

## ARSÊNIO NA BACIA AMAZÔNICA

Wilson Scarpelli  
wiscar@terra.com.br

Com seus 6.925.000 km<sup>2</sup>, a Bacia Amazônica drena desde logo a norte de Brasília até La Paz e dali seguindo os Andes até próximo a Bogotá, bordejando então ao ao longo da fronteira norte do Brasil, até a foz do Rio Amazonas. A bacia originou-se pela inversão de drenagens que fluíam para o oeste, represadas e revertidas para leste com o erguimento dos Andes.

Na vasta região topograficamente baixa a leste dos Andes ela tem grande cobertura florestal e é muito chuvosa, com grandes rios caudalosos. Nessa área o intemperismo é intenso e profundo e a intensidade de erosão é relativamente baixa. Em contraste, nas regiões andinas, caracterizadas por elevações abruptas de mais de 4.000 m de altura, a profundidade de intemperização é pequena e a intensidade da erosão é muito alta.



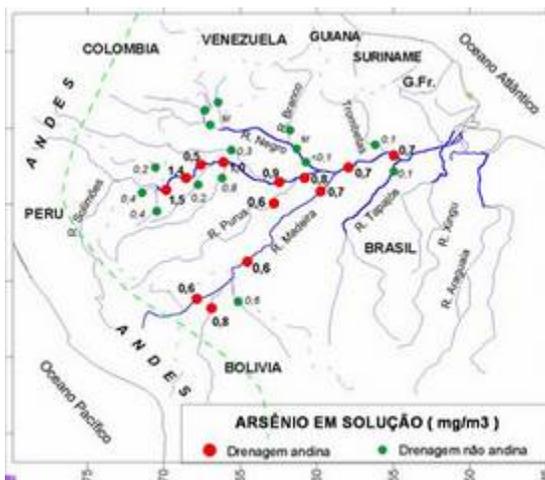
Seyler e Boaventura (2001) apresentam medições do volume de água feitas pelo DNAEE no período de 1965-1990. Em Óbidos, Pará, a vazão média no período chegou a 209.000 m<sup>3</sup>/segundo, correspondendo a 6.500.000.000.000 m<sup>3</sup> anuais. Também citam que o rio carrega ao mar cerca de 600.000.000 t anuais de sedimentos transportados em suspensão, correspondendo a uma concentração média de 90 g/m<sup>3</sup>.

Essa massa de sedimentos provêm essencialmente dos Andes, sendo estimado que 62% chega pelo Rio Solimões e 35% pelo Rio Madeira, com apenas 3% chegando pelos demais rios. Isto explica o conteúdo barrento dos rios andinos e sua cor marrom.

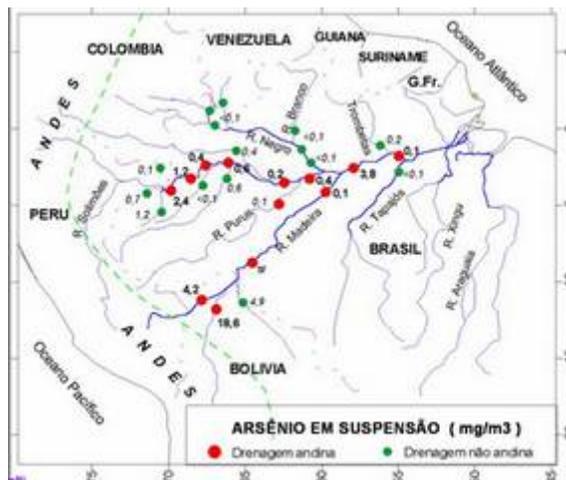
Na bibliografia constam vários trabalhos de amostragem de rios da Amazônia, normalmente em áreas localizadas e com objetivos específicos. O trabalho mais completo, relatado por Seyler e Boaventura (2001), provem do Projeto HiBAM - Hidrologia da Bacia Amazônica (ANEEL, Univ. Brasília, Cons. Nac. Desenvolvimento Científico e Tecnológico e IRD/Orstom), através do qual foram efetuadas amostragens em pontos de controle sedimentométrico instalados pelo DNAEE e operados pela ANEEL em muitos dos rios da Amazônia. Nesses pontos, onde são rotineiramente efetuadas medições de vazão, foram tomadas amostras de água e do material em suspensão, as quais foram analisadas para 16 elementos, inclusive arsênio. No tocante a arsênio, foram apresentados seus teores em água, onde ocorre como compