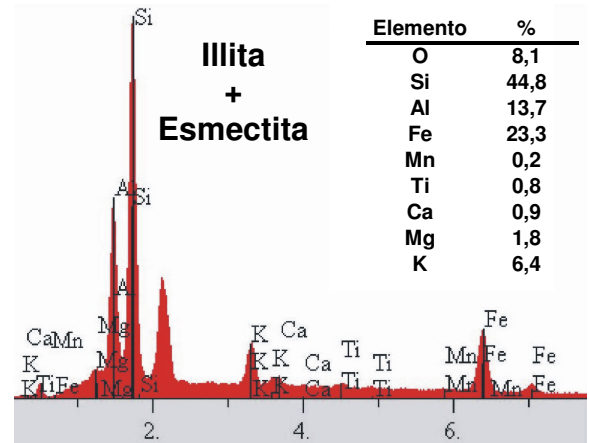
Análise do Ponto 1



Análise do Ponto 2



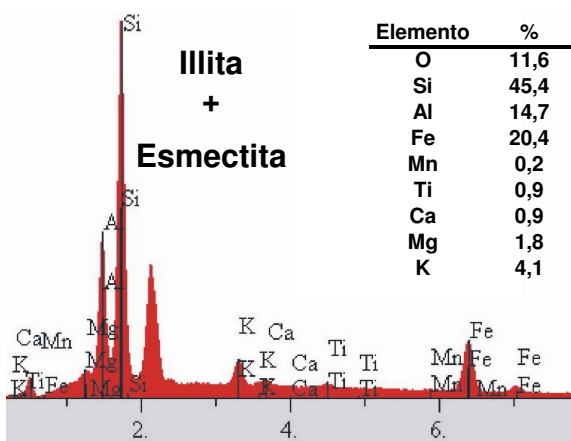
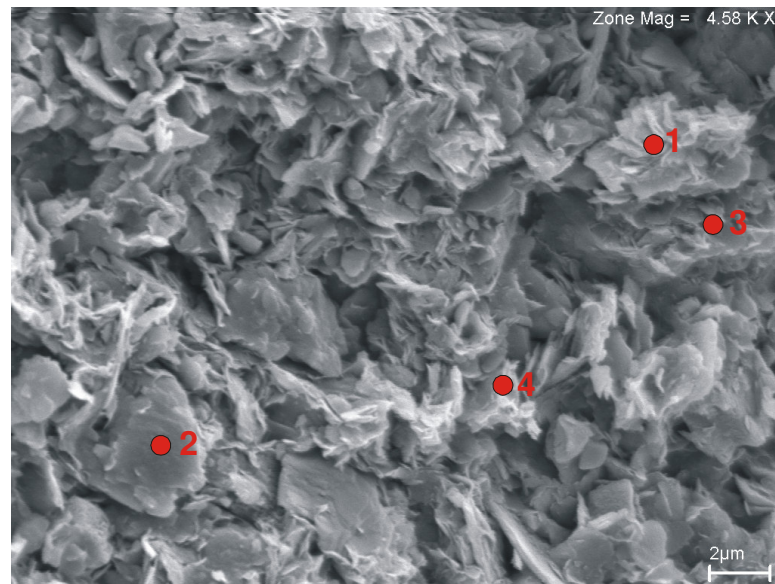
Análise do Ponto 3



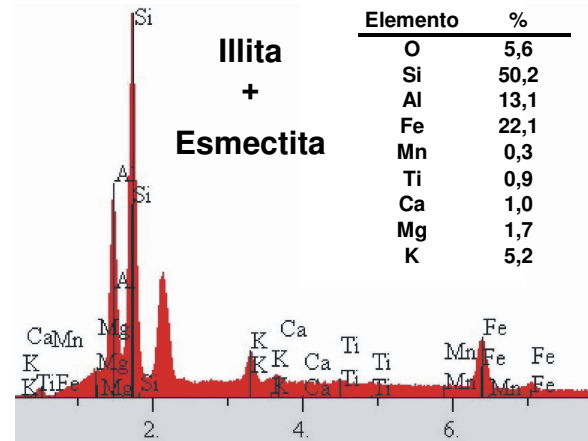
Análise do Ponto 4

Figura 80 - Imagem MEV da amostra LAPP1-10b na seção 89-91 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa indicativa de quartzo, illita, esmectita e, provavelmente, cerianita.

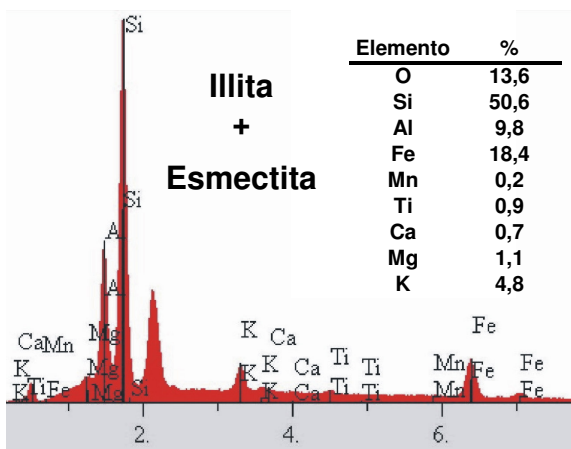




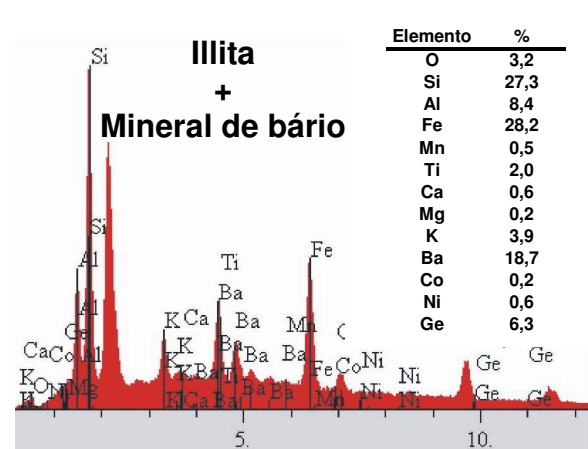
Análise do Ponto 1



Análise do Ponto 2

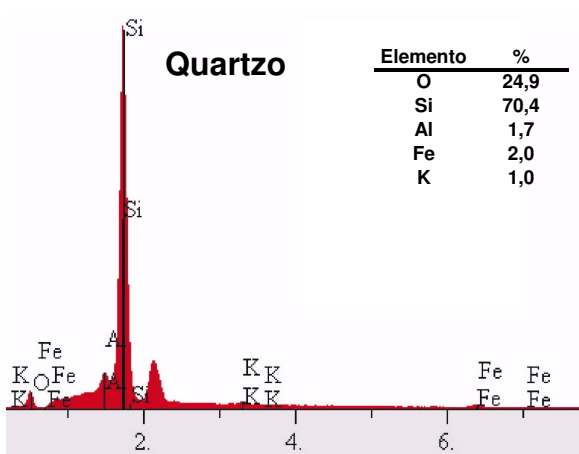
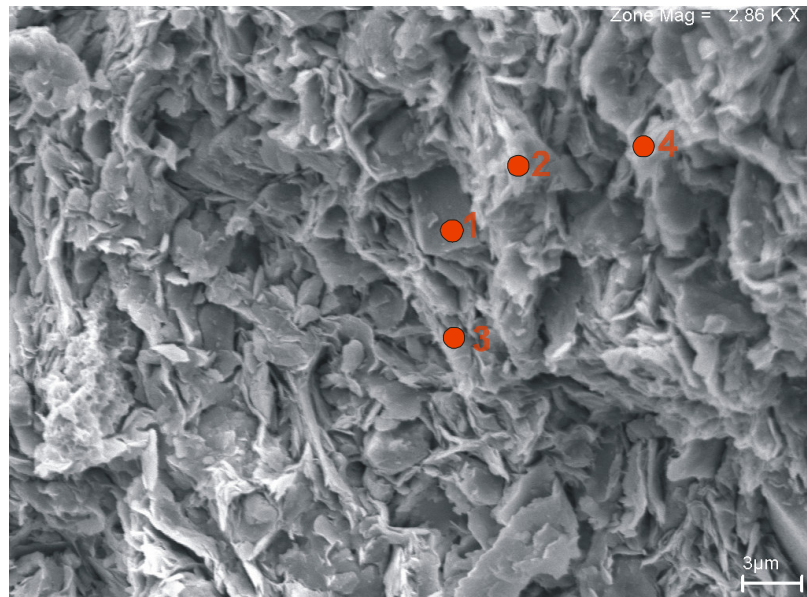


Análise do Ponto 3

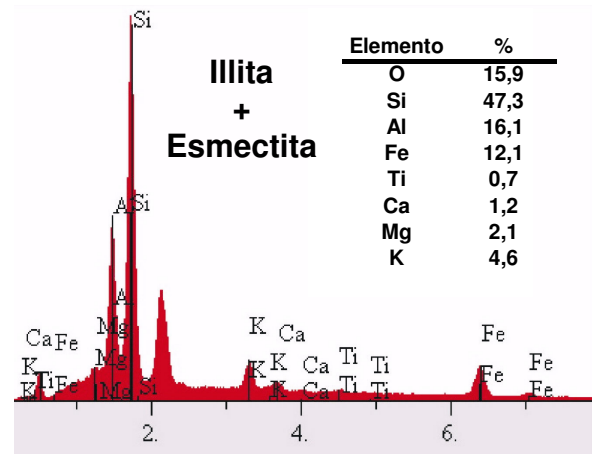


Análise do Ponto 4

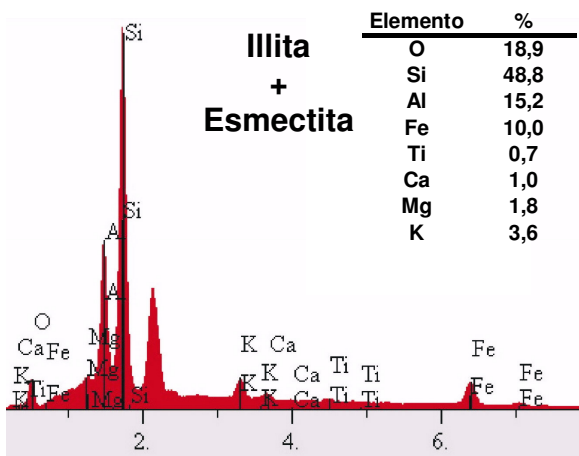
Figura 81 - Imagem MEV da amostra LAPP1-12 na seção 112-114 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa, indicando illita, esmectita e provável celsiana. Ocorrem valores significativos de Ge cuja fase mineral não foi identificada.



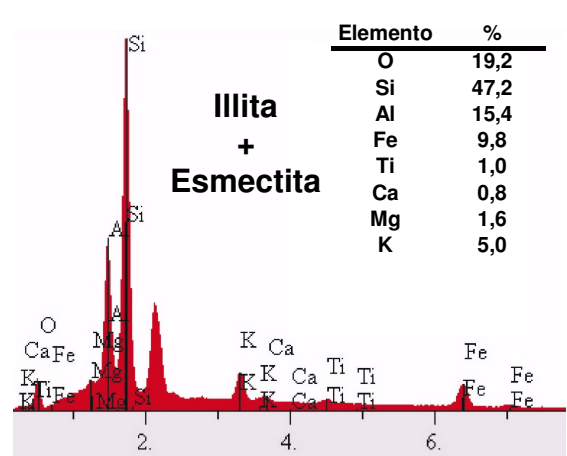
**Análise do Ponto 1**



**Análise do Ponto 2**



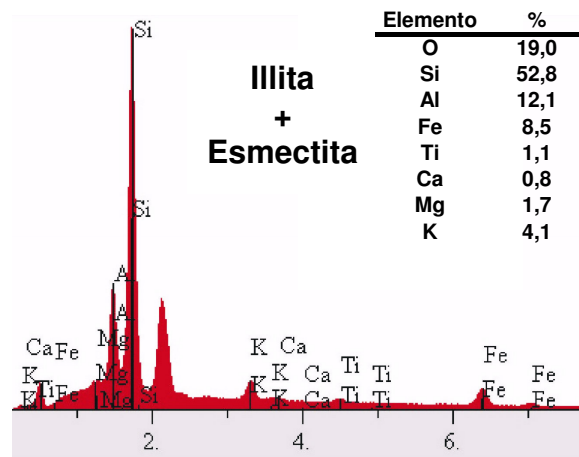
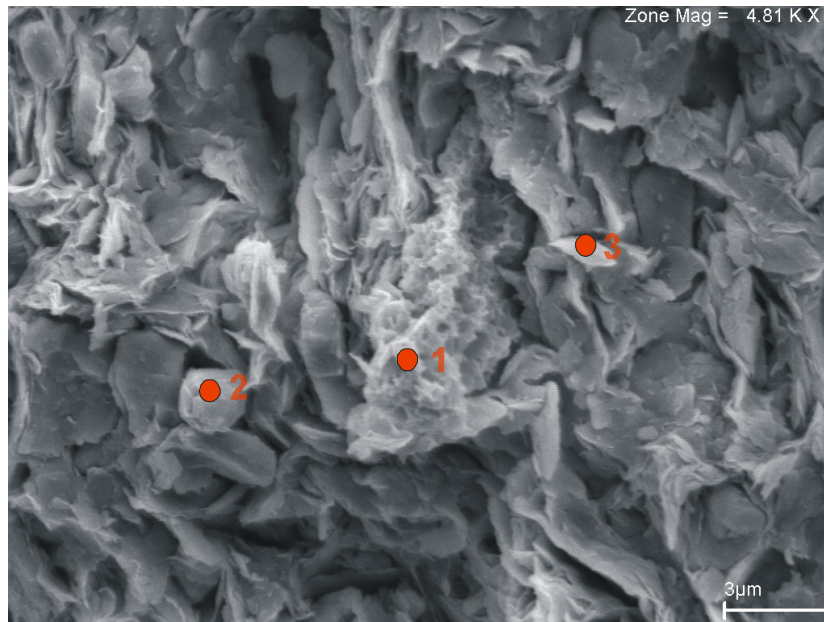
**Análise do Ponto 3**



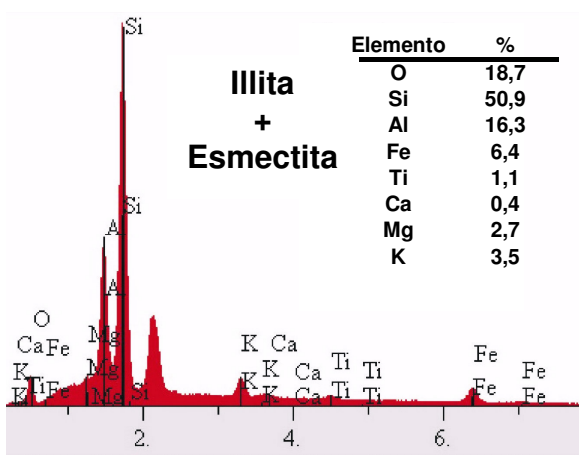
**Análise do Ponto 4**

**Figura 82 - Imagem MEV da amostra LAPP1-22b na seção 201-203 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa, indicando quartzo, illita e esmectita.**

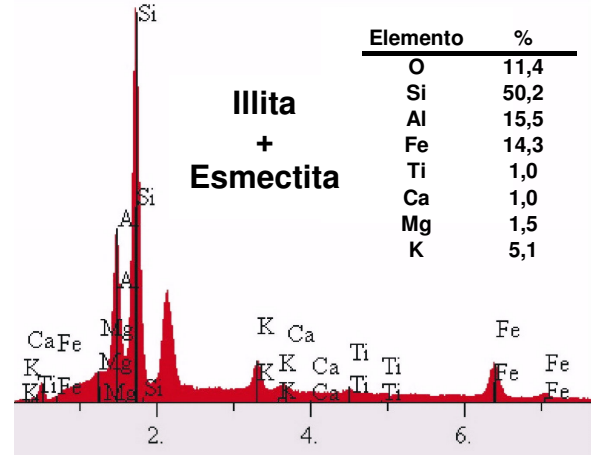




**Análise do Ponto 1**



**Análise do Ponto 2**



**Análise do Ponto 3**

**Figura 83 - Imagem MEV da amostra LAPP1-22c na seção 201-203 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa, indicando illita, esmectita e quartzo.**

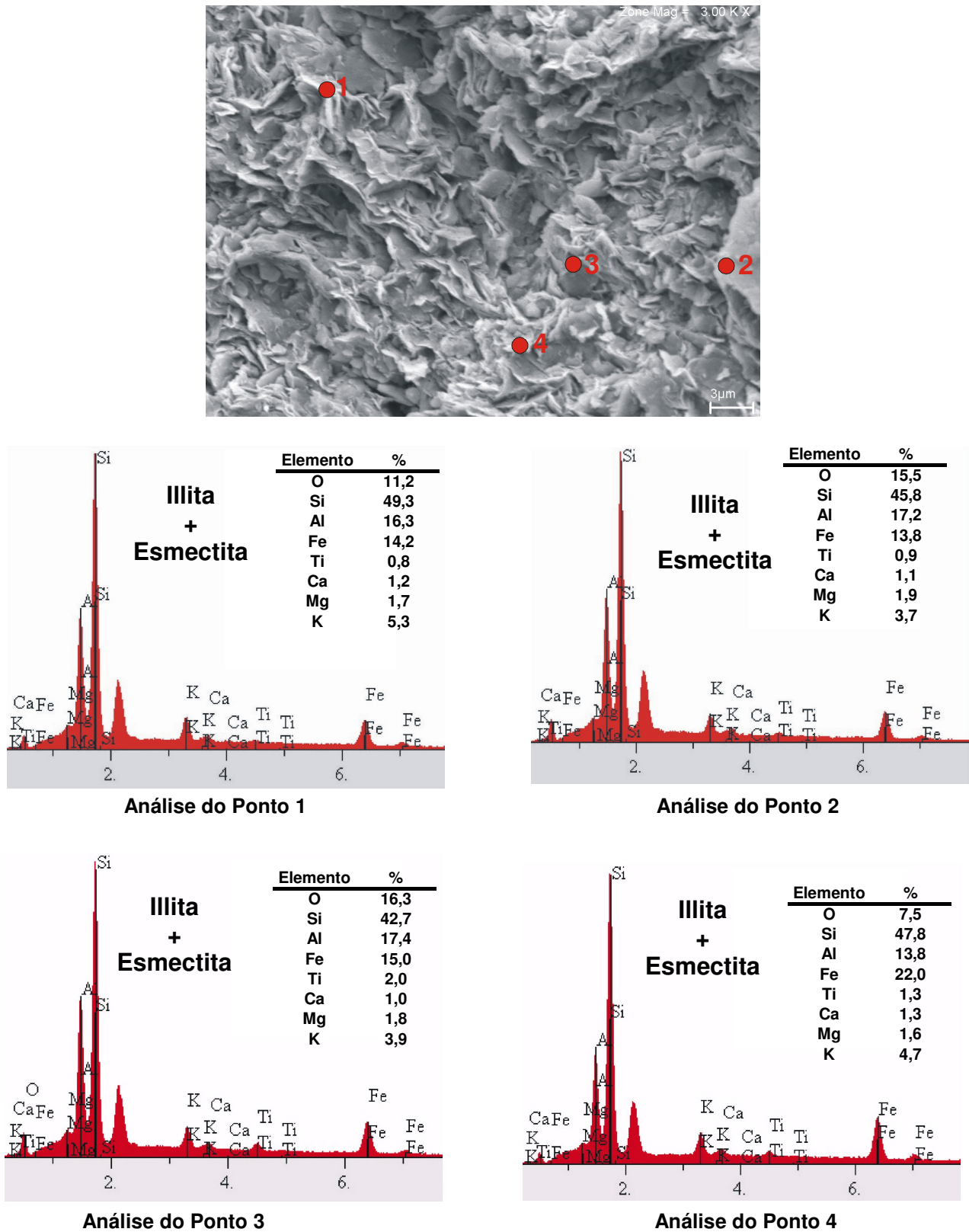
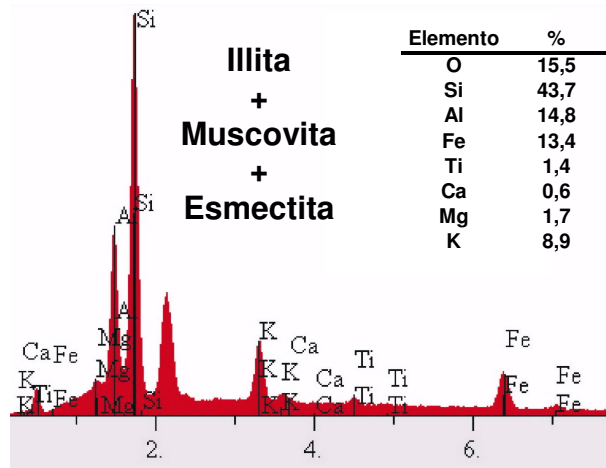
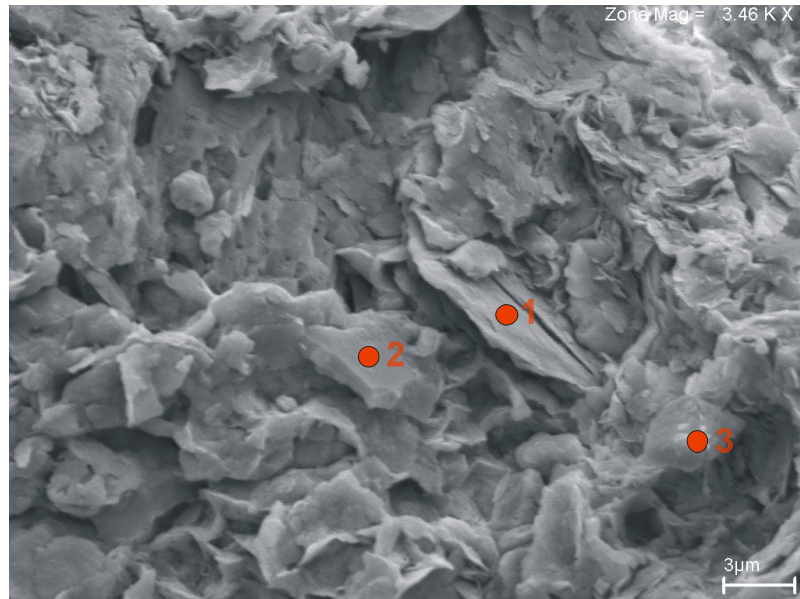
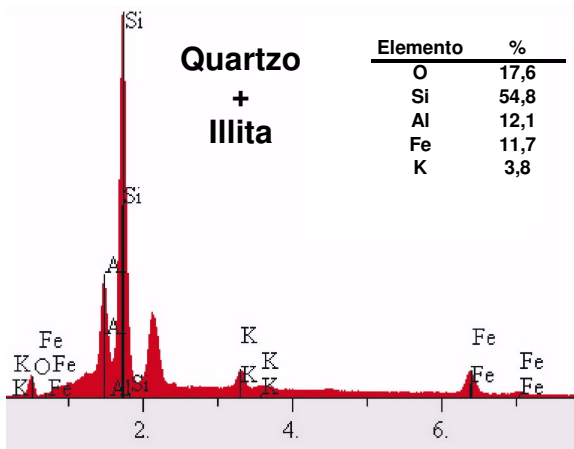


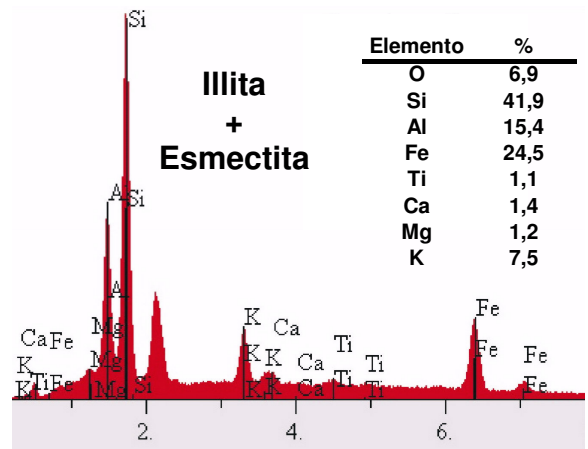
Figura 84 - Imagem MEV da amostra LAPP1-31a na seção 255-256 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa de illita e esmectita.



**Análise do Ponto 1**

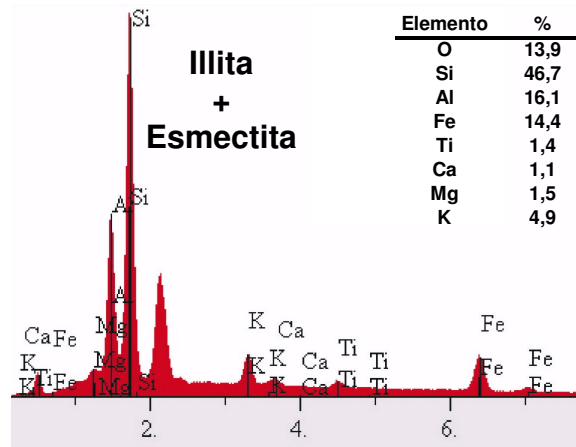
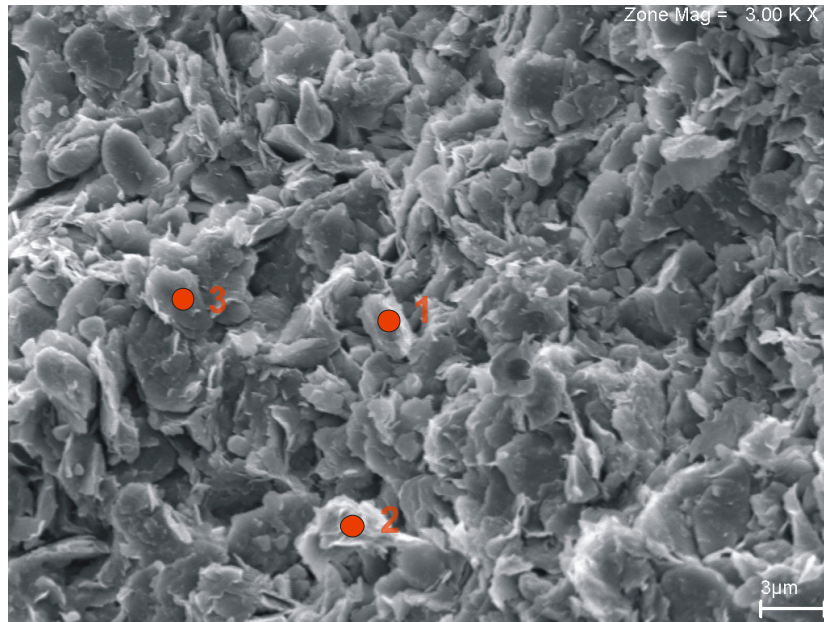


**Análise do Ponto 2**

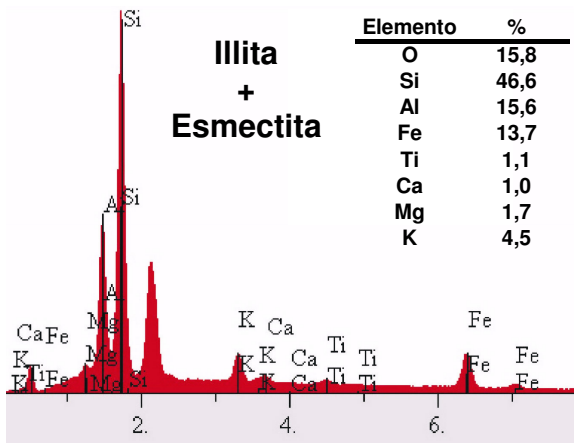


**Análise do Ponto 3**

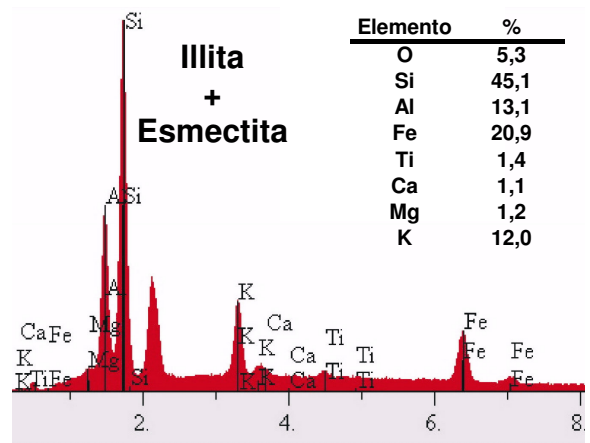
**Figura 85 - Imagem MEV da amostra LAPF1-31b na seção 255-256 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa de illita, esmectita e quartzo.**



**Análise do Ponto 1**



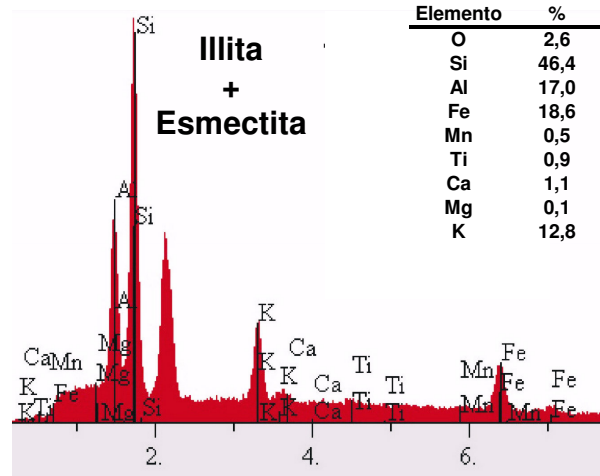
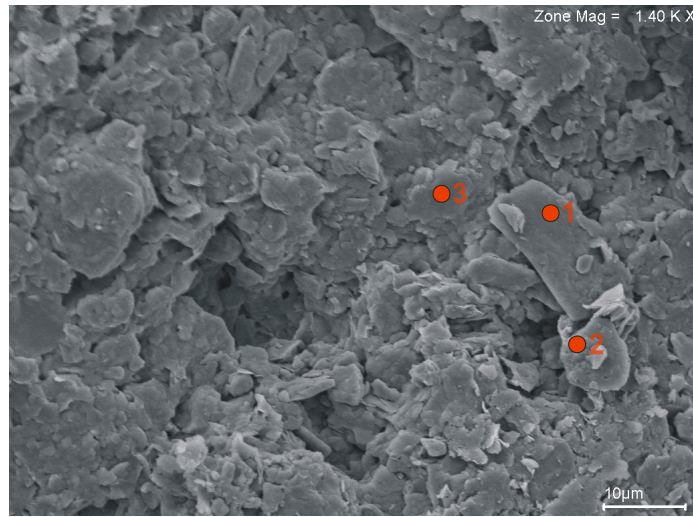
**Análise do Ponto 2**



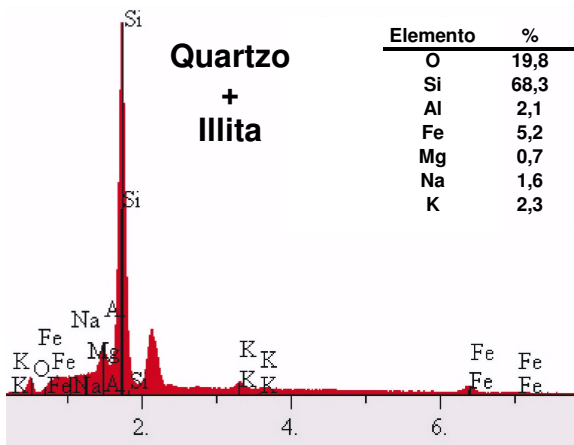
**Análise do Ponto 3**

**Figura 86 - Imagem MEV da amostra LAPF1-39 na seção 310-312 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa de illita e esmectita.**

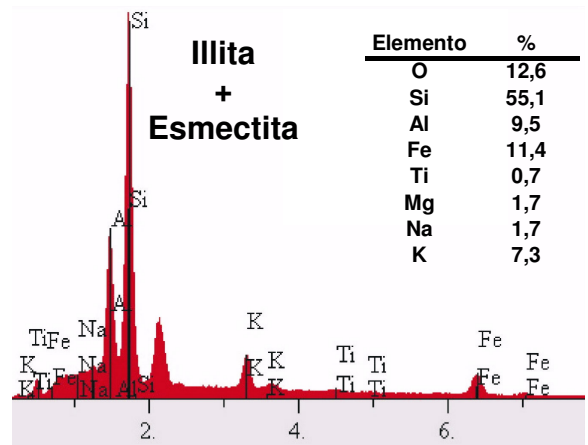




Análise do Ponto 1

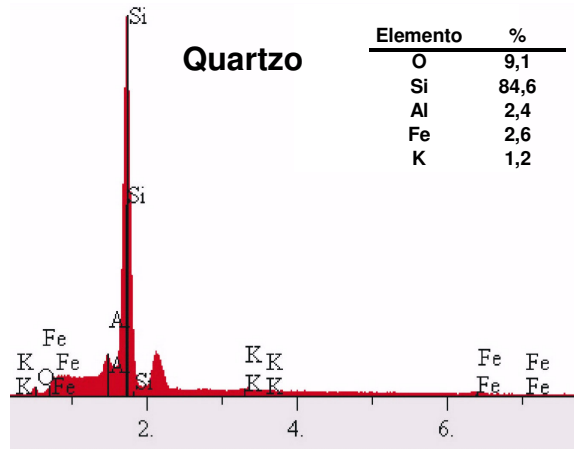
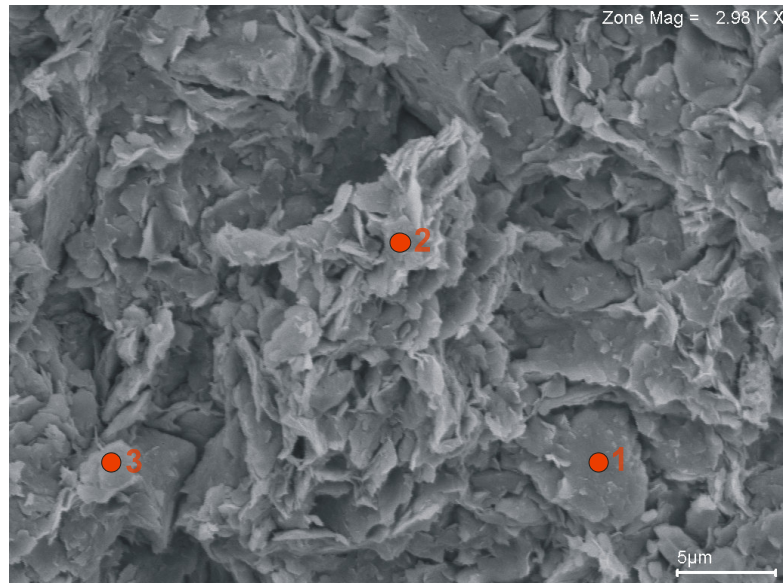


Análise do Ponto 2

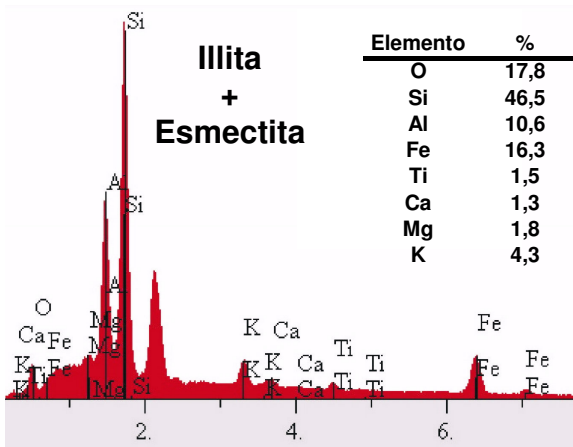


Análise do Ponto 3

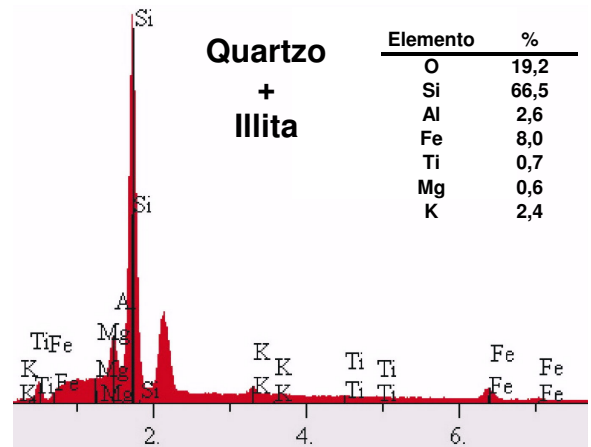
Figura 87 - Imagem MEV da amostra LAPF1-47b na seção 354-356 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa de illita, esmectita e quartzo.



Análise do Ponto 1

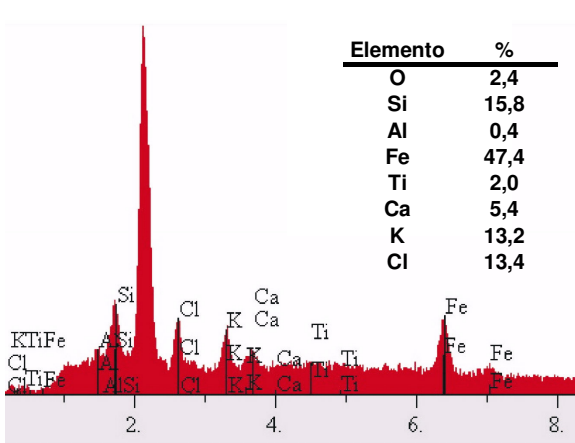
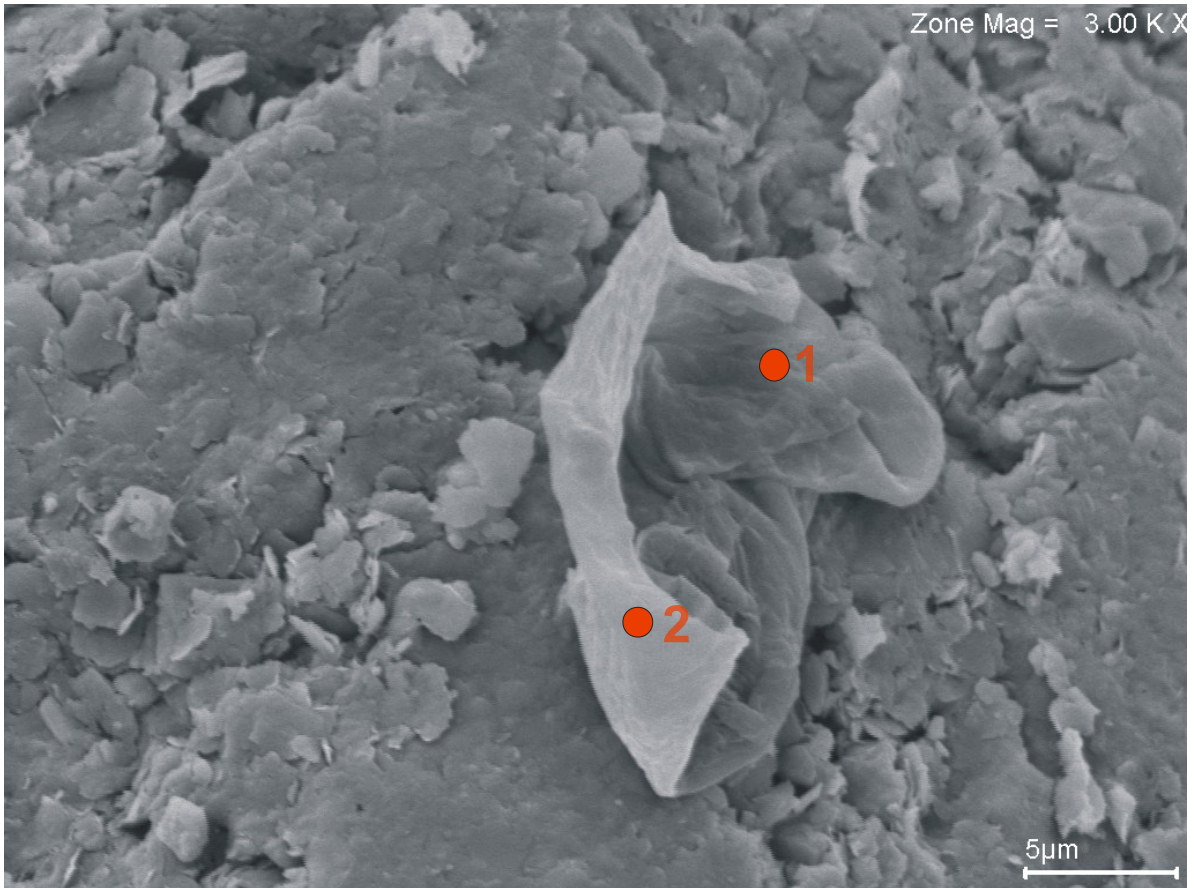


Análise do Ponto 2

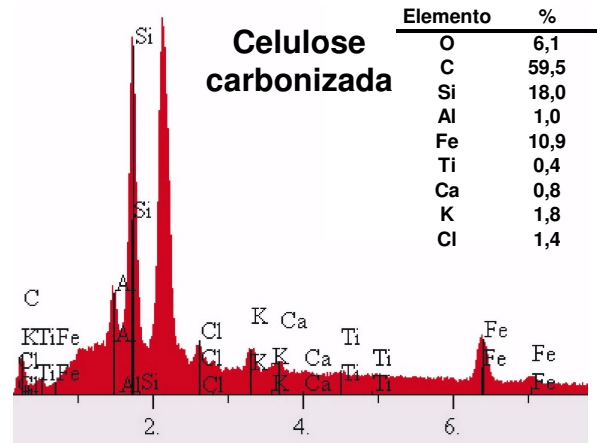


Análise do Ponto 3

Figura 88 - Imagem MEV da amostra LAPP1-47c na seção 354-356 cm de profundidade e espectros SED de análise química semiquantitativa de illita, esmectita e quartzo.



Análise do Ponto 1



Análise do Ponto 2

Figura 89 - Imagem MEV da amostra LAPF1-47a na seção 354-356 cm de profundidade e gráficos SED de análise química semiquantitativa, indicativo de argilominerais, quartzo e feldspatos. Na análise 1, observa-se  $KCl$ , sal este provavelmente precipitado em decorrência da evaporação da água do sedimento durante o tempo de armazenamento da amostra.

A presença de diatomáceas foi confirmada no meio de illita e esmectita (Figura 90).

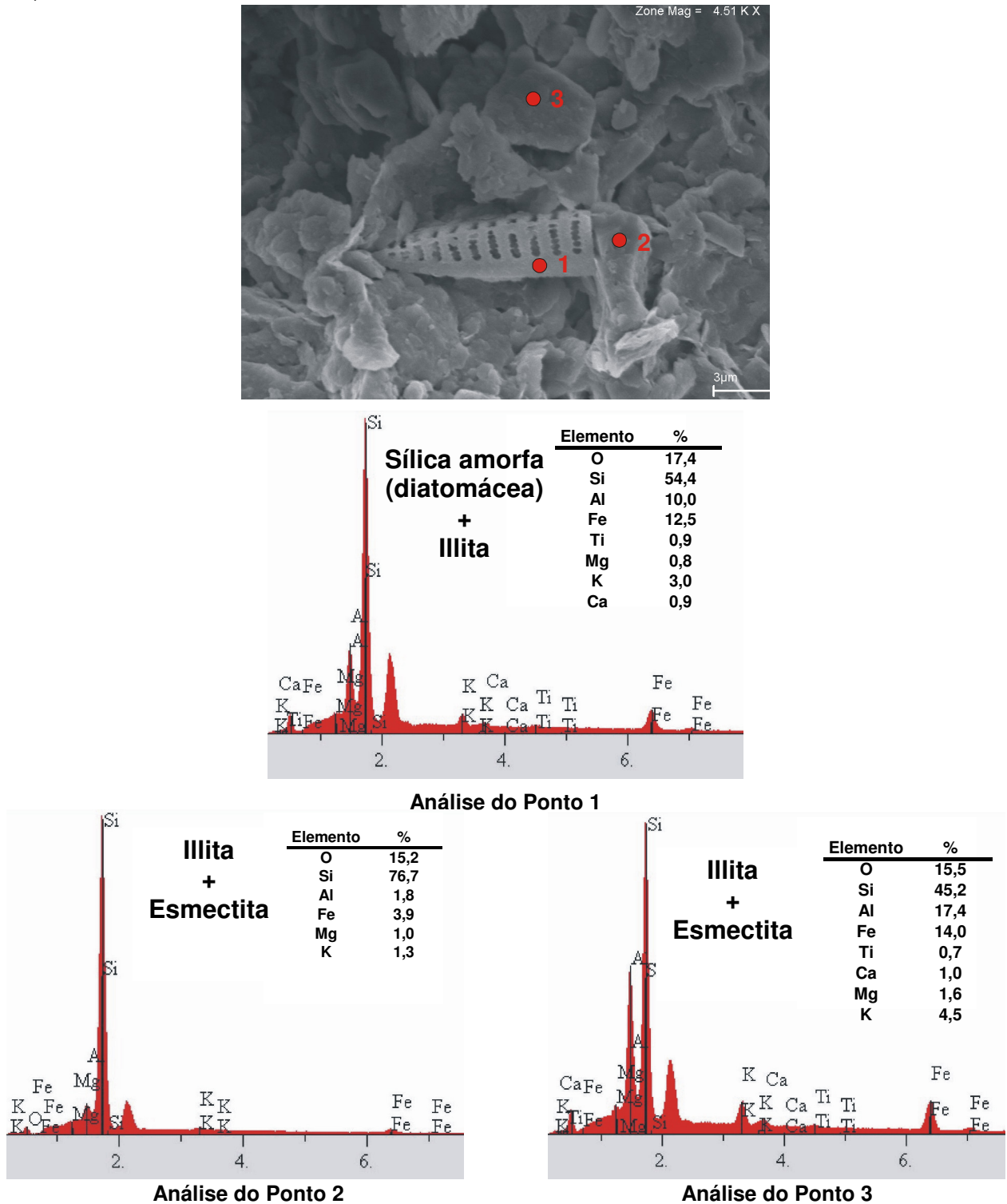


Figura 90 - Imagem MEV da amostra LAPF1-22a na seção 201-203 cm de profundidade e gráficos SED de análise química semiquantitativa, indicativo de argilominerais, quartzo e feldspatos. Pode-se observar a imagem de uma diatomácea entre os minerais de argila.



### 3.3.3 Aspectos Químicos

#### 3.3.3.1 Eh e pH

Os valores de pH nos sedimentos de fundo do lago Amapá variam entre 4 e 5 (pH ácido) (Figuras 91, 92 e 93). Nos furos F3 e F1, o pH tende a diminuir da base para o topo - em correlação inversa com o Eh, que tende a aumentar nesse sentido - enquanto que no furo F2 há tendência de aumento para o topo, principalmente, nos primeiros 80 cm de profundidade.

Os valores de Eh variam de +300 a +450 mV (Figuras 91, 92 e 93) e tendem a aumentar da base para o topo. Esse domínio ocorre acentuadamente a partir de 180 cm nos perfis LAPF1 e LAPF3 e a partir de 80 cm no LAPF2. Observa-se nos perfis dos furos F3 e F1, situados em zona de menor influência antrópica em relação ao furo F2 - que está mais próximo às pisciculturas -, que os valores de Eh são mais elevados chegando a +450 mV e os sedimentos mais recentes apresentam uma acidez mais elevada (pH próximo de 4) (Figuras 91 e 92).

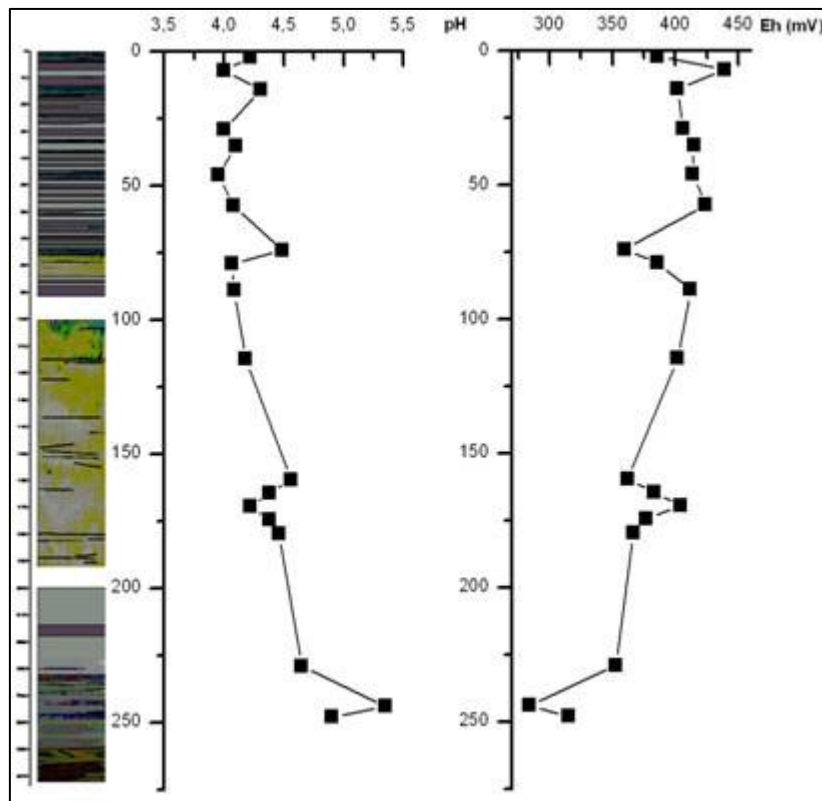


Figura 91 - Variações de pH e Eh com a profundidade (cm) no perfil LAPF3.

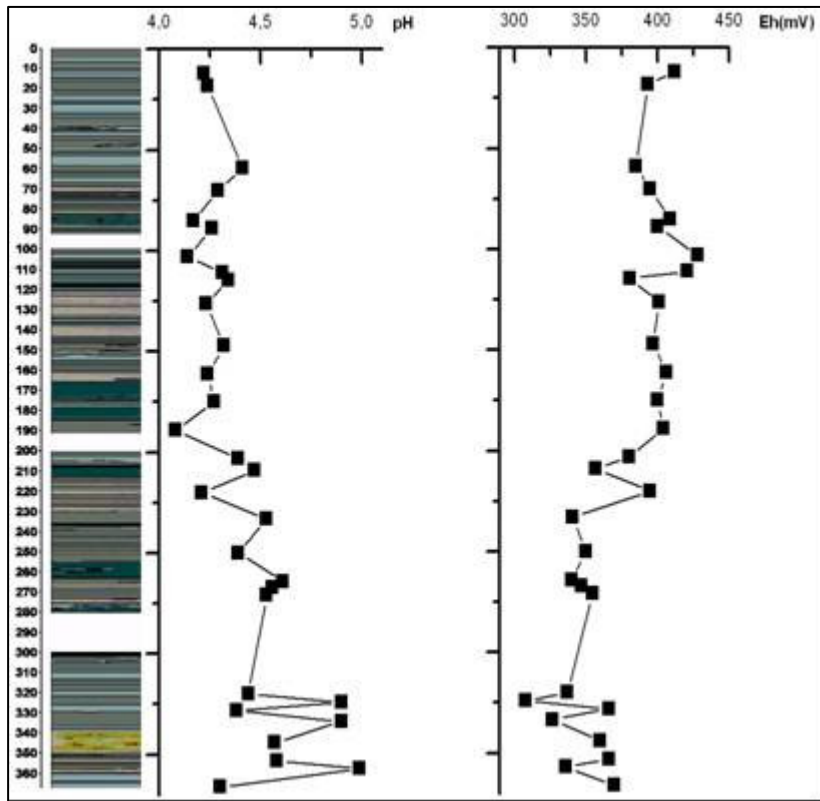


Figura 92 - Variações de pH e Eh com a profundidade (cm) no perfil LAF1.

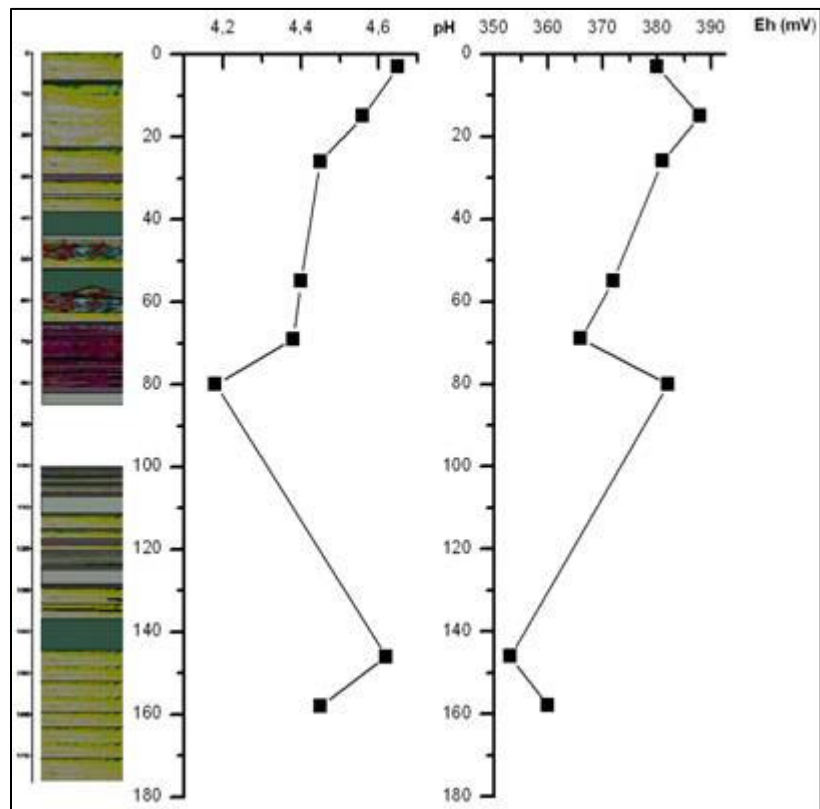


Figura 93 - Variações de pH e Eh com a profundidade (cm) no perfil LAF2.

Esses valores de pH e Eh dos sedimentos de fundo desse lago de meandro abandonado do rio Acre mostram-se semelhantes aos valores encontrados nos sedimentos da Lagoa Grande em Carajás (pH entre 3,9 e 5,4, diminuindo com a profundidade) (Costa *et al.*, 2005a), cujos substratos são de crosta ferruginosa e já completamente eutrofizada. Também se observa comportamento similar com os valores dos sedimentos mais maduros do rio Curuá, que deságua na Baía de Caxiuanã, com pH variando entre 4 e 5 nos primeiros 700 cm de material síltico-argiloso e lama detrítica fina (Behling & Costa, 2000).

Por outro lado, esses resultados mostram-se diferentes quando comparados aos valores encontrados para os sedimentos do lago Crispim no litoral nordeste do Pará que é um lago de surgência de lençol freático e cujos valores de pH são mais elevados do topo a 557 cm de sedimento (entre 5 e 6) caracterizado por seções de depósitos orgânicos, e mais baixos (entre 4 e 4,3) de 557 a 600 cm, intervalo formado por depósito arenoso (Behling & Costa, 2001).

Em termos gerais, nos sedimentos de fundo do lago Amapá, o pH tende a diminuir e o potencial oxidativo tende a aumentar em direção às camadas superiores, sugerindo maior atividade de decomposição da matéria orgânica. Contudo, a quantidade de matéria orgânica que se acumulou intercalando-se com os sedimentos inorgânicos é maior em tempos mais recentes.

No furo F2, a rápida sedimentação devido à ação antrópica não permitiu a decomposição da matéria orgânica o que se reflete nas medições de Eh (mais baixo) e pH (mais elevado) nas camadas mais recentes.

### 3.3.3.2 Matéria Orgânica

Os baixos teores de matéria orgânica encontrados nos sedimentos, aproximadamente 1,82% no topo e 0,5% na base (Figura 94), de acordo com a classificação de Esteves (1988), caracterizam os sedimentos do lago Amapá como inorgânicos ou minerais com predominância de quartzo e argilominerais. Isto foi constatado pelas análises mineralógicas (DRX e MEV) e químicas. Em termos gerais, a quantidade de matéria orgânica aumenta para o topo tanto nas bandas claras (BC) quanto nas bandas escuras (BE).

A grande contribuição de material orgânico para o lago Amapá vem de folhas da mata ciliar e matéria orgânica fina de microrganismos que eventualmente vem se depositando junto com o material em suspensão provindo do rio.

À medida que ocorre a eutrofização, aumenta a quantidade de algas no ambiente e, assim, mais intensa é a atividade de decomposição de matéria orgânica, diminuindo o pH do sedimento em tempos mais recentes.

A tendência de aumento da quantidade de matéria orgânica da base para o topo da seqüência sedimentar reflete a evolução do lago para um futuro estado eutrofizado.

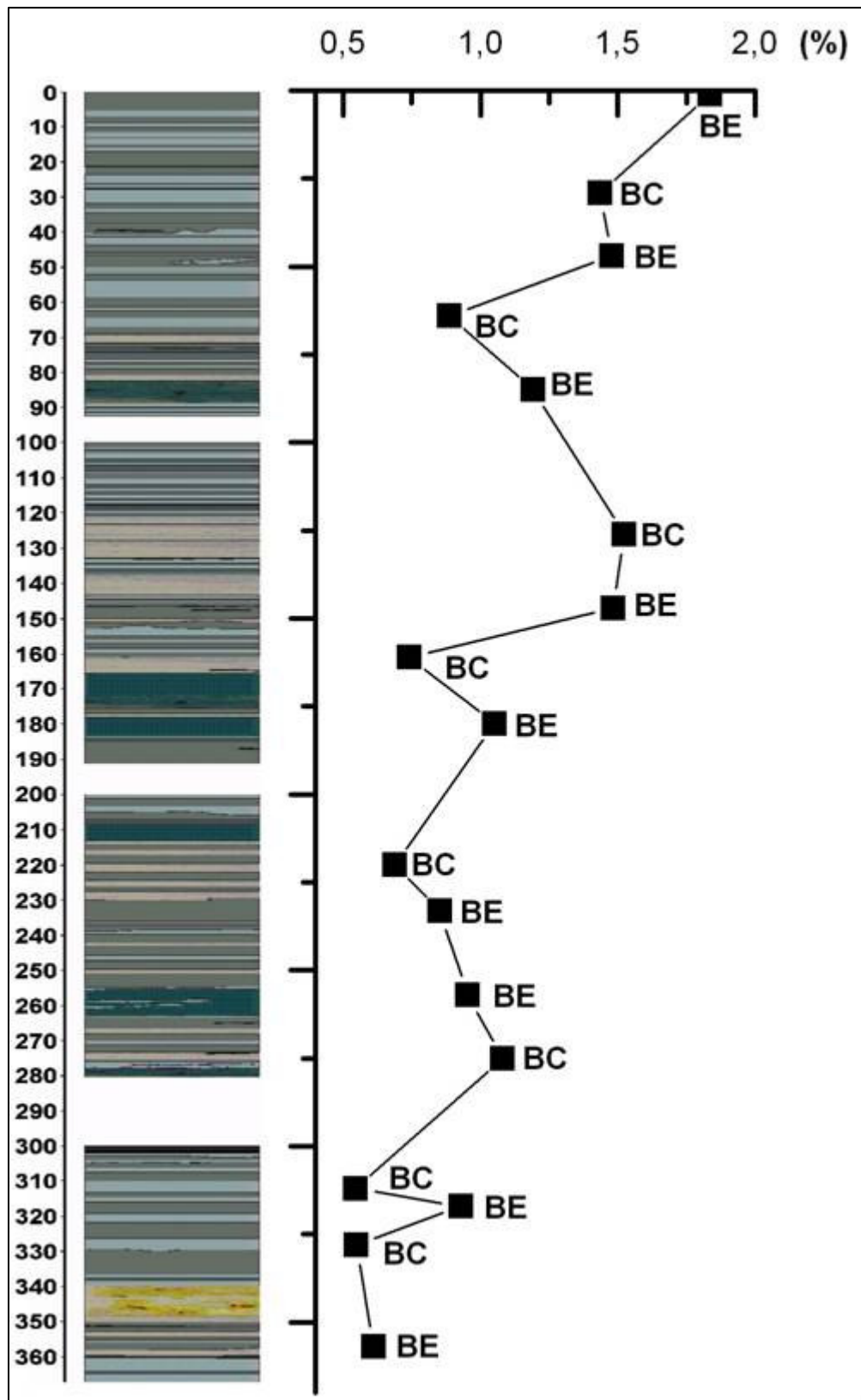


Figura 94 - Variação da quantidade de matéria orgânica no perfil LAPF1, destacando os teores nas Bandas Claras (BC) e Bandas Escuras (BE).

### 3.3.3.3 Elementos Maiores e Menores

A caracterização química dos sedimentos do lago Amapá está representada apenas pelo furo LAPP1. Esses sedimentos são constituídos, principalmente, de SiO<sub>2</sub> (50,13 a 57%) com média de 53,54% e relativo aumento de concentração nas camadas mais profundas (Tabela 8). Seus sedimentos apresentam, ainda, teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (17,9 a 20,2%) também elevados com média de 19,11% e decrescendo com a profundidade. Os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6,43 a 8,25 %) com média de 7,25% aumentam para o topo da seqüência sedimentar. Provavelmente o ferro se encontra representado por sulfetos amorfos ou, ainda, em parte por minerais de argila (esmectita) e compostos organometálicos.

**Tabela 8 - Composições químicas das amostras de sedimento de fundo do furo F1 no lago Amapá comparadas com outras referências (% em peso).**

Amostras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	Total
F1-1	51,99	18,94	7,64	0,148	1,13	0,43	0,28	2,07	1,013	0,16	16,06	99,85
F1-4	54,32	18,57	7,09	0,120	1,14	0,40	0,28	2,17	1,018	0,16	14,62	99,89
F1-5	51,20	19,34	8,21	0,109	1,12	0,36	0,27	2,12	0,977	0,21	15,67	99,60
F1-7	52,60	19,60	7,81	0,108	1,21	0,42	0,26	2,18	1,033	0,14	14,50	99,86
F1-9	50,13	20,20	8,25	0,118	1,23	0,44	0,25	2,21	0,939	0,22	15,54	99,53
F1-14	52,24	19,47	6,43	0,159	1,21	0,48	0,30	2,09	0,961	0,16	15,31	98,81
F1-16	52,52	19,45	7,05	0,164	1,21	0,50	0,30	2,23	0,996	0,21	14,80	99,42
F1-17	54,44	19,20	6,98	0,106	1,24	0,47	0,31	2,25	1,073	0,14	13,71	99,92
F1-20	53,11	19,50	6,84	0,135	1,20	0,51	0,30	2,22	1,014	0,15	14,55	99,53
F1-25	56,06	18,65	6,68	0,096	1,21	0,47	0,34	2,23	1,119	0,12	12,76	99,74
F1-27	53,08	19,06	7,63	0,134	1,18	0,49	0,31	2,12	1,046	0,19	14,62	99,84
F1-31	51,68	19,91	7,62	0,110	1,26	0,52	0,29	2,15	0,981	0,14	14,97	99,64
F1-35	53,32	19,31	7,40	0,114	1,24	0,51	0,31	2,14	1,050	0,14	13,82	99,36
F1-39	56,31	18,75	6,69	0,095	1,22	0,49	0,33	2,15	1,147	0,11	12,71	100
F1-40	54,00	18,57	7,64	0,127	1,18	0,52	0,31	2,07	1,039	0,17	13,97	99,60
F1-43	56,23	18,40	6,65	0,097	1,23	0,51	0,35	2,16	1,139	0,12	12,81	99,69
F1-48	57,00	17,90	6,60	0,127	1,17	0,51	0,36	2,05	1,109	0,12	12,65	99,59
<b>Desvio Padrão</b>	1,97	0,59	0,57	0,020	0,04	0,05	0,03	0,06	0,060	0,03	1,09	
<b>Média Total</b>	<b>53,54</b>	<b>19,11</b>	<b>7,25</b>	<b>0,120</b>	<b>1,20</b>	<b>0,47</b>	<b>0,30</b>	<b>2,15</b>	<b>1,040</b>	<b>0,16</b>	<b>14,30</b>	
<b>Média - BC</b>	54,75	18,93	7,04	0,110	1,21	0,47	0,31	2,18	1,080	0,13	13,56	
<b>Média - BE</b>	52,70	19,23	7,39	0,130	1,19	0,48	0,30	2,13	1,010	0,17	14,81	
<b>CTS</b>	64,92	14,63	4,42	0,070	2,24	4,12	3,46	3,45	0,520	0,15	-	
<b>PAAS</b>	62,80	18,90	6,50	0,110	2,20	1,30	1,20	3,70	1,000	0,16	-	

P.F. - Perda ao fogo.

CTS - Crosta Terrestre Superior (Wedepohl, 1995).

PAAS - Folhelhos Pós-Arqueanos da Austrália (Taylor & McLennan, 1985).

Além daqueles elementos com teores mais elevados, os sedimentos são constituídos também por  $K_2O$  (2,15%),  $MgO$  (1,20%) e  $TiO_2$  (1,04%) que estão acima de 1%,  $CaO$  (0,47%),  $Na_2O$  (0,30%),  $P_2O_5$  (0,16%) e  $MnO$  (0,12%) abaixo de 0,5%. Potássio e  $Mg$  estão relacionados ao mineral de argila illita e, em parte, o segundo se relaciona a esmectita. O  $Ti$  concentra-se possivelmente em minerais de argila. Cálcio e  $Na$  se relacionam a feldspatos e o  $Ca$  ainda, em parte, está relacionado a esmectita.

Assim como os teores de  $SiO_2$ , os de  $Na_2O$ ,  $CaO$ , ( $MgO$ ) e  $TiO_2$  aumentam com a profundidade, enquanto que os de  $MnO$  e  $P_2O_5$  aumentam para o topo da seqüência como os teores de  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$  (Figura 95).

Essas variações indicam um aumento na quantidade de caulinita e minerais de ferro nas camadas superiores, provavelmente refletindo a contribuição de intemperismo químico tropical que atingiu a região. O típico aumento de fósforo pode ter sido causado pela ação antrópica recente.

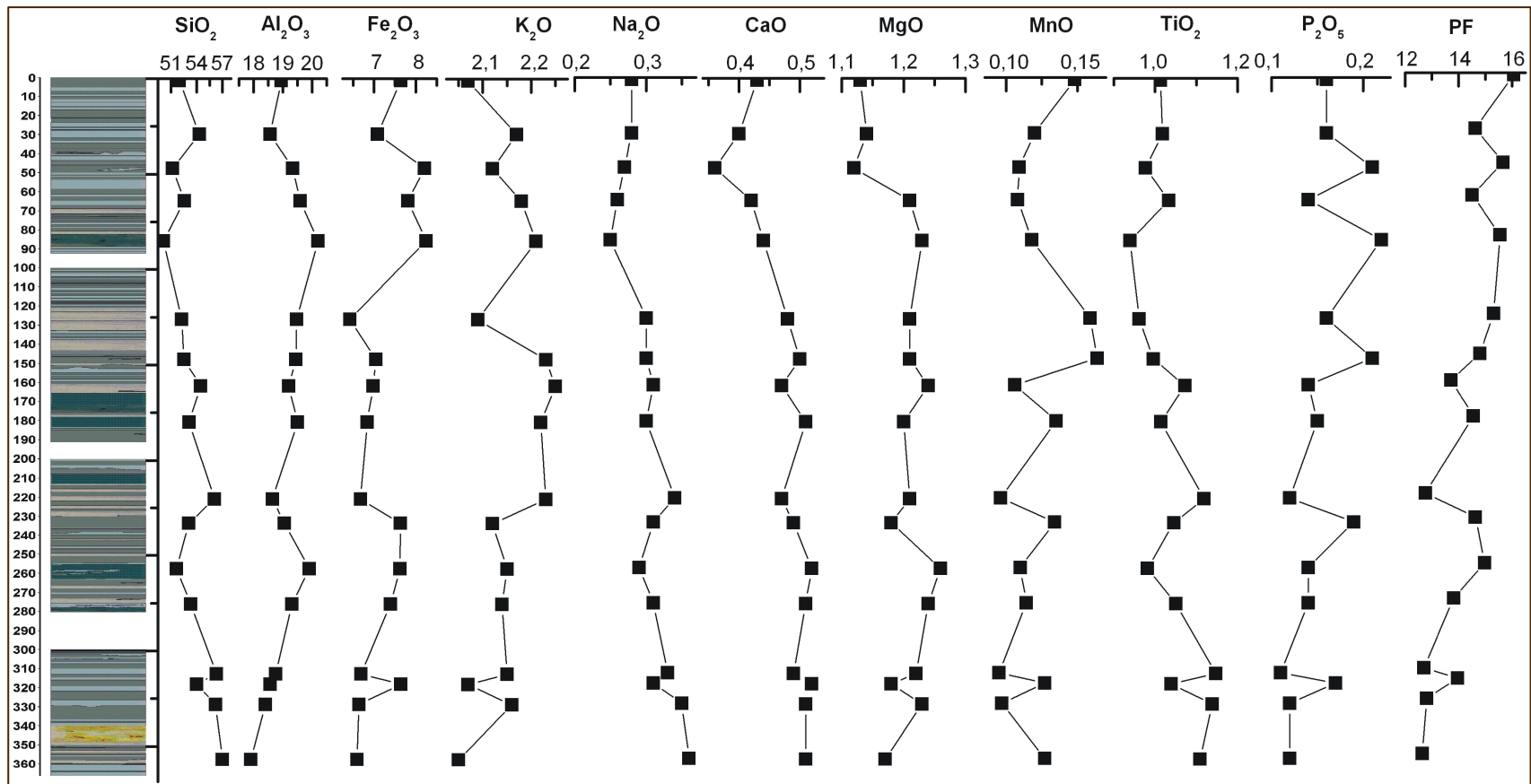


Figura 95 - Variações das quantidades de elementos maiores e menores ao longo do perfil LAPF1 (Teores em %).



Quando comparados com a composição química da crosta terrestre superior (CTS) (Figura 96), os sedimentos de fundo do lago Amapá apresentam-se empobrecidos em  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{SiO}_2$ , e enriquecidos em  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Observa-se leve tendência de enriquecimento de  $\text{P}_2\text{O}_5$  nas bandas escuras e de empobrecimento nas bandas claras (Figuras 97 e 98). Pode-se concluir que o P está associado à matéria orgânica.

Normalizando-se os sedimentos do lago aos folhelhos pós-arqueanos da Austrália (PAAS) (Figura 99), os sedimentos do lago Amapá apresentam valores mais baixos de  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $(\text{SiO}_2)$  e enriquecidos em  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Os teores médios de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{TiO}_2$  são similares aos de PAAS, podendo-se comparar os sedimentos estudados do lago Amapá a esses folhelhos. Novamente, o que se pode observar entre camadas claras e escuras é a mesma tendência de variação da concentração de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em comparação à composição da PAAS (Figuras 100 e 101). Verifica-se, também, um leve enriquecimento de  $\text{MnO}$  nas camadas escuras e uma tendência a empobrecimento desse óxido nas camadas claras.

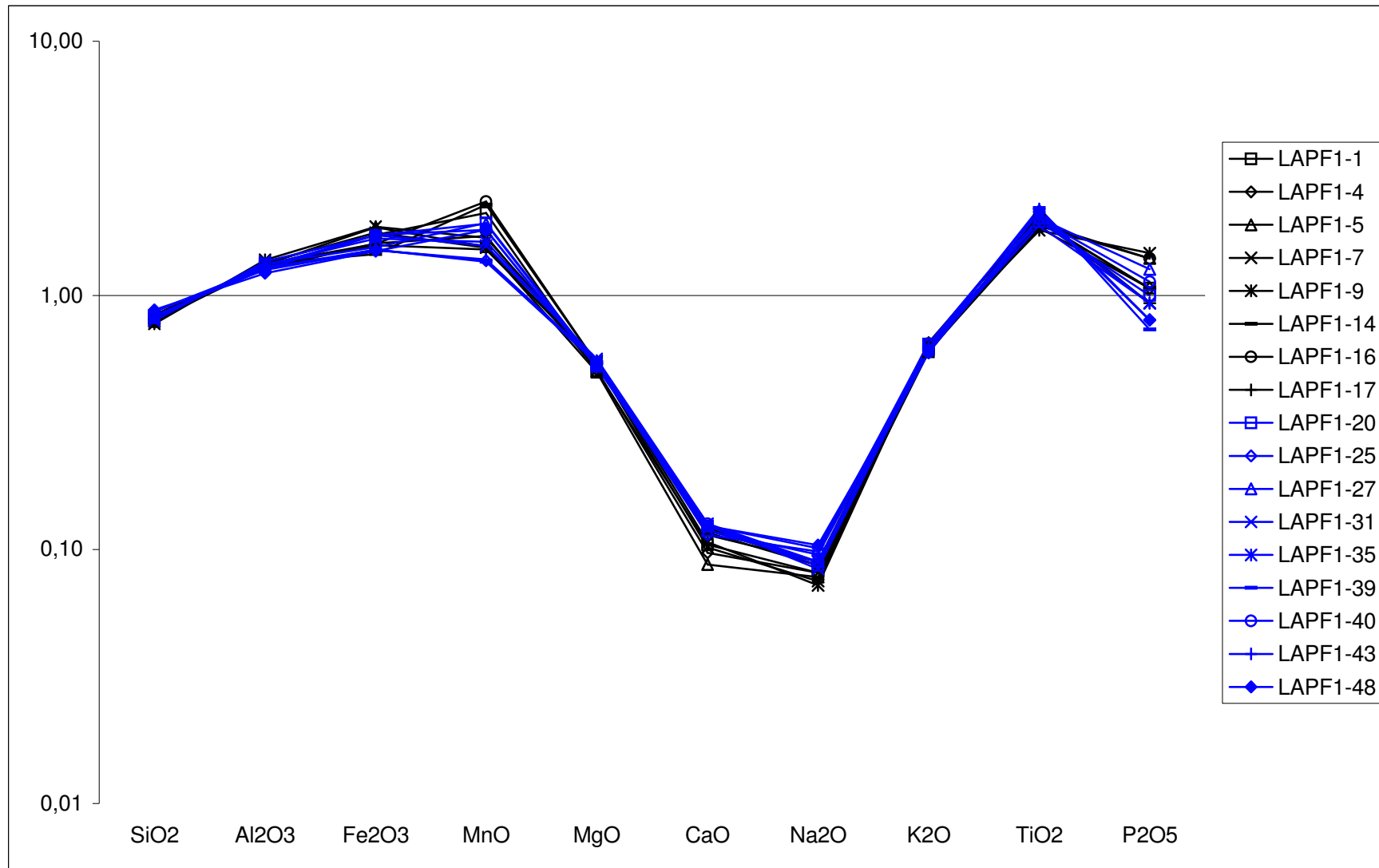


Figura 96 - Normalização dos elementos maiores e menores contra a crosta terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995).

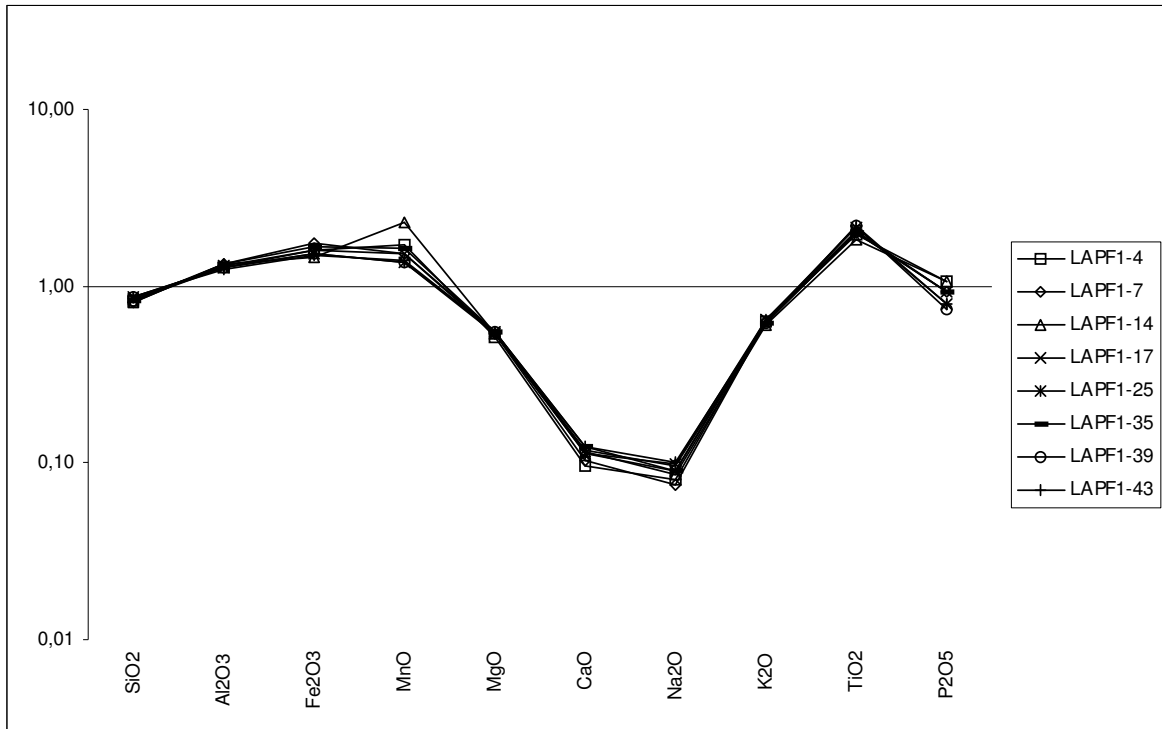


Figura 97 - Normalização dos elementos maiores e menores nas bandas claras (BC) contra a CTS (Wedepohl, 1995).

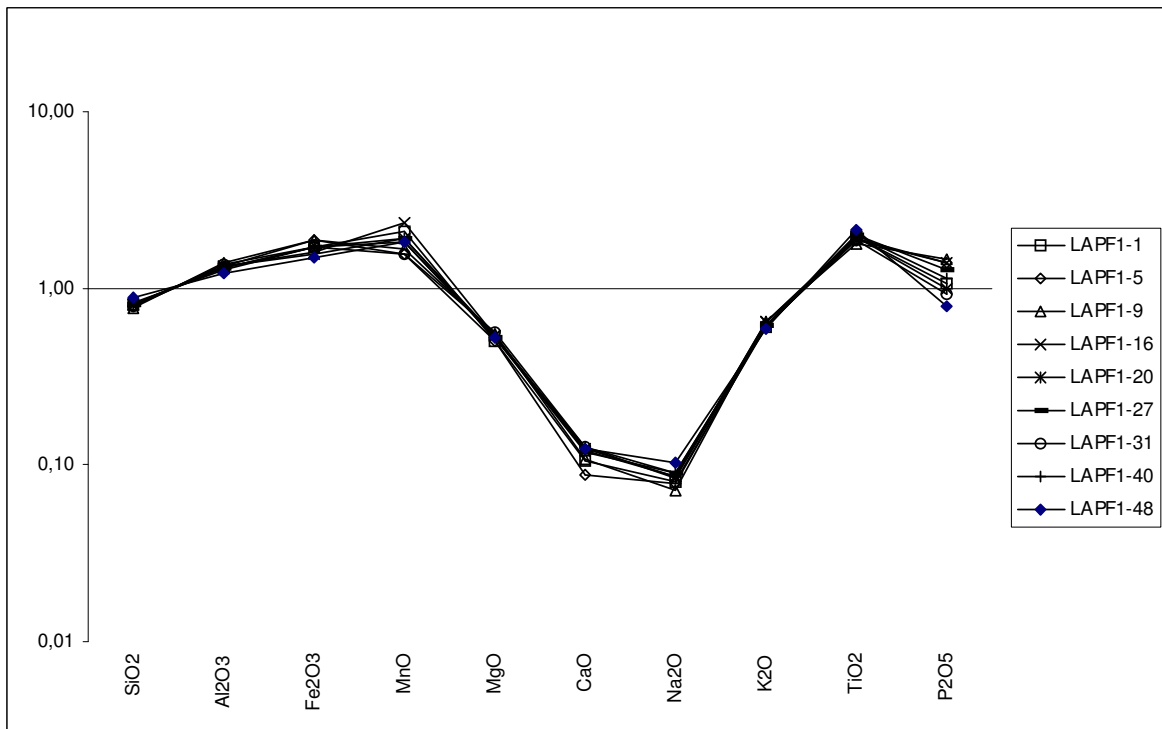


Figura 98 - Normalização dos elementos maiores e menores nas bandas escuras (BE) contra a CTS (Wedepohl, 1995).

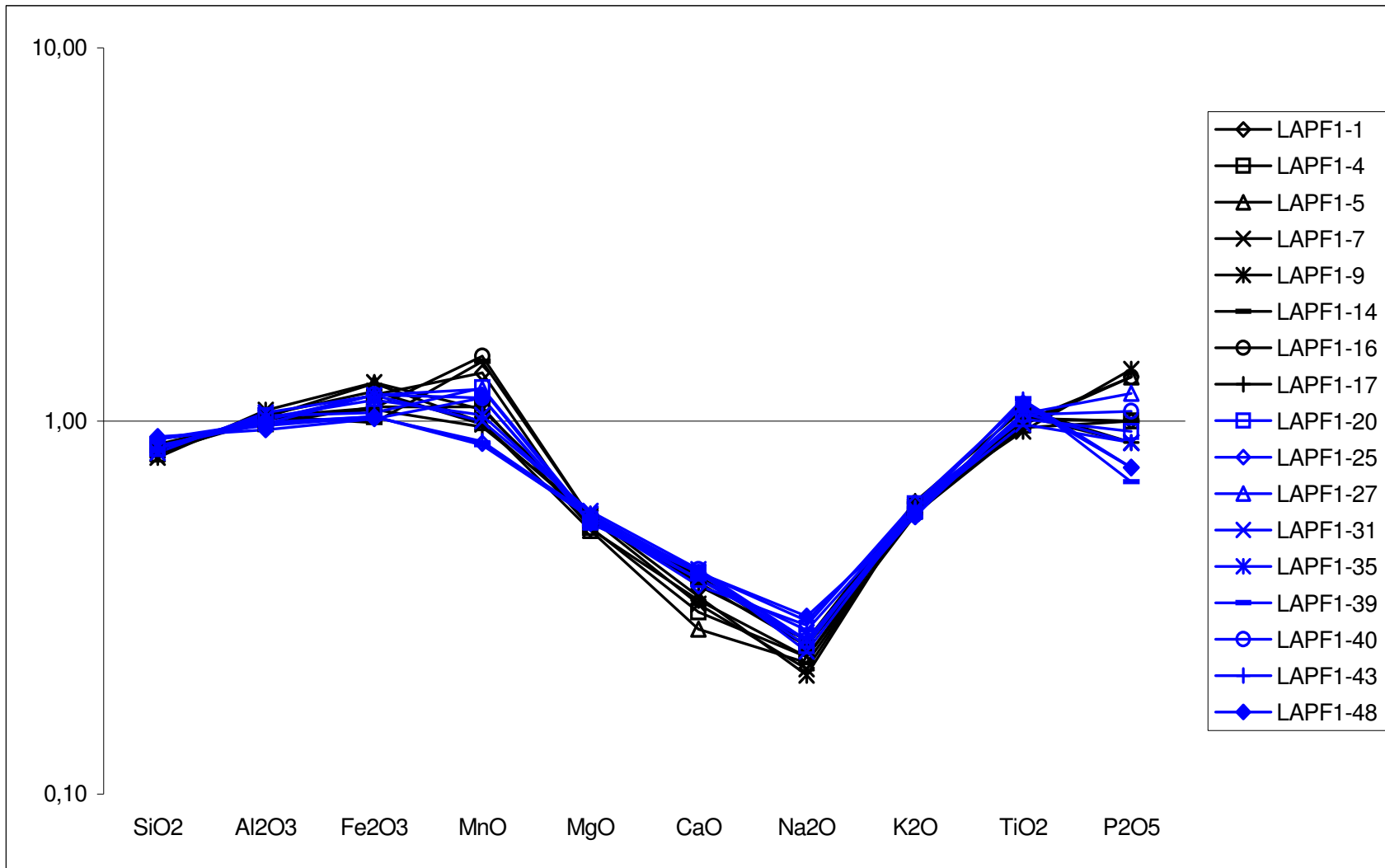


Figura 99 - Normalização dos elementos maiores e menores contra folhelhos pós-arqueanos australianos (PAAS) (Taylor e McLennan, 1985).

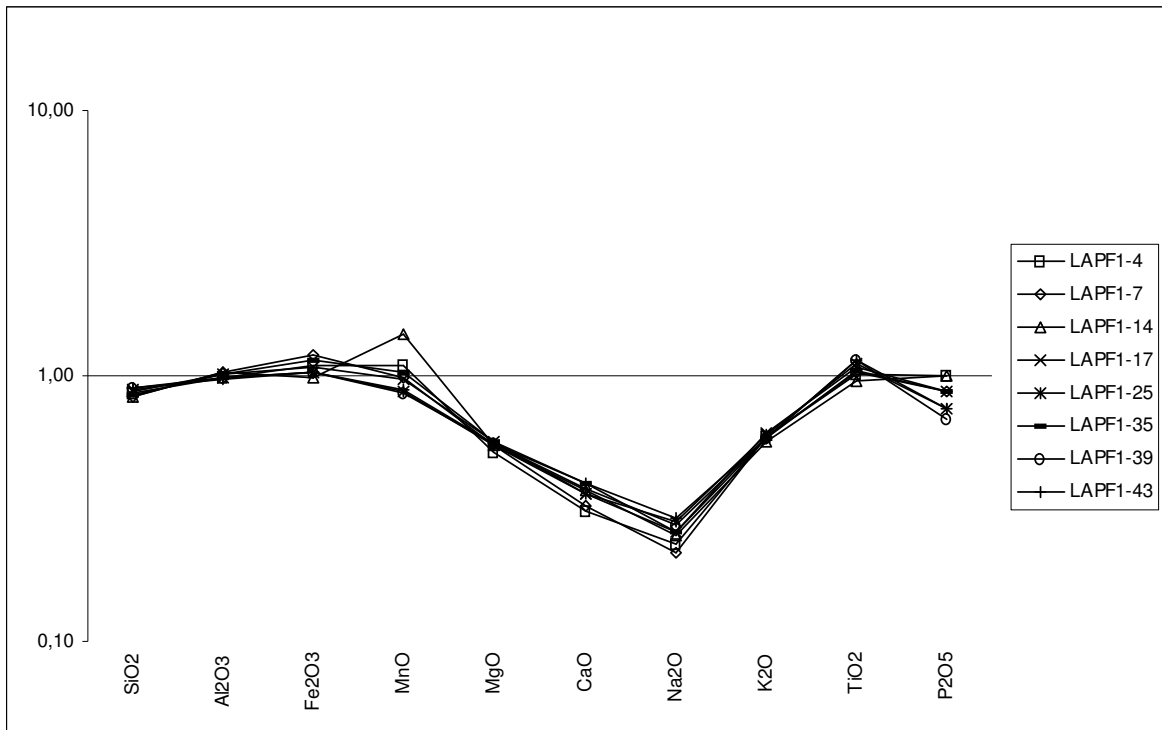


Figura 100 - Normalização dos elementos maiores e menores nas bandas claras (BC) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985)

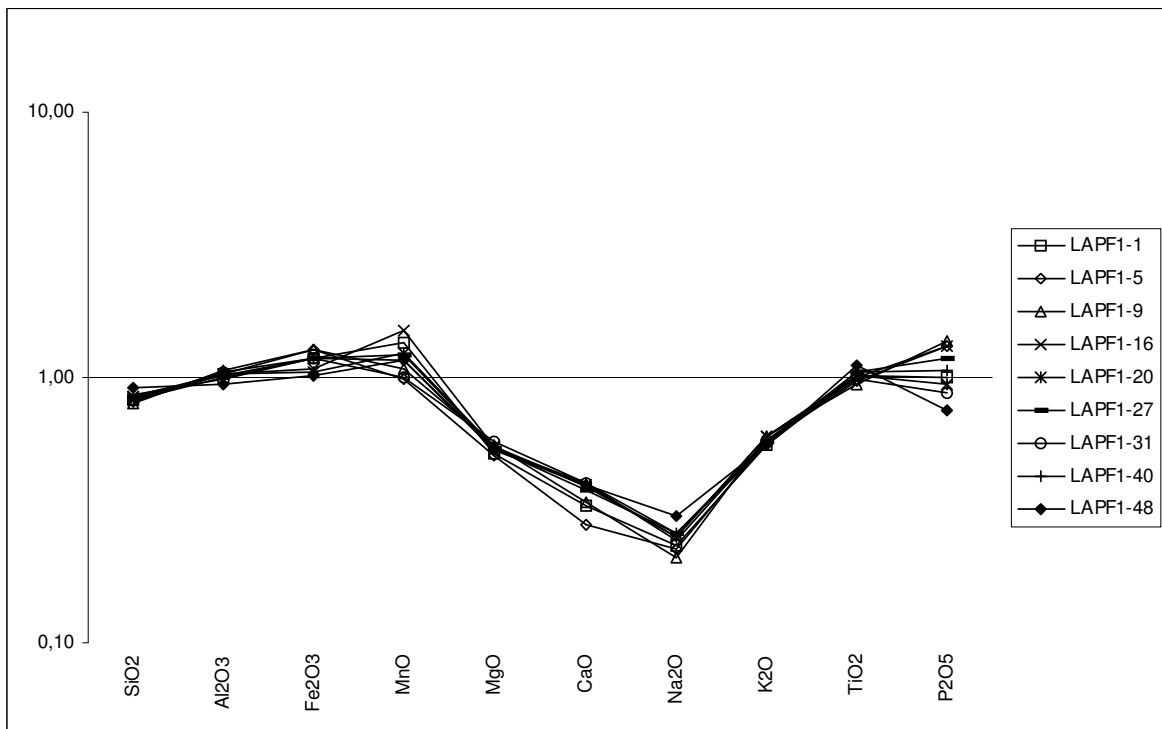


Figura 101 - Normalização dos elementos maiores e menores nas bandas escuras (BE) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).

As razões  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Franzinelli & Potter, 1985),  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$  (Sawyer, 1986 e Yang *et al.*, 2003), permitem avaliar a maturidade de sedimentos do lago Amapá (Tabela 9). Assim, maior grau de maturidade terá o sedimento que apresentar maiores razões. A razão maior que 1 para  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  permite avaliar a predominância de certos minerais como K-feldspatos em relação a plagioclásios sódicos.

**Tabela 9 - Razões médias no sedimento de fundo do lago Amapá comparadas com as de rios dos Andes, da planície de inundação do rio Solimões e de rios do Estado do Acre.**

	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$
<b>Sedimento do Lago Amapá*</b>	2,80	7,17	0,64
<b>Planície de inundação do rio Solimões (1)</b>	4,08	1,76	0,9
<b>Sedimentos da Lagoa Grande em Carajás (2)</b>	0,66	-	-

\* Razões calculadas a partir das concentrações médias totais apresentadas na tabela 8.

(1) Konhauser *et al.*, 1994.

(2) Adaptado de Costa *et al.*, 2005a.

Assim como para os sedimentos do lago Amapá, foram calculadas as razões para os sedimentos da planície de inundação do rio Solimões próximo a Manaus e da Lagoa Grande em Carajás.

Os sedimentos do lago Amapá apresentam baixa razão de  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (2,8), caracterizando-o como sedimento de baixa maturidade assim como os sedimentos comparados nessa interpretação. A imaturidade dos sedimentos se relaciona a minerais de argila como illita e esmectita e feldspatos. As razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  (7,17) e  $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$  (0,64) indicam um predomínio de illita e K-feldspato em relação a plagioclásio sódico.

#### 3.3.3.4 Elementos-Traço

Os sedimentos de fundo do lago Amapá não apresentam variações consideráveis de concentração dos elementos-traço com a profundidade (Tabela 10). De acordo com as médias totais, de bandas claras (BC) e de bandas escuras (BE) (Figura 102), observam-se maiores concentrações de Ba, mas que estão na mesma ordem de grandeza que na crosta terrestre superior , seguido de V, Rb e Zr acima de 100 ppm. Os outros elementos encontram-se em concentrações abaixo de 100 ppm.



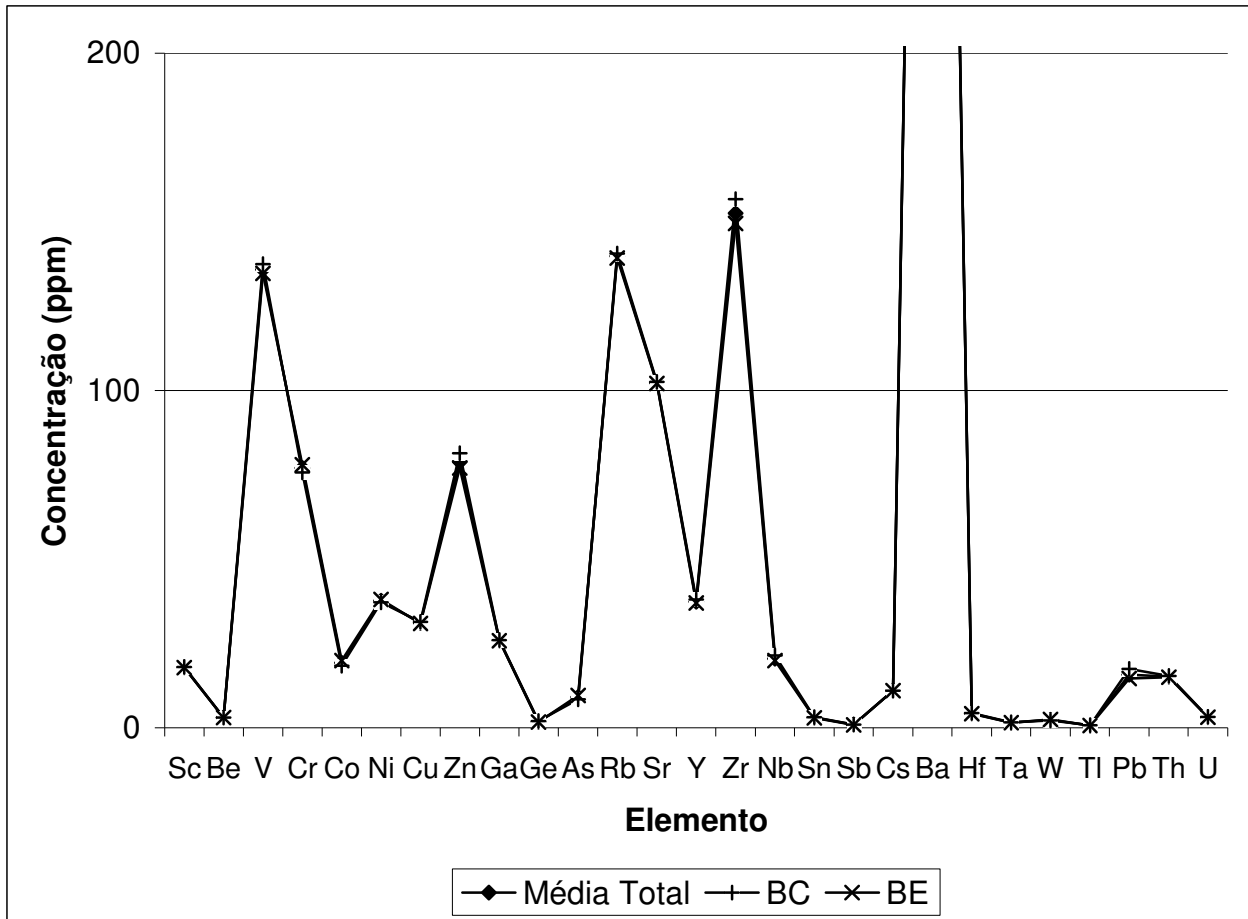
**Tabela 10 - Concentração de elementos-traço analisados nas amostras do furo F1 (Valores em ppm).**

	AMOSTRAS																Média	DP	Média BC	Média BE	CTS	PAAS	
	F1-1	F1-4	F1-5	F1-7	F1-9	F1-14	F1-16	F1-17	F1-20	F1-25	F1-27	F1-31	F1-35	F1-39	F1-40	F1-43							F1-48
<b>Sc</b>	18	17	18	18	18	18	18	19	18	18	18	19	19	18	17	17	17	17,94	0,66	18,00	17,90	7,00	16,0
<b>Be</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,0	0	3,0	3,0	3,1	-
<b>V</b>	131	134	131	137	140	134	135	138	136	135	139	138	141	138	135	139	128	135,82	3,504	137,43	134,70	53,00	150,0
<b>Cr</b>	80	70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	70	70	70	80	70	77,06	4,7	75,71	78,00	35,00	110,0
<b>Co</b>	21	19	16	16	20	18	25	20	23	19	18	19	17	18	18	20	21	19,29	2,34	18,43	19,90	11,60	23,0
<b>Ni</b>	40	30	40	30	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	30	40	30	37,65	4,37	37,14	38,00	18,60	55,0
<b>Cu</b>	30	30	30	30	30	40	30	30	30	30	30	30	40	30	30	30	30	31,18	3,32	31,43	31,00	14,30	50,0
<b>Zn</b>	50	60	90	70	110	<30	110	80	80	80	70	90	60	100	80	120	60	81,88	20,4	81,43	77,00	52,00	85,0
<b>Ga</b>	25	25	27	26	28	24	27	27	26	27	25	28	25	26	24	26	24	25,88	1,32	26,00	25,80	14,00	20,0
<b>Ge</b>	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1,82	0,39	2,0	1,7	1,4	-
<b>As</b>	10	9	11	8	7	9	8	11	10	10	10	7	11	5	12	<5	12	9,1	1,96	8,43	9,6	2,0	-
<b>Rb</b>	135	139	143	140	147	134	142	143	143	144	137	147	135	141	131	142	133	139,76	4,842	140,57	139,20	110,0	160,0
<b>Sr</b>	98	98	95	97	100	100	104	103	106	105	105	103	103	107	105	105	105	102,29	3,584	102,57	102,10	316,0	200,0
<b>Y</b>	36	36	34	35	34	36	38	38	37	40	39	35	37	39	40	41	40	37,35	2,23	38,00	36,90	20,70	27,0
<b>Zr</b>	147	149	139	148	133	136	154	152	148	163	163	144	148	167	168	170	163	152,47	11,46	156,71	149,50	237,0	210,0
<b>Nb</b>	19	19	19	20	19	19	20	22	20	24	21	20	20	22	20	23	22	20,53	1,55	21,43	19,90	26,00	19,0
<b>Sn</b>	3	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,00	0,4	3,14	2,90	2,50	4,0
<b>Sb</b>	0,9	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7	1,2	0,9	1,1	1,2	0,7	1	0,8	0,9	0,9	1,1	0,91	0,2	0,99	0,86	0,31	-
<b>Cs</b>	10,6	10,6	11,4	11,1	11,9	10,1	11,3	11,1	11,4	11,1	10,9	12	10,8	11	10,6	11,1	9,9	10,99	0,55	10,97	11,01	5,80	15,0
<b>Ba</b>	661	663	660	609	644	653	717	699	714	669	627	577	653	681	668	664	671	660,59	34,77	662,57	659,20	668,0	650,0
<b>Hf</b>	4,1	4,2	3,9	4,1	3,7	3,9	4,3	4,2	4,1	4,7	4,6	4,1	4,1	4,6	4,6	4,7	4,7	4,27	0,3	4,37	4,20	5,80	5,0
<b>Ta</b>	1,5	1,5	1,5	1,6	1,4	1,4	1,5	1,6	1,5	1,8	1,6	1,5	1,5	1,7	1,5	1,7	1,7	1,56	0,1	1,63	1,51	1,50	-
<b>W</b>	4	3	2	2	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2	5	2	2	2,35	0,9	2,14	2,50	1,40	2,7
<b>Tl</b>	0,5	0,6	0,8	0,7	0,9	0,3	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8	0,6	0,9	0,8	1	0,5	0,70	0,2	0,74	0,67	0,75	-
<b>Pb</b>	7	12	17	14	20	<5	17	16	13	18	15	18	15	22	20	25	14	16,44	4,26	17,43	14,60	17,00	20,0
<b>Th</b>	14,6	14,5	14,6	15,1	14,6	14,4	15,1	15,6	14,9	16,2	15,5	15,3	14,9	15,8	15,1	15,8	15,6	15,15	0,53	15,41	14,97	10,30	14,6
<b>U</b>	3	3,1	3	3	2,9	3	3,1	3,2	3,1	3,4	3,2	3,1	3,1	3,3	3,2	3,4	3,3	3,14	0,1	3,21	3,09	2,50	3,1

**D. P. - Desvio Padrão.**

**CTS - Crosta Terrestre Superior (Wedepohl, 1995).**

**PAAS - Folhelhos Pós-Arqueanos da Austrália (Taylor & McLennan, 1985).**



**Figura 102 - Concentração de elementos-traço nos sedimentos de fundo do lago Amapá. Elementos com concentrações abaixo de 100 ppm. Acima dessa concentração estão V, Rb, (Zn) e Ba – esse último com 660 ppm, em média.**

Normalizando as concentrações dos elementos-traço contra a composição da crosta terrestre superior, observa-se que nos sedimentos de fundo do lago Amapá há um empobrecimento em relação a Sr, Zr, Nb e Hf e enriquecimento em relação a Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, (Ge), As, Rb, Y, (Sn), Sb, Cs, (W), Th e U, não apresentando diferenças consideráveis entre as bandas claras ou escuras (Figuras 103,104 e 105). Arsênio e Sb são os elementos que se mostram mais enriquecidos nas amostras. Berílio, Ba, (Ta), (Tl) e (Pb) apresentam-se em concentrações similares às da crosta terrestre superior. A normalização contra PAAS denota enriquecimento de Sc, Ga, Y e (Nb), empobrecimento em V, Cr, (Co), Ni, Cu, Rb, Sr, Zr, Sn, Cs e Hf, e similaridade em relação aos demais elementos. A singularidade de bandas claras e escuras também não é evidenciada (Figuras 106, 107 e 108).

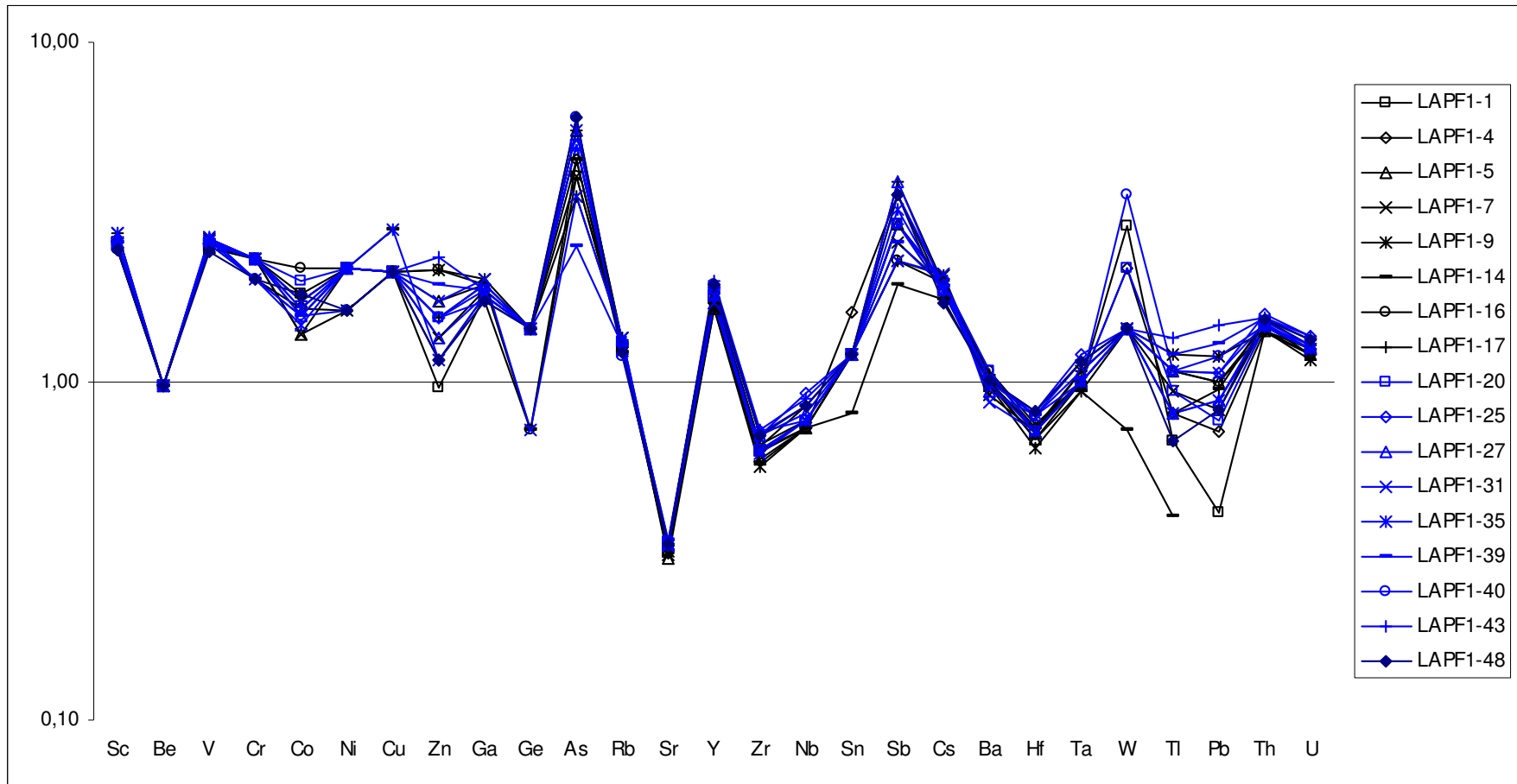
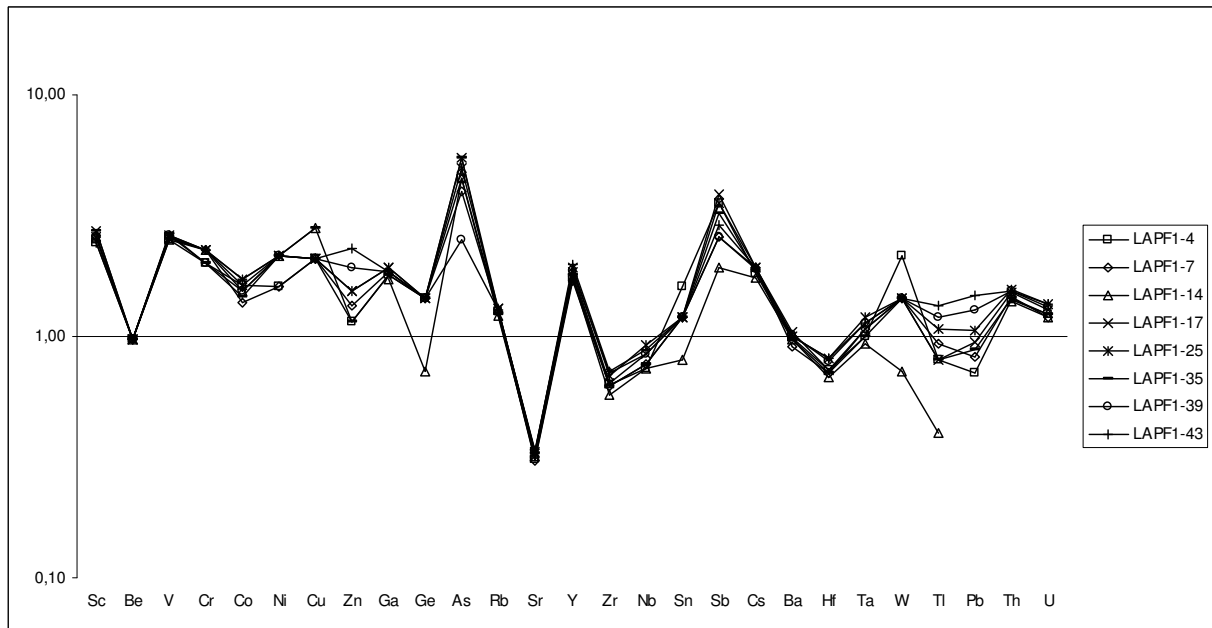
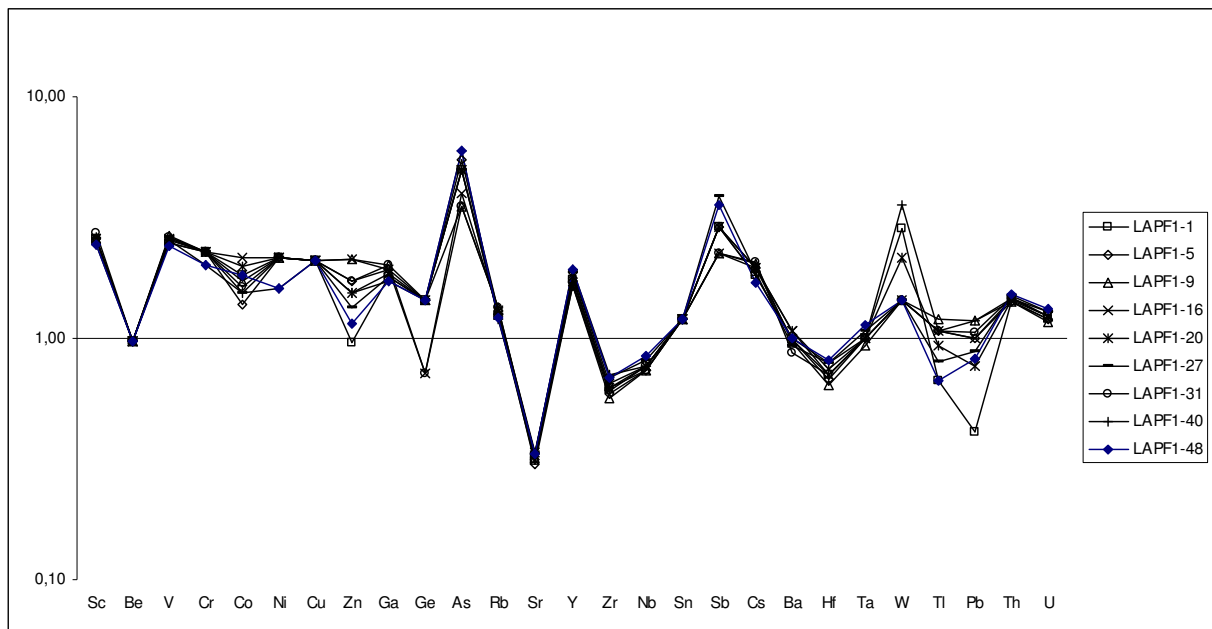


Figura 103 - Normalização dos elementos-traço contra a crosta terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995).



**Figura 104 - Normalização dos elementos-traço nas bandas claras (BC) contra a CTS (Wedepohl, 1995).**



**Figura 105 - Normalização dos elementos-traço nas bandas escuras (BE) contra a CTS (Wedepohl, 1995).**

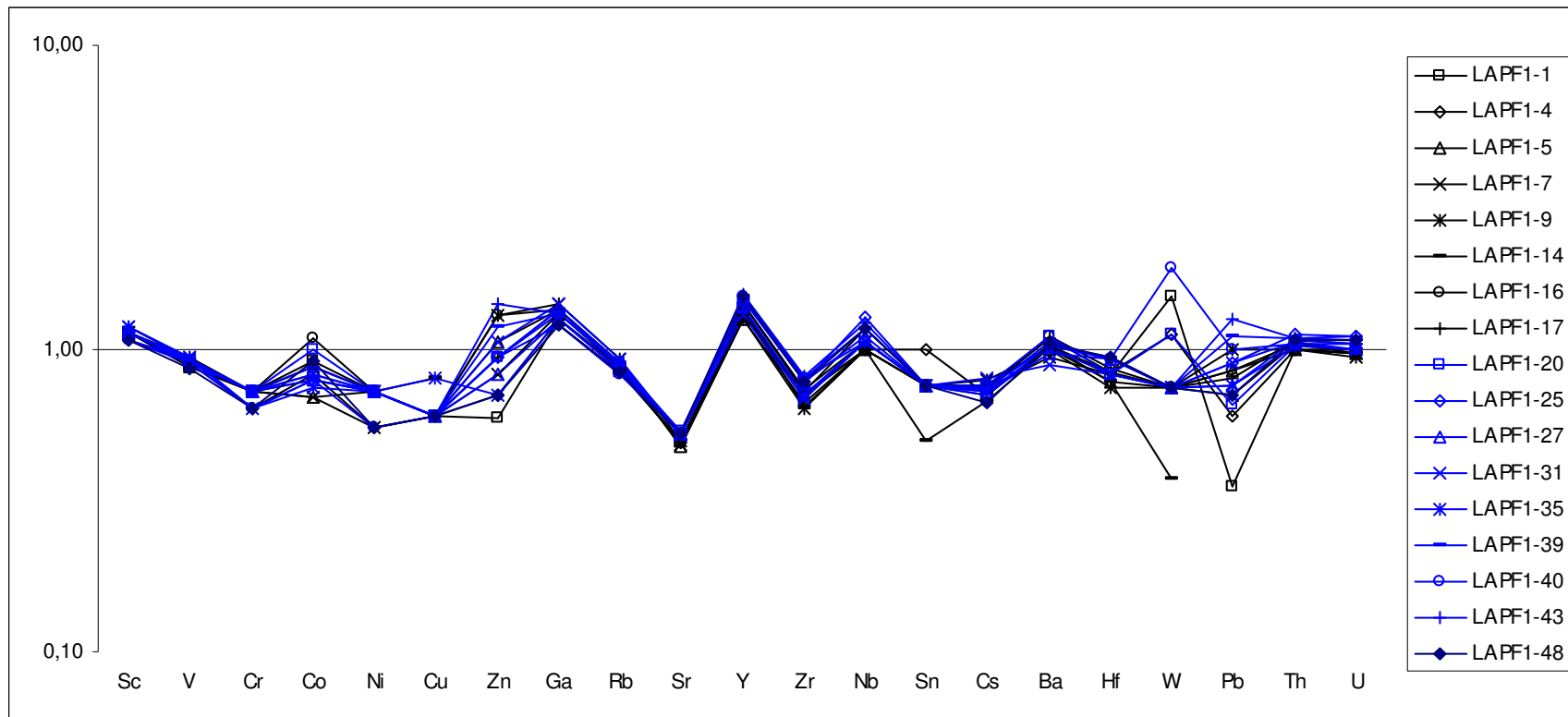
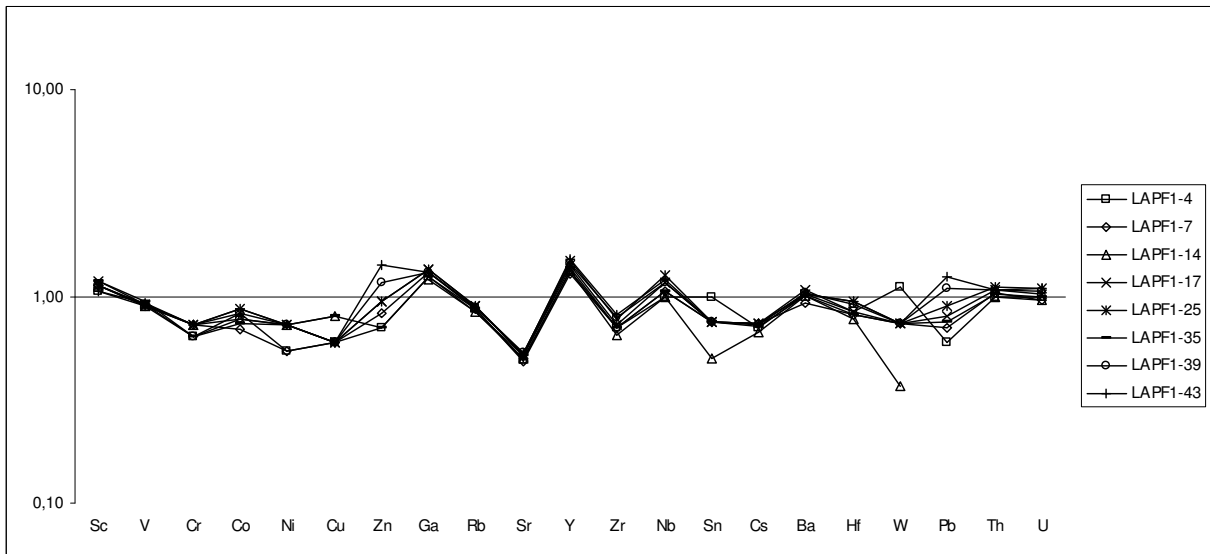
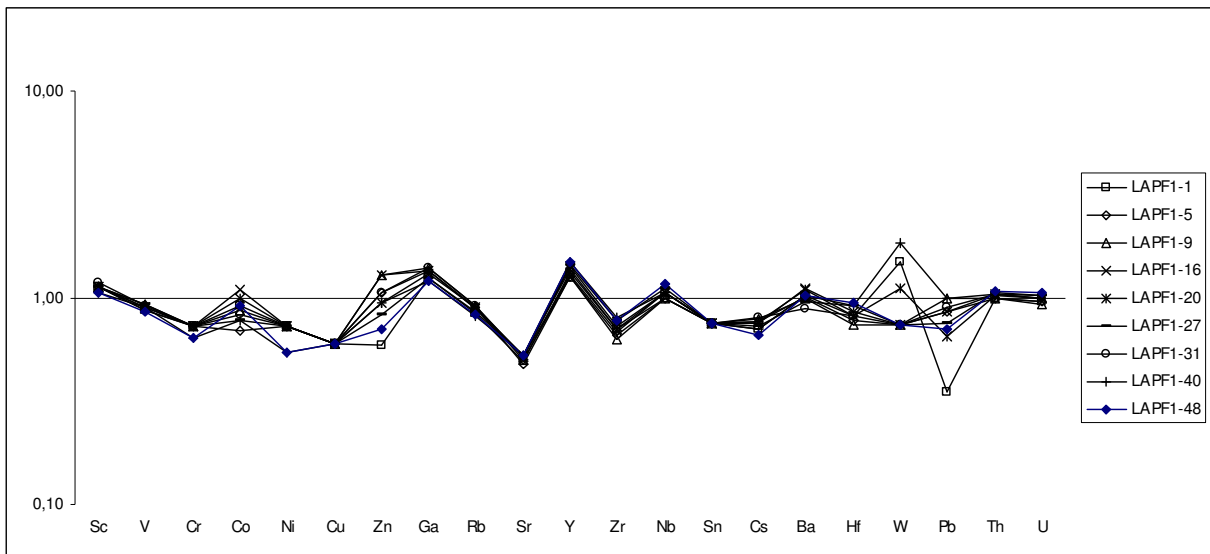


Figura 106 - Normalização dos elementos-traço contra folhelhos pós-arqueanos australianos (PAAS) (Taylor e McLennan, 1985).



**Figura 107 - Normalização dos elementos-traço nas bandas claras (BC) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).**



**Figura 108 - Normalização dos elementos-traço nas bandas escuras (BE) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).**

Rollinson (1993) afirma que os principais fatores que influenciam na concentração de elementos-traço em sedimentos são: a rocha fonte, o intemperismo, a diagênese e o comportamento geoquímico de cada elemento em meio aquoso.

Os elementos Zr, Nb, Hf e Ta mantêm correlação positiva entre si sugerindo a presença de zircão. Viana (2005) evidencia a mesma associação em sedimentos de praias e barrancos de alguns rios no Estado do Acre. Nos sedimentos de fundo do lago Amapá, as associações de Zr, Nb, Hf e Ta estão relacionadas ao mineral de argila esmectita, enquanto que Sr, Y, Th e U, além dos ETR's, estão associados ao mineral de argila illita.

De acordo com Adriano (1992), existem nove elementos que servem como micronutrientes para plantas superiores: B, Cl, Cu, (Fe), (Mn), Mo, Ni, (Na) e Zn. Para os animais, 14 elementos são essenciais: (Si), V, Cr, (Mn), (Fe), Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, I e F. Elementos-traço como Hg, Pb, Cd, Ag, Cr, Ni e Sn, entretanto, são geralmente tóxicos a uma grande variedade de organismos. Mesmo aqueles elementos com função biológica definida podem apresentar alta toxicidade aos organismos vegetais e animais, quando em grandes concentrações.

Em termos de ecossistemas aquáticos, os elementos-traço têm grande importância, pois tomam parte em vários processos no metabolismo destes ecossistemas. Nos ecossistemas aquáticos, os elementos-traço podem estar sob a forma iônica, complexada ou particulada (Esteves, 1988). Segundo Souza e Guedes (2005), os lagos são reservatórios potenciais de elementos-traço podendo atingir níveis de contaminação elevados.

Alguns parâmetros segundo a concentração de metais totais e utilizados para avaliação do grau de poluição de sedimentos (Thomas, 1987) foram comparados com os sedimentos do lago Amapá (Tabela 11).



**Tabela 11 - Parâmetros para avaliação de grau de poluição em sedimentos segundo a concentração de metais totais (valores em ppm). Adaptado de Silva (2002).**

	<b>Não poluído</b>	<b>Moderadamente poluído</b>	<b>Altamente poluído</b>	<b>Lago Amapá</b>
<b>Cr</b>	<25	25-70	>70	77,06
<b>Cu</b>	<25	25-50	>50	31,18
<b>Ni</b>	<20	20-50	>50	37,65
<b>Pb</b>	90	90-200	>200	16,44
<b>Zn</b>	90	90-200	>200	81,88

Fonte: Thomas, 1987 - Controle de despejos de sedimentos dragados (EPA).

As maiores concentrações de Pb nos sedimentos do lago Amapá não ultrapassam 25 ppm, mostrando não haver influência de nenhuma fonte natural ou antrópica. São baixas concentrações, diferentemente de regiões como o lago Loch Chon, no Reino Unido (Yang & Rose, 2004) cujos sedimentos atuais apresentam concentrações desse metal acima de 200 ppm como consequência da industrialização.

Outros lagos que têm problemas de contaminação por metais pesados são o lago Geneva na Suíça (Loizeau *et al.*, 2004; Pardos *et al.*, 2004), lago Eire no Canadá (Hartig *et al.*, 2004) e lagos Lochnagar, Loch Grannoch, Burmmoor Tarn, Llyn Liagi e reservatório Banbuty no Reino Unido (Yang & Rose, 2004).

Embora possa estar passando por um processo de eutrofização, ajudado pela influência antrópica – o mesmo sendo observado em lagos de áreas urbanas de Boa Vista-Roraima (Meneses *et al.*, 2005) –, o lago Amapá está livre de níveis de contaminação por metais pesados, assim como o lago Clima (Silva & Rezende, 2002), lagoas do Campelo e do Jacaí (Souza e Guedes, 2005), reservatório Santana (Santos *et al.*, 2005) no Rio de Janeiro e lago Água Preta em Belém-Pará (Queiroz *et al.*, 2005).

### 3.3.3.5 Elementos Terras Raras – ETR's

Os resultados analíticos dos elementos terras raras nos sedimentos de fundo do lago Amapá são apresentados a seguir (Tabela 12).

Os elementos terras raras no lago Amapá não apresentam variações de concentração significativas com a profundidade. Os valores mostram maior proporção nos elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos pesados (ETRP) (Figura 109).

**Tabela 12 - Concentrações (em ppm) de ETR's no perfil LAPF1.**

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
<b>F1-1</b>	42,80	83,80	9,86	37,60	6,80	1,57	6,10	1,00	5,60	1,10	3,30	0,49	3,20	0,45
<b>F1-4</b>	43,00	85,50	10,10	38,30	7,20	1,67	6,30	1,00	5,70	1,20	3,30	0,50	3,10	0,45
<b>F1-5</b>	43,00	84,60	9,95	37,60	6,80	1,58	6,10	1,00	5,40	1,10	3,10	0,47	2,90	0,42
<b>F1-7</b>	43,50	85,90	10,30	37,90	6,90	1,63	6,30	1,00	5,60	1,10	3,30	0,49	3,10	0,44
<b>F1-9</b>	41,50	81,30	9,89	36,70	6,80	1,59	6,30	1,00	5,20	1,00	3,00	0,44	2,80	0,41
<b>F1-14</b>	43,90	87,20	10,30	38,60	7,20	1,71	6,40	1,00	5,80	1,10	3,20	0,49	3,10	0,44
<b>F1-16</b>	45,10	88,80	10,50	39,40	7,30	1,69	6,70	1,10	5,90	1,20	3,50	0,52	3,20	0,46
<b>F1-17</b>	47,20	92,00	11,00	41,90	7,50	1,74	6,90	1,10	6,20	1,20	3,50	0,52	3,30	0,47
<b>F1-20</b>	44,50	89,20	10,60	39,90	7,30	1,63	6,40	1,10	5,90	1,20	3,40	0,51	3,20	0,45
<b>F1-25</b>	48,60	96,60	11,30	43,50	8,00	1,85	7,20	1,20	6,80	1,30	4,00	0,58	3,60	0,50
<b>F1-27</b>	45,80	92,30	10,80	40,80	7,60	1,78	6,90	1,10	6,20	1,20	3,60	0,53	3,30	0,49
<b>F1-31</b>	44,20	87,00	10,40	38,90	7,20	1,73	6,40	1,00	5,60	1,10	3,20	0,48	3,10	0,43
<b>F1-35</b>	44,90	88,80	10,50	38,80	7,10	1,64	6,50	1,00	5,70	1,20	3,40	0,51	3,20	0,45
<b>F1-39</b>	47,00	92,90	10,90	41,40	7,40	1,78	6,80	1,10	6,30	1,30	3,70	0,55	3,50	0,52
<b>F1-40</b>	43,80	87,00	10,30	38,90	7,20	1,64	6,60	1,10	5,90	1,20	3,50	0,54	3,40	0,47
<b>F1-43</b>	46,60	92,50	11,00	40,80	7,80	1,76	7,20	1,20	6,40	1,30	3,70	0,56	3,50	0,50
<b>F1-48</b>	46,30	91,40	10,90	40,50	7,60	1,78	7,00	1,10	6,40	1,30	3,70	0,55	3,60	0,51
<b>D. P.</b>	1,89	3,93	0,43	1,79	0,35	0,08	0,35	0,07	0,41	0,09	0,25	0,04	0,23	0,03
<b>MÉDIA</b>	<b>44,81</b>	<b>88,64</b>	<b>10,51</b>	<b>39,50</b>	<b>7,28</b>	<b>1,69</b>	<b>6,59</b>	<b>1,06</b>	<b>5,92</b>	<b>1,18</b>	<b>3,44</b>	<b>0,51</b>	<b>3,24</b>	<b>0,46</b>
<b>MÉDIA BC</b>	45,83	90,60	10,73	40,37	7,41	1,72	6,74	1,09	6,10	1,23	3,56	0,53	3,33	0,48
<b>MÉDIA BE</b>	44,09	87,26	10,35	38,89	7,18	1,67	6,49	1,05	5,79	1,15	3,35	0,50	3,18	0,45
<b>CTS</b>	<b>32,30</b>	<b>65,70</b>	<b>6,30</b>	<b>25,90</b>	<b>4,70</b>	<b>0,95</b>	<b>2,80</b>	<b>0,50</b>	<b>2,90</b>	<b>0,62</b>	-	-	<b>1,50</b>	<b>0,27</b>
<b>PAAS</b>	<b>38,00</b>	<b>80,00</b>	<b>8,90</b>	<b>32,00</b>	<b>5,60</b>	<b>1,10</b>	<b>4,70</b>	<b>0,77</b>	<b>4,40</b>	<b>1,00</b>	<b>2,90</b>	<b>0,40</b>	<b>2,80</b>	<b>0,43</b>

D. P. - Desvio Padrão.

CTS - Crosta Terrestre Superior (Wedepohl, 1995).

PAAS - Folhelhos Pós-Arqueanos da Austrália (Taylor & McLennan, 1985).

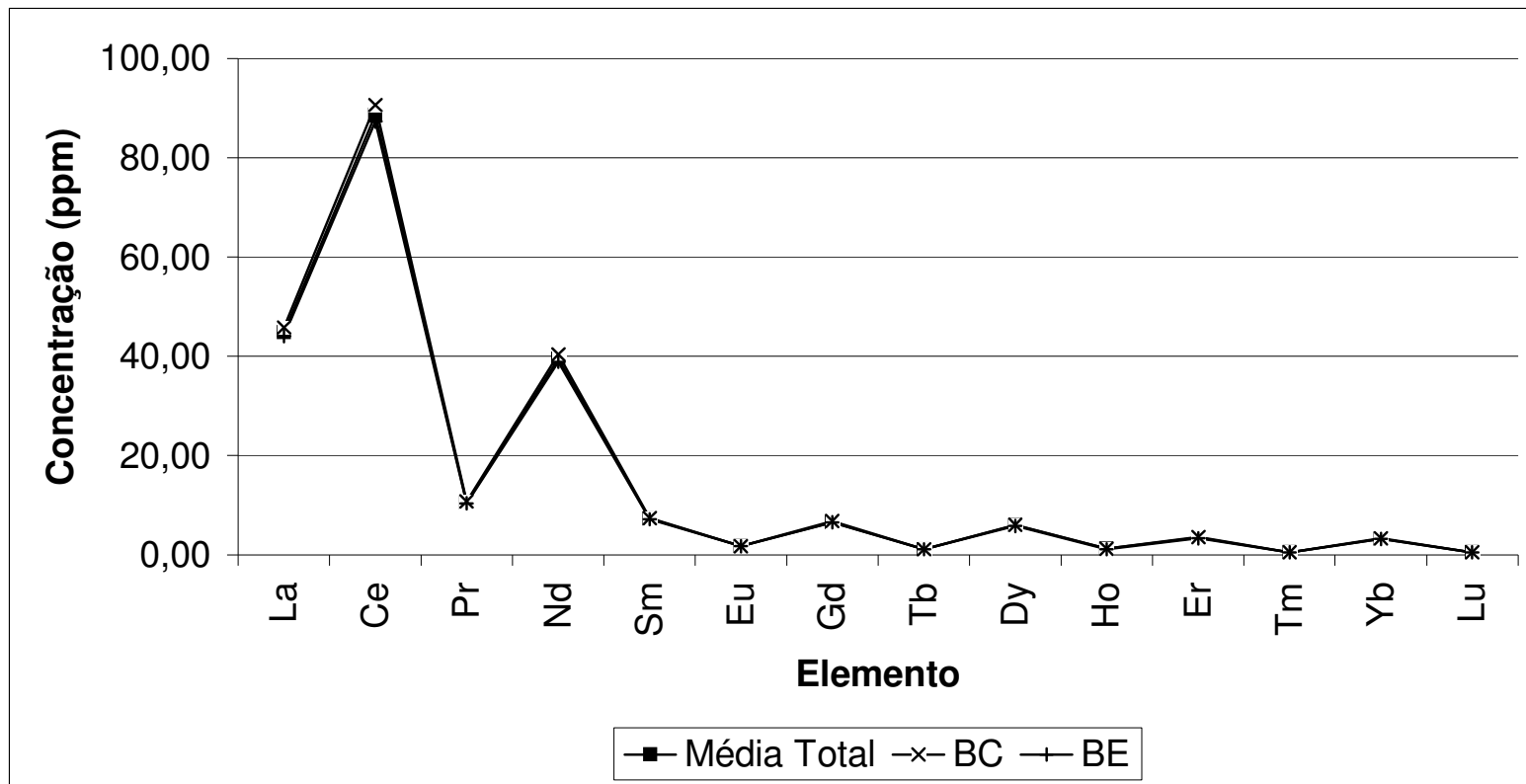


Figura 109 - Concentração de ETR's nos sedimentos de fundo do lago Amapá, não distinguindo variação entre bandas claras (BC) e bandas escuras (BE).

A normalização para condritos (Taylor e McLennan, 1985) mostra que todos os ETR's estão enriquecidos e suas concentrações não variam consideravelmente entre bandas claras e bandas escuras (Figuras 110, 111 e 112). Estes padrões de comportamento mostram, ainda, maiores índices de enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP e a anomalia negativa de Eu. Isso mostra que a assinatura geoquímica é equivalente a de rochas primárias ricas em feldspatos como granitos e riolitos.

A normalização contra PAAS mostra que esses sedimentos via ETR's também se assemelham ao sedimento PAAS (Figuras 116, 117 e 118). Destacam-se Eu, Gd, Tb e Dy mais enriquecidos em relação a esse padrão de folhelhos.

Uma vez que a granulometria dos sedimentos analisados neste trabalho tem predominância da fração silte-argila, explica-se a concentração enriquecida de ETR's.

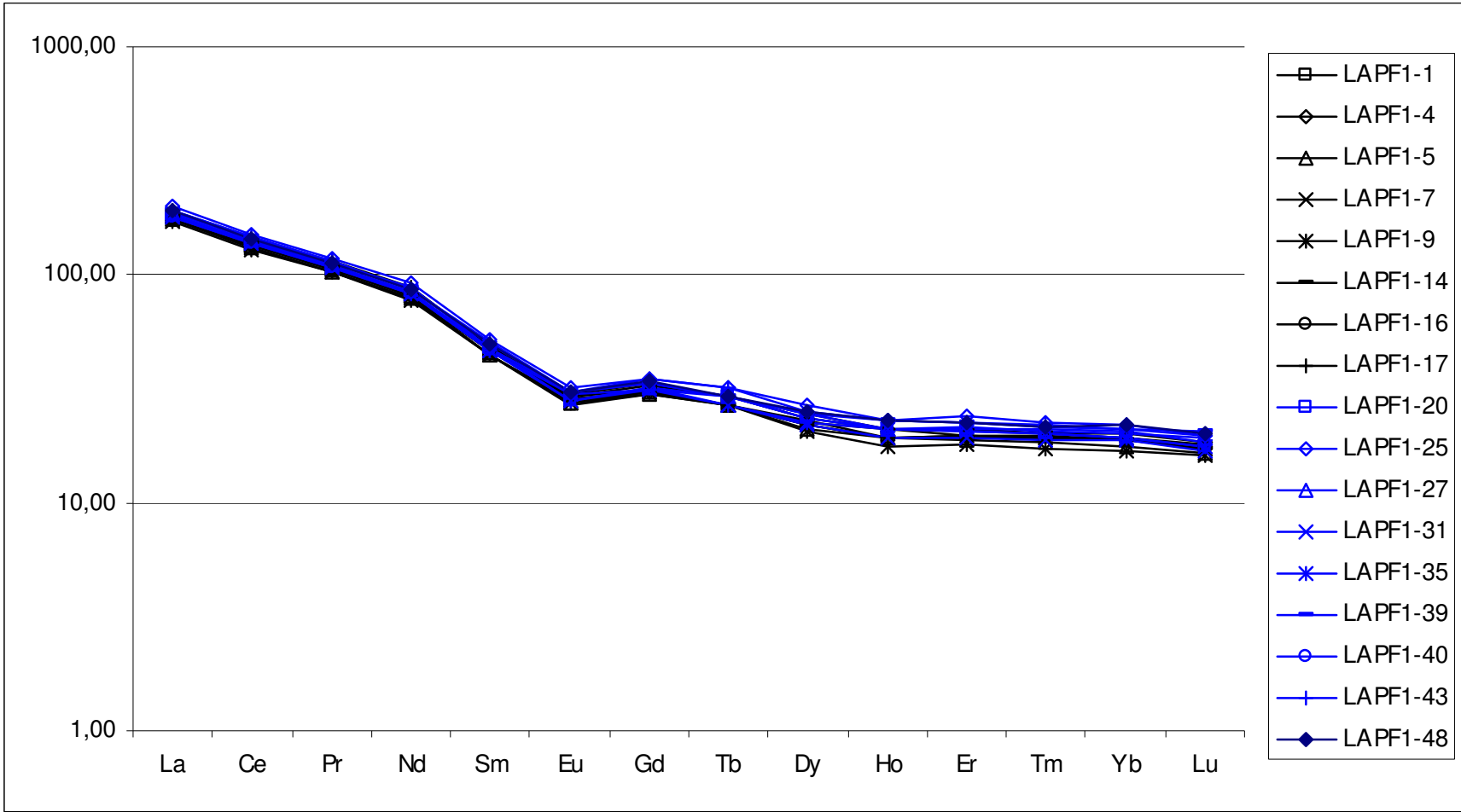


Figura 110 - Normalização dos ETR's contra condritos (Taylor e McLennan, 1985).

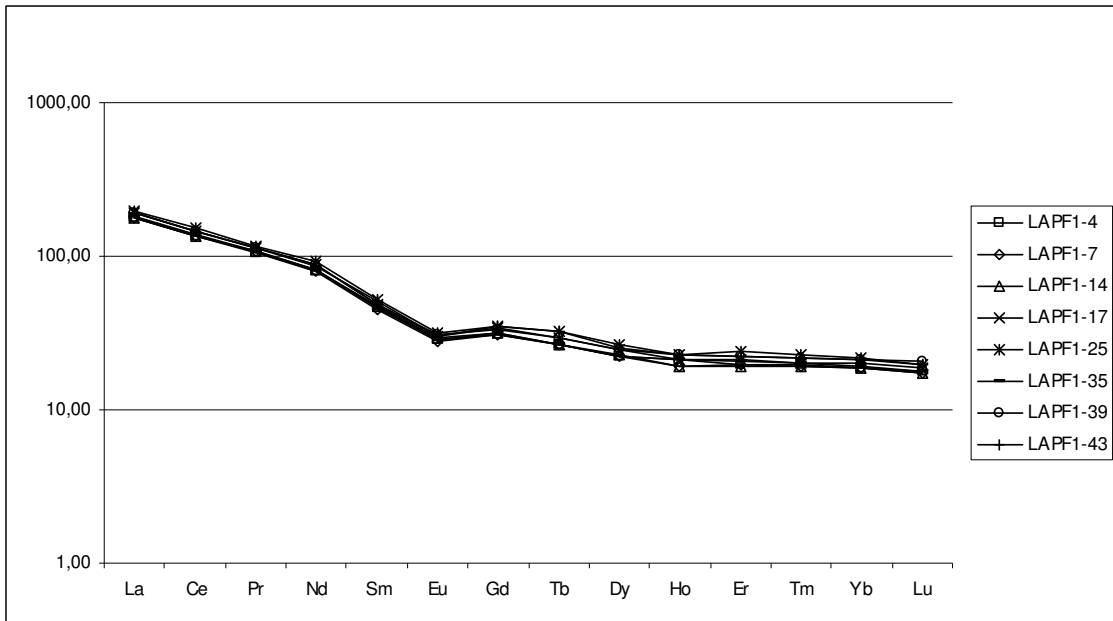


Figura 111 - Normalização dos ETR's nas bandas claras (BC) contra condritos (Taylor e McLennan, 1985).

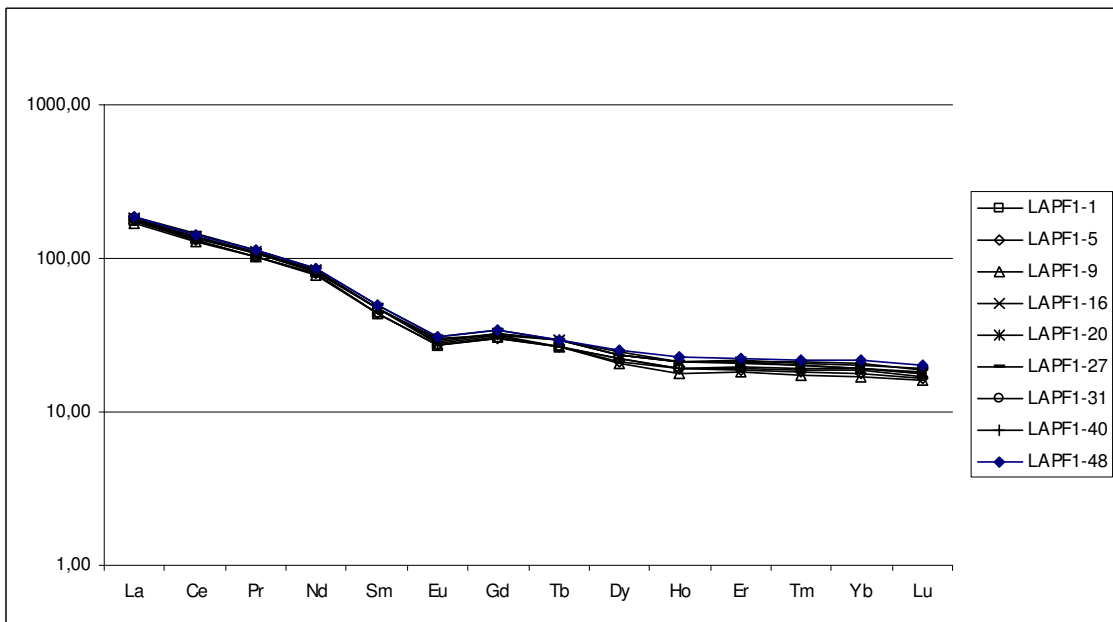


Figura 112 - Normalização dos ETR's nas bandas escuras (BE) contra condritos (Taylor e McLennan, 1985).

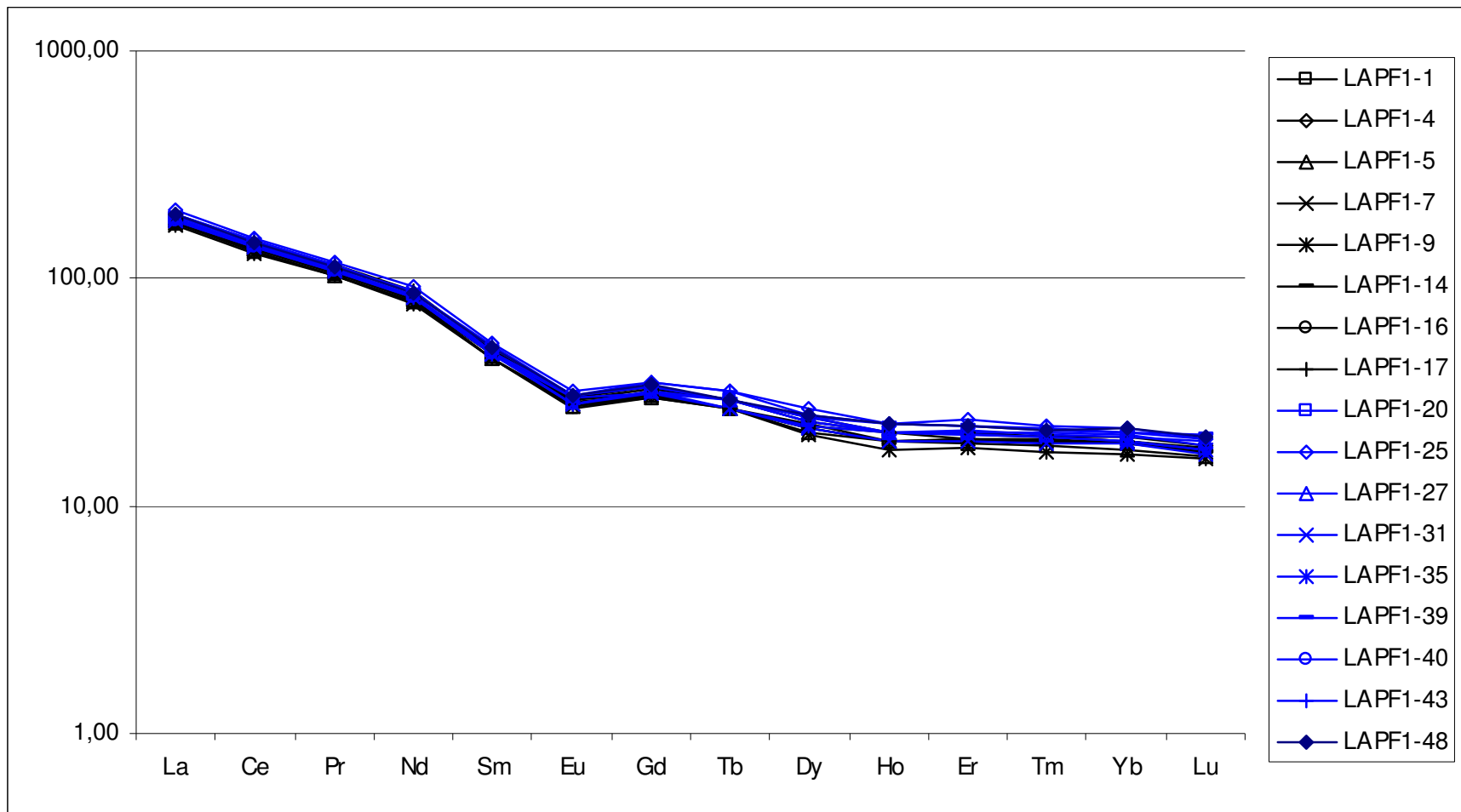


Figura 113 - Normalização dos ETR's contra crosta terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995).

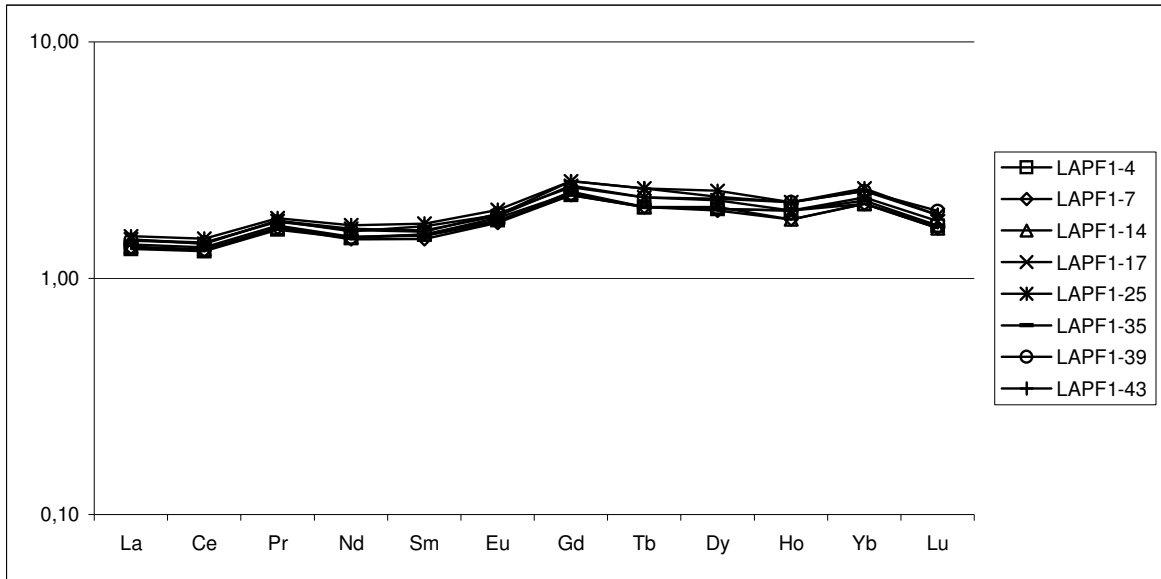


Figura 114 - Normalização dos ETR's nas bandas claras (BC) contra crosta terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995).

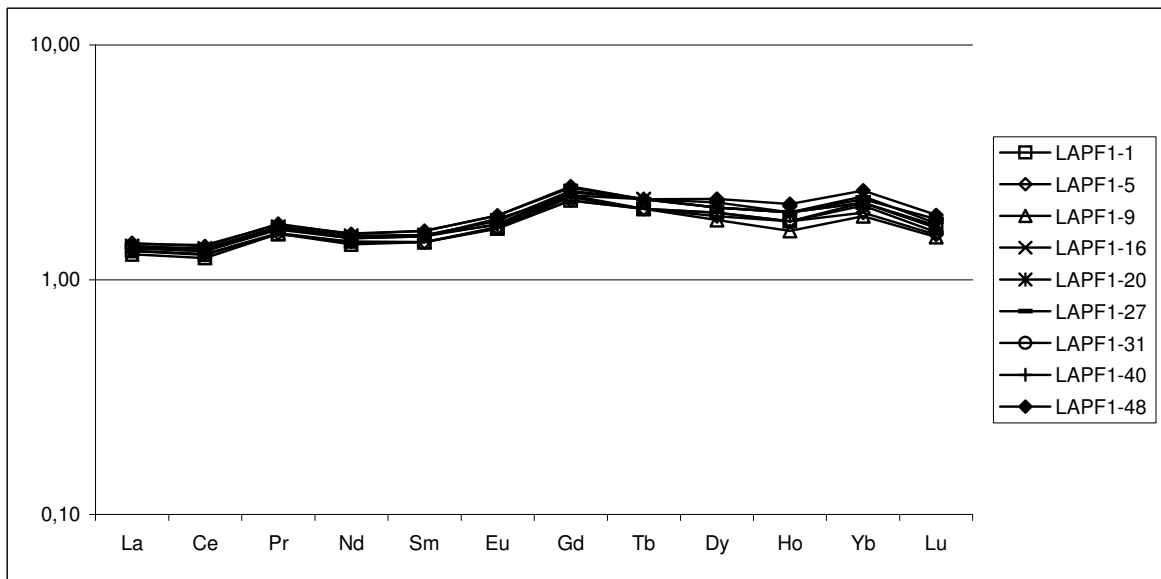


Figura 115 - Normalização dos ETR's nas bandas escuras (BE) contra crosta terrestre superior (CTS) (Wedepohl, 1995).



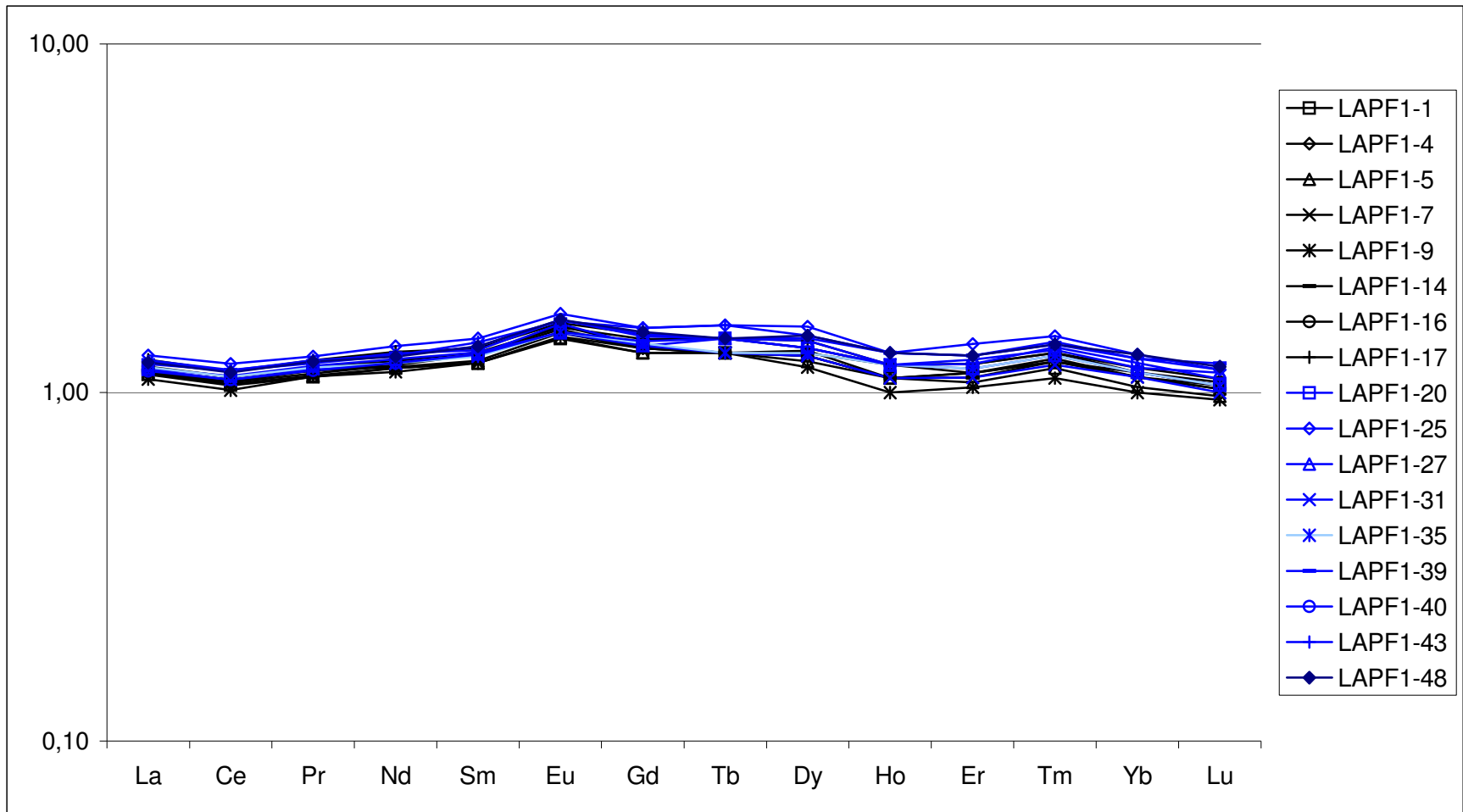


Figura 116 - Normalização dos ETR's contra folhelhos pós-arqueanos australianos (PAAS) (Taylor e McLennan, 1985).

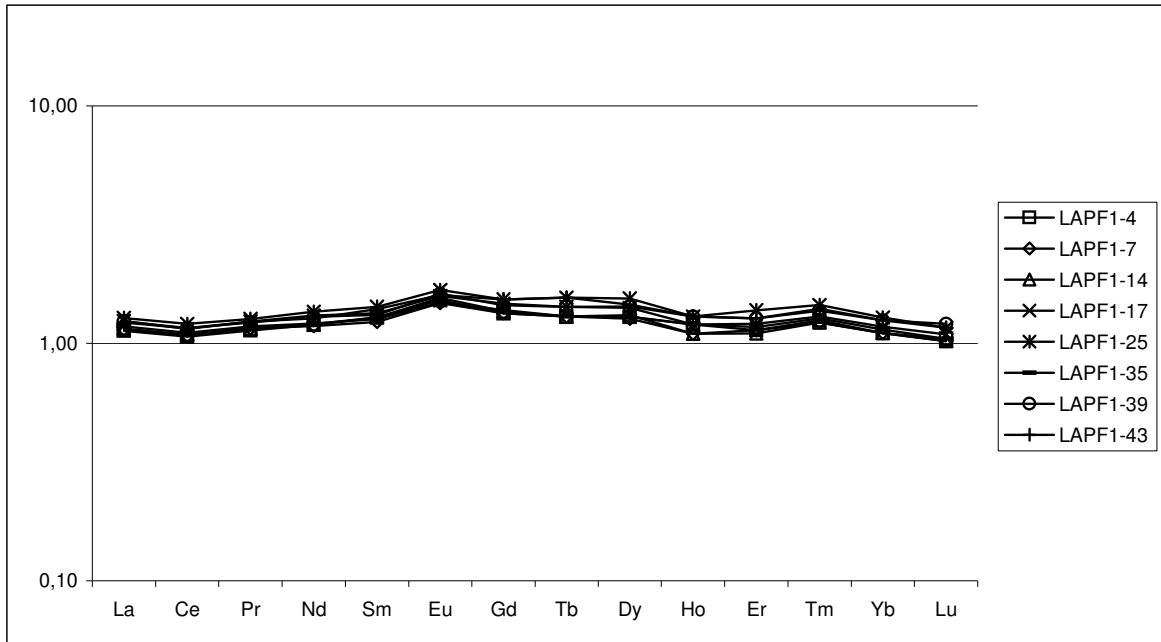


Figura 117 - Normalização dos ETR's nas bandas claras (BC) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).

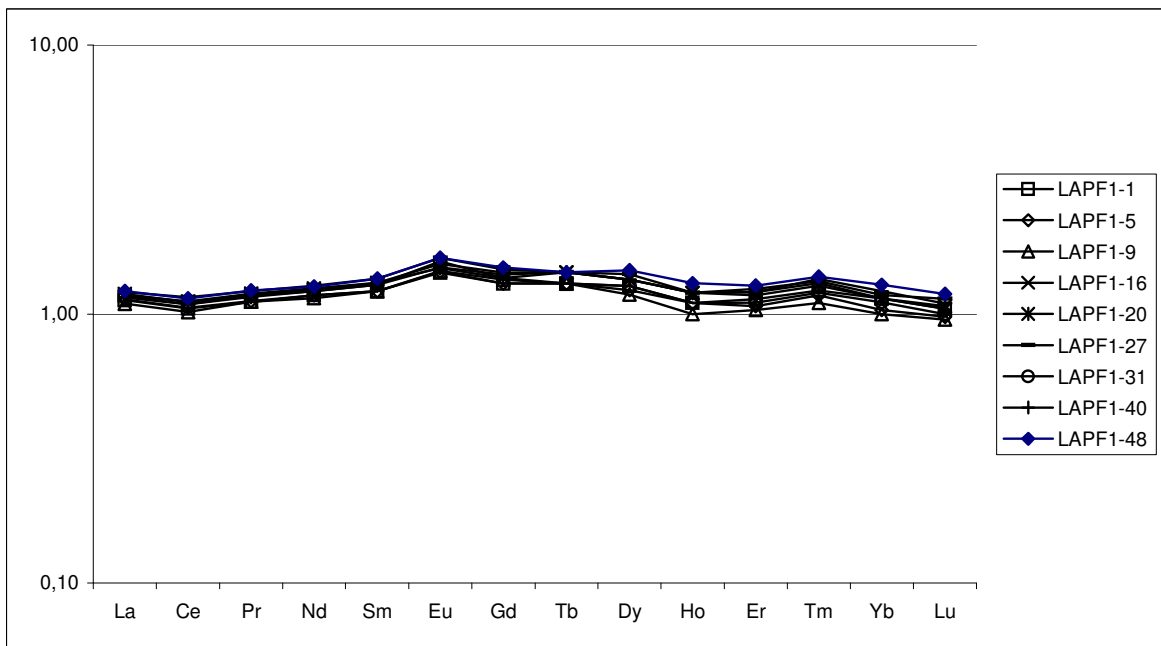


Figura 118 - Normalização dos ETR's nas bandas escuras (BE) contra PAAS (Taylor e McLennan, 1985).

### 3.4 MATERIAL EM SUSPENSÃO

#### 3.4.1 Mineralogia do Suspensato

O material em suspensão do lago Amapá é constituído de quartzo, mica, feldspatos e argilominerais como caulinita e esmectita (Figura 119), não havendo variação nessa constituição entre as amostras estudadas nas duas estações (LAPF1 e LAPF2).

Segundo Costa *et al.* (2003), os rios que drenam as bacias do Estado do Acre são de águas brancas por apresentarem grande quantidade de material em suspensão de granulometria silte e argila, formado por quartzo, feldspatos, minerais de argila (illita, esmectita, caulinita) e muscovita.

Considerando que o lago Amapá se conecta temporariamente com o rio Acre durante as cheias, aquele recebe material em suspensão praticamente de mesma composição mineralógica. Esse material que se assemelha ao do rio Acre – com granulometria mais fina -, juntamente com o material orgânico, deposita-se no fundo constituindo as camadas de sedimentação com bandas claras e escuras – o que já foi caracterizado anteriormente.

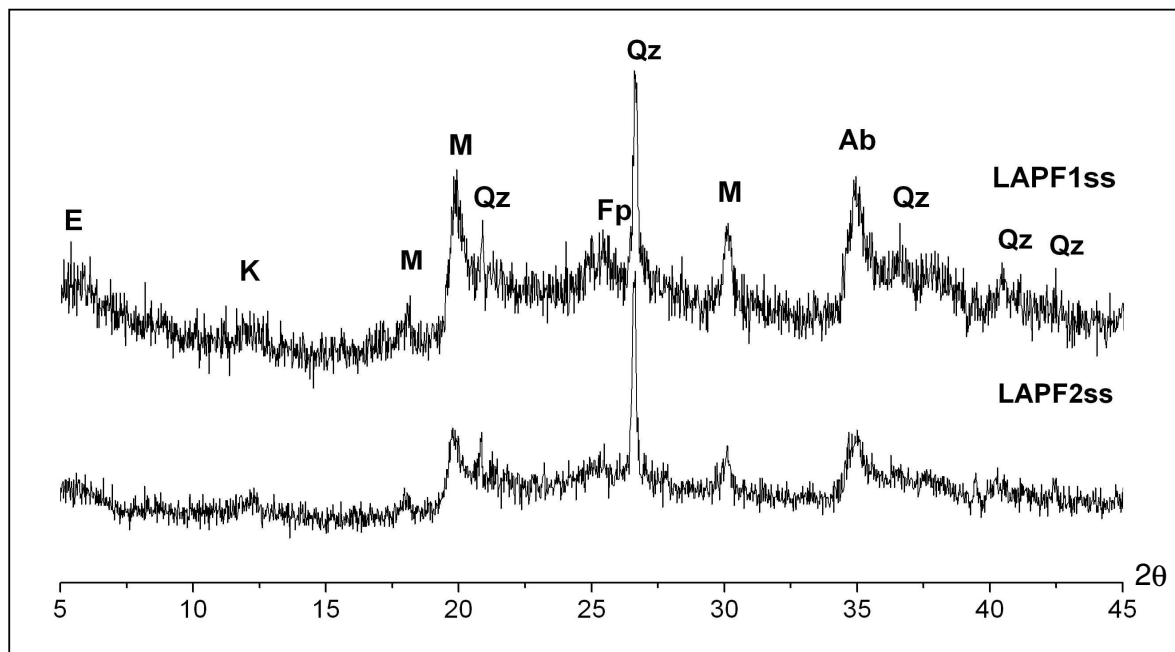


Figura 119 - Difratoograma de raios-X das amostras totais do material em suspensão nas estações LAPF1 e LAPF2, mostrando quartzo (Qz), feldspatos (Fp), esmectita (E), caulinita (K), albita (Ab) e mica (M).

Isso evidencia que o lago Amapá é, ainda em parte, alimentado pelo rio Acre, quando das suas principais enchentes.

### 3.4.2 Elementos Químicos Adsorvidos ao Material em Suspensão

A análise química do material em suspensão, segundo Método EPA 3051, estudado nas estações dos furos F1 e F2, evidencia que esses sedimentos adsorvem, principalmente, em ordem decrescente, Fe, Al, Mg, Mn, Se, Sn e Na (Tabela 13). Esses valores variam pouco entre as duas estações, estando, em geral, mais elevados na estação do furo F2, destacando-se Fe, Al, Mg, Mn e Ti (Figura 120). Dos elementos analisados, Fe e Al são os mais abundantes, com concentrações acima de 10 ppm, seguido de Mg, Mn e Se, entre 1 e 10 ppm, e o restante com valores abaixo de 1 ppm.

**Tabela 13 - Resultados de análise química de material em suspensão comparado com as análises das águas do lago Amapá e do rio Acre.**

Elemento Analisado	Material em Suspensão			Águas		
	LAPF1	LAPF2	Rio Acre	LAPF1	LAPF2	Rio Acre
Fe	50,313	59,87	84,211	1,075	0,933	0,591
Al	10,959	17,30	-	0,207	0,116	0,3487
Mg	2,801	3,72	11,74	1,323	1,391	1,4729
Mn	2,158	2,95	1,2	0,256	0,256	0,0499
Se	1,453	1,997	0,88	< 0,001	< 0,001	0,0612
Sn	0,735	0,994	0,333	-	-	-
Na	0,757	0,546	0,438	2,031	2,181	1,8421
Ti	0,188	0,511	0,685	-	-	-
Ba	0,229	0,271	0,476	0,0529	0,0483	0,058
B	<0,022	0,340	0,005	< 0,001	< 0,001	0,0215
Zn	0,156	0,167	0,018	< 0,002	< 0,002	0,6689
Cd	0,022	0,122	2,845	0,0029	0,0005	0,0002
As	0,045	0,078	0,006	0,0036	0,0055	0,0027
Hg	0,071	0,072	0,091	0,0059	0,0055	0,011
Sr	0,045	0,058	0,064	0,0322	0,0300	0,0361
Rb	0,018	0,028	0,09	0,0029	0,0030	0,0022
Cu	0,022	0,028	0,064	0,0036	0,0014	0,0071
Pb	0,015	0,018	0,045	0,0006	0,0003	0,001
Li	0,013	0,016	0,081	0,0024	0,0026	0,0025
Ce	0,006	0,008	0,013	0,0004	0,0004	0,0005
Cs	0,002	0,003	0,007	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
U	<0,0001	0,001	0,001	0,0001	0,0001	0,0001
Sb	<0,002	<0,002	<0,005	< 0,0003	< 0,0003	0,0004

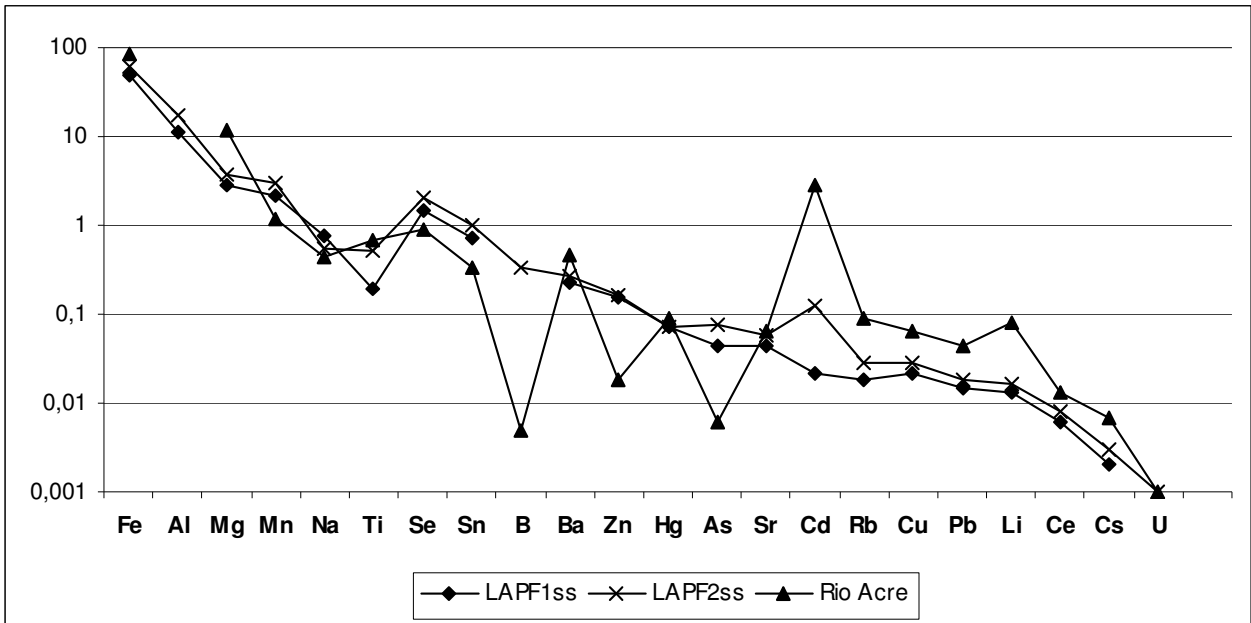


Figura 120 - Concentrações dos elementos químicos estudados no material em suspensão nas estações LAPF1 e LAPF2 e no rio Acre (valores em ppm).

Quando comparados com o suspensato do rio Acre, o material em suspensão nas águas das duas estações do lago Amapá é mais abundante, principalmente, em Mn, Se, Sn, (Na), (B), Zn e As. Os outros elementos estão, em geral, mais concentrados no rio. Dentre esses elementos, o Na está em maior concentração nas águas do que no material em suspensão nas estações (LAPF1, LAPF2 e no rio Acre), sendo, aquele, possivelmente, o elemento adsorvido mais facilmente liberado a partir do suspensato em solução.

É por sua extremidade, onde se localiza a estação do furo F2, que o lago Amapá recebe o aporte de material em suspensão do rio Acre durante as cheias. Além disso, esta estação está mais próxima de pisciculturas do que a estação do furo F1 - como já foi mencionado no presente trabalho.

### 3.5 IDADE RADIOCARBONO E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO

As análises de radiocarbono de amostras do furo F1 mostram que os sedimentos de fundo do lago Amapá - distribuídos em sucessões de bandas claras e bandas escuras alternadas, preenchendo quase 4 m de camadas delgadas e microbandadas superpostas - têm uma idade de, aproximadamente, 3160 anos AP (Figura 121).

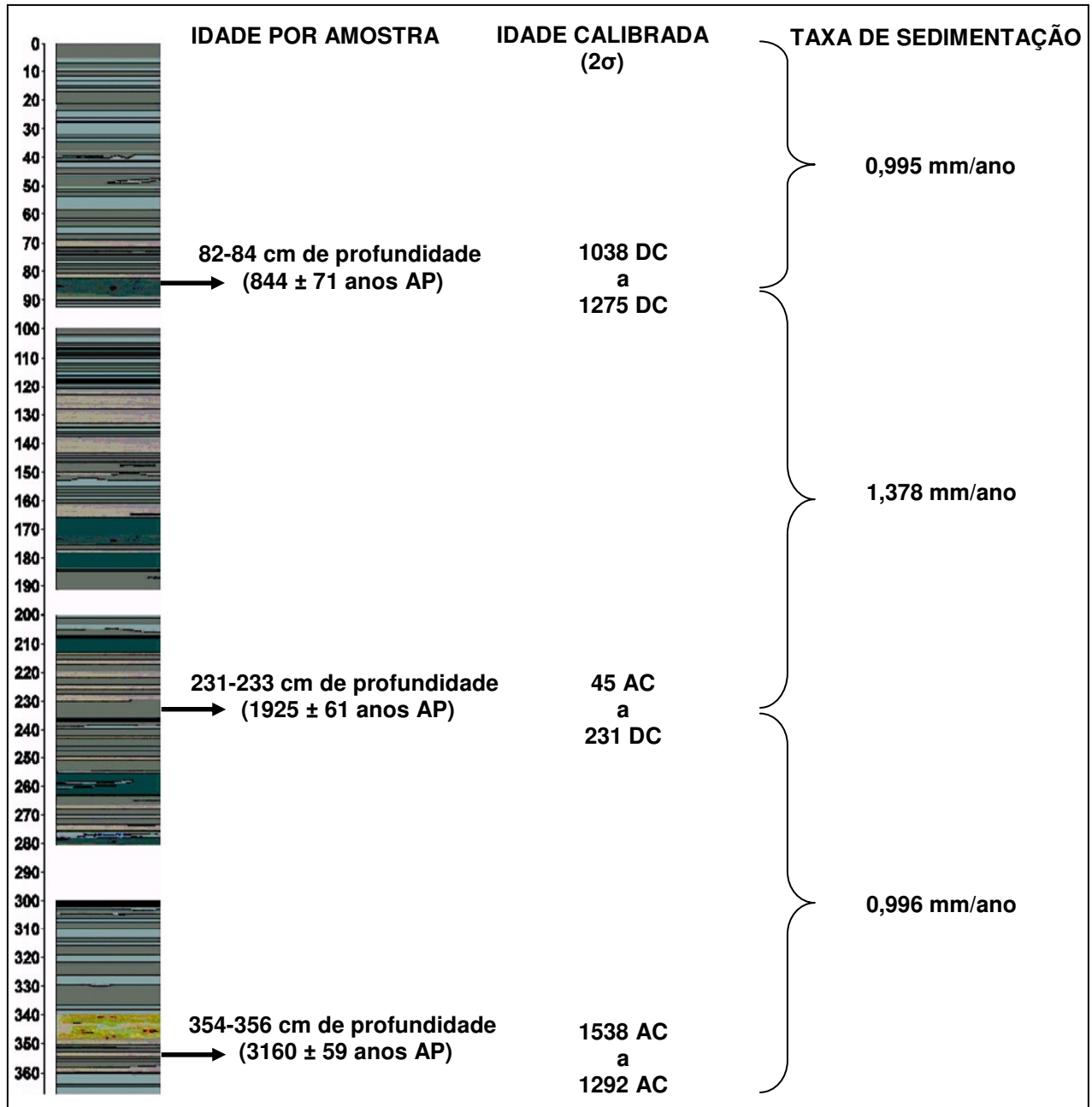


Figura 121 - Idade radiocarbono de amostras dos sedimentos de fundo do lago Amapá e taxa de sedimentação média (Profundidade em cm).

A taxa de sedimentação média relativamente elevada no lago Amapá (1,1 mm/ano), com pouca variação ao longo dos anos, sugere que a invasão pelas águas turbidas do rio Acre, nos períodos de cheia, constitui um fator importante no processo de assoreamento do lago. O rio Acre não mudou seu comportamento, em termos gerais, já que a taxa de sedimentação não sofreu variações expressivas.

Essa taxa é comparável à de sedimentação da lagoa Dourada, no Paraná, determinada por Melo (2000) que é de 1,22 mm/ano num intervalo de 0 a 10,6 m de testemunho.

Contudo, a taxa de sedimentação do lago Amapá é bem menor do que a do lago Grande de Curuai estudado por Moreira-Turq *et al.* (2004) – um lago grande de várzea localizado próximo à cidade de Óbidos no oeste do Pará que sofre longos períodos de inundação – que varia de 4,2 a 13,4 mm/ano.

Moreira-Turq *et al.* (2004) interpretam que as taxas de sedimentação nas planícies de inundação amazônicas variam consideravelmente, tanto temporal quanto espacialmente, parecendo indicar que estão diretamente relacionadas com a localização geográfica, com a proximidade do canal do rio Amazonas e com a duração da conexão com o rio.

A idade dos sedimentos mostra que o lago Amapá é um lago recente (holocênico) de pouco mais de 3.000 anos. A conexão temporária com seu rio formador contribui para o acúmulo de sedimentos (material em suspensão carregado para dentro do lago) juntamente com processos erosivos das margens, principalmente, nos barrancos com pouca ou já nenhuma cobertura vegetal.

Com essa idade, conclui-se que ocorreu a ruptura do lago Amapá há 3160 anos atrás. Ao longo desse período, o rio Acre sempre contribuiu com aporte de material em suspensão na constituição das camadas (laminadas) de sedimentação. Nos últimos anos, o lago vem experimentando forte influência da ação antrópica, como através de desmatamentos.

#### 4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O lago Amapá, meandro abandonado do rio Acre, tem típica morfologia em ferradura. Ele ocupa antiga planície de inundação aluvial do rio - hoje, gleissolos e neossolos -, mantendo, com este, ligação temporária e está em estágio de colmatação.

A ruptura do lago Amapá ocorreu - de acordo com as datações por radiocarbono - há 3160 anos e a taxa de sedimentação ao longo de todos esses anos foi quase constante com média de 1,1 mm/ano. São sedimentos finos síltico-argilosos bandados com granulometria média de 6  $\mu\text{m}$ , sendo constituídos de quartzo, argilominerais (illita, caulinita e esmectita), albita e K-feldspato. Essa mineralogia assemelha-se à do material em suspensão do rio Acre, embora os sedimentos em suspensão do lago tenham menor tamanho de partículas.

O bandamento (camadas claras e escuras) tem espessura milimétrica e, por vezes, algumas camadas são microlaminadas. A distinção entre bandas claras e escuras é dada pela maior abundância de detritos orgânicos vegetais nas bandas escuras.

O domínio de mais fina granulometria do furo F2, na extremidade do lago mais afastada do rio Acre, deve refletir, em parte, a sua posição distal do rio.

A composição química, bem como a mineralógica, é semelhante à do rio Acre comprovando que o mesmo tem sido a principal fonte de sedimentos do lago Amapá durante as enchentes - como a última em 2006 -, mostrando que existe um elo entre o rio e o lago. Essas afirmações confirmam a premissa dos dados analisados.

Em períodos de estiagem, a estrada de terra - conhecida localmente como Ramal do Posto de Saúde -, nos últimos 15 a 20 anos, contribui com uma parcela de material em suspensão, re-suspendido pelo tráfego de automóveis e caminhões, carregado pela ação dos ventos para dentro do lago, principalmente, próximo à estação LAPF1. Neste local, ainda é evidente erosão das margens do lago por consequência da retirada da cobertura vegetal ciliar, também acontecido nas últimas décadas em decorrência da ocupação humana.

Na estação Bu, o recente banco de areia e barro - evidente no período de estiagem - formado pelo material transportado das margens e do entorno do lago, é



claramente resultado de ação antrópica. Acrescido a isso, nessas proximidades, é bem provável a existência de um emissário, com descarga subterrânea para dentro do lago, vindo de propriedades do seu entorno. Esses fatores têm contribuído para aceleração do assoreamento do lago Amapá.

As águas do lago Amapá são claras, transparentes, com distribuição de algas pela superfície. Não apresenta estratificação térmica aparente - o que é comum em ambientes lacustres rasos -, destacando-se ligeiro aumento de temperatura na estação LAPF1 devido a sua localização geográfica, mais exposta aos raios solares. Seu pH é alcalino (8-9), baixando ligeiramente quando da invasão das águas túrbidas do rio Acre (pH neutro).

A química das águas do lago Amapá reflete a ação antropogênica no local. Por estar localizado em perímetro urbano, o lago Amapá está sofrendo perturbações de cunho antrópico.

Tão importante também, nessa avaliação, é a contribuição das pisciculturas no entorno do lago Amapá - próximas às estações LAPF1, Cb, Bu e LAPF2 - que devem despejar seus rejeitos (águas utilizadas nos tanques de peixes contendo dejetos) dentro dele, aportando, assim, nutrientes no corpo aquático. Isso está aumentando a produtividade nesse ecossistema lacustre, o que é mais claramente observado na estação LAPF2. Constata-se nesta estação, um “berçário” de peixes e pequenas aves que renovam os nutrientes das águas contribuindo para eutrofização do meio.

Todo esse aporte de material para dentro do lago reflete-se nos elevados valores de turbidez, STS, amônia, cloreto e (fosfato). O fósforo, ainda - tanto das águas como dos sedimentos -, pode estar contribuindo para formação de fosfatos como a vivianita encontrada.

Com uma boa política de preservação por parte de autoridades, e apoio da comunidade científica, é possível ainda equilibrar a interação homem e meio ambiente, reduzindo a velocidade de degradação deste ecossistema lacustre.

## REFERÊNCIAS

- ACRE. Governo do Estado. 1991. *Atlas Geográfico Ambiental do Acre*. IMAC - Rio Branco - Núcleo de Cartografia.
- ACRE. Governo do Estado. 2000. *Programa estadual de zoneamento ecológico-econômico do Estado do Acre. Zoneamento ecológico-econômico: recursos natural e meio ambiente - documento final*. Rio Branco: SECTMA, v. I.
- ACRE. 2005. Disponível em: <[www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)>. Acesso em: 04 out. 2005.
- ADRIANO, D. C. 1992. *Biogeochemistry of Trace Metals*. USA, Lewis Publishers. 513p.
- ALMEIDA, H. D. F. 2005. *Mineralogia, geoquímica, fertilidade e origem dos sedimentos de praia (barra em pontal) das bacias dos rios Purus e Juruá no Estado do Acre*. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 172p. (Dissertação de Mestrado).
- ALMEIDA, H. D. F.; COSTA, M. L.; REGO, J. A. R.; COSTA, A. M.; MARTINS, M. M. M.; OLIVEIRA, M. S.; ANGÉLICA, R. S. 2003. Contribuição mineralógica e química à fertilidade dos sedimentos praianos no estado do Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., Belém. *Anais*. Belém, SBGQ. p.174-177.
- ALMEIDA, J. S. 2000. *Influência do Regime Hidrológico sobre algumas Variáveis Limnológicas em um Lago da Planície de Inundação do Rio Acre (Lago Amapá, Acre, Brasil)*. Rio Branco, Universidade Federal do Acre. 150p. (Dissertação de Mestrado).

- AMORIM, M. A.; MOREIRA-TURCQ, P. F.; TURCQ, B.; PEREZ, M. A. P.; CORDEIRO, R. C. 2005. Caracterização e Quantificação da Composição Mineralógica e Granulométrica dos Sedimentos Superficiais da Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10., Porto de Galinhas. *Anais*. Porto de Galinhas, SBGQ. CD-ROM.
- AMS-facility, 2006. Disponível em: <[www.14c.uni-erlangen.de](http://www.14c.uni-erlangen.de)> Acesso em: 25 ago. 2006.
- BEHLING, H. 2003. Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. *Veget. Hist. Archaeobot.*, **12**: 263-270.
- BEHLING, H. & COSTA, M. L. 2000. Holocene Environmental Changes from the Rio Curuá Record in the Caxiuanã Region, Eastern Amazon Basin. *Quaternary Research*, **53**: 369-377.
- BEHLING, H. & COSTA, M. L. 2001. Holocene vegetational and coastal environmental changes from the Lago Crispim record in northeastern Pará State, eastern Amazonia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **114**: 145-155.
- BEHLING, H.; HOOGHIERMSTRA, H.; NEGRET, A. J. 1998. Holocene History of the Chocó Rain Forest from Laguna Piusbi, Southern Pacific Lowlands of Colombia. *Quaternary Research*, **50**: 300-308.
- BEHLING, H.; KEIM, G.; IRION, G.; JUNK, W.; MELLO, J. N. 2001. Holocene environmental changes in the Central Amazon Basin inferred from Lago Calado (Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **173**: 87-101.

- BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. 1976. *Folha SC. 19 Rio Branco*: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial do solo. Rio de Janeiro, DNPM. (Levantamento de recursos naturais, 12).
- BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. 1977. *Folha SB/SC. 18 Javari/Contamana*: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial do solo. Rio de Janeiro, DNPM. (Levantamento de recursos naturais, 13).
- BROWN, A.; MCKNIGHT, D. M.; CHIN, Y.; ROBERTS, E. C.; UHLE, M. 2004. Chemical characterization of dissolved organic material in Pony Lake, a saline coastal pond in Antarctica. *Marine Chemistry*, **89**: 327-337.
- CARROLL, D. 1974. *Clay mineral: a guide to their x-ray identification*. The Geological Society of America. 75p. (Special Paper).
- CARVALHO, P.; BINI, L. M.; THOMAZ, S. M.; OLIVEIRA, L. G.; ROBERTSON, B.; TAVECHIO, W. L. G.; DARWISCH, A. J. 2001. Comparative limnology of South American floodplain lakes and lagoons. *Acta Scientiarum*, Maringá, **23(2)**: 265-173.
- CHAMLEY, H. 1989. *Clay Sedimentology*. Springer-Verlag, p. 75.
- CONAMA. 1986. Resolução CONAMA nº. 20 de 18 de junho de 1986. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, 30 set, 1986. 22p. Disponível em: <[www.ambientec.com](http://www.ambientec.com)>. Acesso em: 16 mar. 2006.
- COSTA, M. L. & LEMOS, V. P. 2000. Siderita e vivianita em crostas lateríticas alteradas epigeneticamente (Paduari, Amazônia). *Revista Escola de Minas*. **53(2)**: 101-107.

- COSTA, M. L.; ALMEIDA, H. D. F.; REGO, J. A. R.; JESUS, I. M.; SÁ, G. C.; BRABO, E. S.; SANTOS, E. O.; ANGÉLICA, R. S. 2003. Aspectos Físico-Químicos e Considerações Geoquímicas sobre as Águas Fluviais do Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., Belém. *Anais*. Belém, SBGQ. p.322-324.
- COSTA, M. L.; CARMO, M. S.; BEHLING, H. 2005a. Mineralogia e Geoquímica de Sedimentos Lacustres com Substrato Laterítico na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, **35(2)**: 165-176.
- COSTA, R. L.; TURCQ, B. J.; CORDEIRO, R. C.; CARNEIRO FILHO, A.; BERNARDES, M. 2005b. Sedimentação Lacustre e Paleoambiental na Região de Acarabixi, Médio Rio Negro, Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10., Porto de Galinhas. *Anais*. Porto de Galinhas, SBGQ. CD-ROM.
- CUNHA-SANTINO, M. B. & BIANCHINI-JUNIOR, I. 2002. Humic substance mineralization in a tropical oxbow lake (São Paulo, Brazil). *Hydrobiologia*, **468**: 33-43.
- CURTIS, C. D. 1985. Clay mineral precipitation and transformation during burial diagenesis. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, **315**: 91-105.
- DAVIS, R. A. 1983. *Depositional Systems: A Genetic Approach to Sedimentary Geology*. Englewood Cliffs, Inc., Prentice-Hall. p.142-144.
- DEIKE, R. G.; GRANINA, L.; CALLENDER, E.; MCGEE J. J. 1997. Formation of ferric iron crusts in Quaternary sediments of lake Baikal, Russia, and implications for paleoclimate. *Marine Geology*, **139**: 21-46.

- ENGSTROM, D. R. & WRIGHT JR, H. E. 1984. Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. In: HAWORTH, E. Y. & LUND, J. W. G. *Lake Sedimentation and Environmental History*. Minneapolis, University of Minnesota Press. p.57-59.
- ESTEVEES, F. A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, Editora Interciência/FINEP. 602p.
- FAGEL, N.; ALLEMAN, L. Y.; GRANINA, L.; HATERT, F.; THAMO-BOZSO, E., CLOOTS, R.; ANDRÉ, L. 2004. Vivianite formation and distribution in Lake Baikal sediments. *Global and Planetary Change*, **966**: 1-22.
- FERREIRA, E. 2004. *Lago do Amapá pede socorro*: Pesca predatória e a retirada ilegal de areia ameaçam um dos mais importantes lagos de Rio Branco. Disponível em: <[www.uol.com.br/pagina20](http://www.uol.com.br/pagina20)>. Acesso em: 13 fev. 2006.
- FRANZINELLI, H & POTTER, P. E. 1985. Areias recentes dos rios da Bacia Amazônica: composições petrográfica, textural e química. *Revista Brasileira de Geociências*. **15(3)**: 213-220.
- GOMES, C. F. 1986. *Argilas: o que são e para que servem*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 456p.
- HARTIG, J. H.; HEIDTKE, T. M.; ZARULL, M. A.; Yu, B. 2004. The management lessons learned from sediment remediation in the Detroit River – western Lake Erie watershed. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **9**: 163-170.
- HOOKE, J. M. 2004. Cutoffs galore!: occurrence and causes of multiple cutoffs on a meandering river. *Geomorphology*, **61**: 225-238.

- HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; NOGUEIRA, A. C. R. 2005. Geochemistry of Holocene Lacustrine Sediments – Central Amazonia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10., Porto de Galinhas. *Anais*. Porto de Galinhas, SBGQ. CD-ROM.
- HORBE, A. M. C.; SANTOS, A. G. S; MIRANDA, A. S.; OLIVEIRA, L. G. S. 2003. Geoquímica das Águas de alguns Rios da Amazônia Ocidental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., Belém. *Anais*. Belém, SBGQ. p.311-312.
- IBGE. 2005. *Censo de População Estimada*. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php)>. Acesso em: 29 ago. 2005.
- ITERACRE. 2005. *Seringal Amapá (Entorno do Lago e Ilha)*, Instituto de Terras do Acre, Departamento Técnico. 59p. (Relatório Técnico Preliminar).
- IZAGUIRRE, I.; O'FARRELL, I.; UNREIN, F.; SINISTRO, R.; AFONSO, M. S.; TELL, G. 2004. Algal assemblages across a wetland, from a shallow lake to relictual oxbow lakes (Lower Paraná River, South America). *Hydrobiologia*, **511**: 25-36.
- JACKSON, M. L. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Englewood Cliffs, Inc., Prentice-Hall.
- KEPPELER, E. C. 2003. Comparative study of the zooplankton composition of two lacustrine ecosystems in Southwestern Amazonia. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, Maringá, **25 (2)**: 467-477.
- KEPPELER, E. C. & HARDY, E. R. 2002. Estimativa do tamanho das fêmeas com ovos de *Moina minuta* Hansen, 1899 (Cladocera, Crustácea) no lago Amapá, Rio Branco, Estado do Acre, Brasil. *Acta Scientiarum*, Maringá, **24 (2)**: 321-328.
- KEPPELER, E. C.; LOPES, M. R. M.; LIMA, C. S. 1999a. Ficoflórula do Lago Amapá em Rio-Acre, I: Euglenophyceae. *Revista Brasileira de Biologia*, **59(4)**: 679-686.

- KEPPELER, E. C.; LOPES, M. R. M.; LIMA, C. S. 1999b. Ficoflórula do Lago Amapá em Rio-Acre, II: Chlorophyta. *Revista Brasileira de Biologia*, **59(4)**: 687-691.
- KONHAUSER, K. O.; FYFE, W. S.; KROMBERG, B. I. 1994. Multi-element chemistry of some Amazonian water and soils. *Chemical Geology*, **111**: 155-175.
- LAGO Amapá. 2006. Disponível em: <<http://www.googleearth.com>>. Acesso em: 18 ago. 2006.
- LIVERPOOL, T. B. & EDWARDS, S. F. 1995. Dynamics of a Meandering River. *Physical Review Letters*, **75(16)**: 3016-3019.
- LOIZEAU, J.; PARDOS, M.; MONNA, F.; PEYTREMANN, C; HALLER, L.; DOMINIK, J. 2004. The impact of a sewage treatment plant's effluent on sediment quality in a small bay in Lake Geneva (Switzerland-France). Part 2: Temporal evolution of heavy metals. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **9**: 53-63.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnologia*. Barcelona. Ediciones Omega, S.A.
- MARTINS, M. M. M. 2005. *Encadeamento geoquímico entre sedimentos (solos) e cultivares em praia, além de cabelo humano de ribeirinhos, ao longo de rios da bacia do Purus no estado do Acre e sua importância ambiental*. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 133p. (Dissertação de Mestrado).
- MELO, D. P.; PITTHAN, J. H. L.; ALMEIDA, V. J. 1976. Geomorfologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL, *Folha SC. 19, Rio Branco*. Rio de Janeiro (Levantamento de Recursos Naturais, 12).
- MELO, M. S. 2000. *Lagoa Dourada, Furna Assoreada do Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, PR*. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Disponível em: <[www.unb.br/ig/sigep/sitio099/sitio099.htm](http://www.unb.br/ig/sigep/sitio099/sitio099.htm)>. Acesso em: 18 abr. 2004.



- MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; COSTA, J. A. V.; BESERRA NETA, L. C. 2005. Avaliação de Impactos Ambientais nos Lagos Situados no Entorno da Cidade de Boa Vista (Roraima) com Base nos Parâmetro Físico-Químicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10., Porto de Galinhas. *Anais*. Porto de Galinhas, SBGQ. CD-ROM.
- MENEZES, M. L. P. & FERNANDES, N. N. 2005. As capitais do acre: a cidade e os poderes. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Barcelona*. **9(194)**. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-194-106.htm>>. Acesso em: 04 out. 2005.
- MEYER, K. E. B.; REICHHART, K.; ASHRAF, A. R.; MARQUES-TOIGO, M.; MOSBRUGGER, V. 2005. Holocene evolution of Itapeva Lake, Rio Grande do Sul, Brazil: Playnomorphs, C<sub>org</sub>, N and S records. *Journal of South American Earth Sciences*, **19**: 181-192.
- MIRANDA, L. E.; HARGREAVES, J. A.; RABORN, S. W. 2001. Predicting and managing risk of unsuitable dissolved oxygen in a eutrophic lake. *Hydrobiologia*, **457**: 177-185.
- MOORE, D. M. & REYNOLDS JR, R. C. 1997. *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. New York, Oxford. 378p.
- MOREIRA-TURCQ, P.; JOUANNEAU, J. M.; TURCQ, B.; SEYLER, P.; WEBER, O.; GUYOT, J. L. 2004. Carbon sedimentation at Lago Grande de Curuai, a floodplain lake in the low Amazon region: insights into sedimentation rates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **214**: 27-40.
- ODADA, E. R. 2004. Basic research on the world's lakes lags far behind similar research on the oceans. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **9**: 161-162.

- PARDOS, M.; BENNINGHOFF, C.; ALENCASTRO, L. F.; WILDI, W. 2004. The impact of a sewage treatment plant's effluent on sediment quality in a small bay in Lake Geneva (Switzerland-France). Part 1: Spatial distribution of contaminants and the potential for biological impacts. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **9**: 41-52.
- PENCZAK, T.; GALICKA, W.; GLOWACKI, L.; KOSZALINSKI, H.; KRUK, A.; ZIEBA, G.; KOSTRZEWA, J.; MARSZAL, L. 2004. Fish assemblage changes relative to environmental factors and time in the Warta River, Poland, and its oxbow lakes. *Journal of Fish Biology*, **64**: 483-501.
- POSTMA, D. 1981. Formation of siderite and vivianite and the pore water composition of a recent bog sediment in Denmark. *Chem. Geol.*, **31**: 225-244.
- QUANTACHROM-CILAS920, 2006. Disponível em: <[www.cilasus.com](http://www.cilasus.com)> Acesso em: 18 nov. 2005.
- QUEIROZ, G.; MORALES, G. P.; ESPINOLA, E. L. G.; PARISE, G. G. 2005. Análise do Comportamento de Metais Traços num Lago Urbano da Região Amazônica – Água Preta (Belém-Pará). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10., Porto de Galinhas. *Anais*. Porto de Galinhas, SBGQ. CD-ROM.
- RAHMAN, A. K. M.; BAKRI, D. A.; FORD, P.; CHURCH, T. 2005. Limnological characteristics, eutrophication and cyanobacterial blooms in an inland reservoir, Australia. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **10**: 211-220.
- RICHTER, B. D. & RICHTER, H. E. 2000. Prescribing Flood Regimes to Sustain Riparian Ecosystems along Meandering Rivers. *Conservation Biology*, **14(5)**: 1467-1478.

- ROBARTS, R. D.; WAISER, M. J.; ARTS, M. T.; EVANS, M. S. 2005. Seasonal and diel changes of dissolved oxygen in a hypertrophic prairie lake. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **10**: 167-177.
- RODRIGUES-FILHO, S.; BEHLING, H.; IRION, G.; MÜLLER, G. 2002. Evidence for Lake Formation as a Response to an Inferred Holocene Climatic Transition in Brazil. *Quaternary Research*, **57**: 131-137.
- RODRÍGUEZ-GALLEGO, L. R.; MAZZEO, N.; GORGA, J.; MEERHOFF, M.; CLEMENTE, J.; KRUK, C.; SCASSO, F.; LACEROT, J.; GARCÍA, J.; QUINTANS, F. 2004. The effects of an artificial wetland dominated by free-floating plants on the restoration of a subtropical, hypertrophic lake. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **9**: 203-215.
- ROLLINSON, H. R. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. New York, Longman Scientific & Technical. 352p.
- SANTOS, A. L. P.; POLIVANOV, H.; SILVA, M. M. 2005. Estudo sobre a Qualidade Agrícola dos Sedimentos Depositados no Reservatório de Santana, Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10., Porto de Galinhas. *Anais*. Porto de Galinhas, SBGQ. CD-ROM.
- SAWYER, E. W. 1986. The influence of source rock type, chemical weathering and sorting on the geochemistry of clastic sediments from Quetico metasedimentary belt, superior province, Canadá. *Chemical Geology*, **55**: 77-95.
- SEYLER, P.; VIERS, J.; BARROUX, G.; PINELLI, M.; BOAVENTURA, G. R. 2005. Role of the Floodplain lakes in the Trace Element Dynamics of the Amazon River. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10., Porto de Galinhas. *Anais*. Porto de Galinhas, SBGQ. CD-ROM.

- SIFEDDINE, A.; WIRRMANN, D.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; TURCQ, B.; CORDEIRO, R. C.; GURGEL, M. H. C.; ABRÃO, J. J. 2004. Bulk composition of sedimentary organic matter used in palaeoenvironmental reconstructions: examples from the tropical belt of South America and Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **214**: 41-53.
- SILVA, M. A. L. & REZENDE, C. E. 2002. Behavior of selected micro and trace elements and organic matter in sediments of a freshwater system in south-east Brazil. *The Science of the Total Environment*, **292**: 121-128.
- SILVA, M. R. C. 2002. *Estudo de Sedimentos da Bacia Hidrográfica de Moji-Guaçu, com ênfase na Determinação de Metais*. São Carlos, Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos. 113p. (Dissertação de Mestrado).
- SIOLI, H. 1984. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: SIOLI, H. (ed.) *The Amazon, Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and Its Basin*. Dordrecht. p.127-166.
- SOUZA, C. M. M. & GUEDES, L. 2005. Associação Geoquímica de Metais Pesados em Perfis Sedimentares de Dois Ecossistemas Lacustres do Norte do Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10., Porto de Galinhas. *Anais*. Porto de Galinhas, SBGQ. CD-ROM.
- TAYLOR, S. R. & McLENNAN, S. M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Victoria, Blackwell. 312p.
- THOMAS, R. L. A. 1987. Protocol for the selection of process-oriented remedial options to control in situ sediment contaminants. Ecological effects of in situ sediment contaminants. *Hidrobiol.*, **149**: 247-258.

- TOCANTINS, L. 1979. *Formação Histórica do Acre*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, Vol. I, II e III.
- TSUJIMURA, S. 2004. Water management of Lake Yogo targeting internal phosphorus loading. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **9**: 171-179.
- US EPA method 3051.1994. *Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils*. Washington, DC.
- VIANA, E. C. A. 2005. *Aspectos Granulométricos, Mineralógicos e Químicos de Sedimentos de Praias (Barras em Pontal) do Rio Acre e sua Relação com a Fertilidade*. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 142p. (Dissertação de Mestrado).
- VECTRA. 2003. VECTRA ENGENHARIA E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO. (Rio Branco). Lago Amapá, vista parcial: foto aérea. Rio Branco. Fx01, n.53.
- VIANA, E. C. A.; COSTA, M. L.; OLIVEIRA, M. S.; COSTA, A. M.; ANGÉLICA, R. S. 2003. Aspectos Granulométricos, Mineralógicos e Químicos de Areias de Praia (Barra em Pontal) do Rio Acre e sua Relação com a Fertilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., Belém. *Anais*. Belém, SBGQ. p.196-198.
- WALKLEY, A. & BLACK, I. A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils. Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Sci.* **63**: 251-263.
- WEDEPOHL, K. H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **59(7)**: 1217-1232.

- XIANG, L.; LU, X. X.; HIGGITT, D. L.; WANG, S. M. 2002. Recent lake sedimentation in the middle and lower Yangtze basin inferred from  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  measurements. *Journal of Asian Earth Sciences*, **21**: 77-86.
- YANG, H. & ROSE, N. 2004. Trace element pollution records in some UK lake sediments, their history, influence factors and regional differences. *Environmental International*, **1238**: 1-13.
- YANG, S. Y.; JUNG, H. S.; LI, C. X. 2003. Two unique weathering regimes in the Changjiang and Huanghe drainage basins: geological evidence from river sediments. *Sedimentary Geology*, **20**: 1-16.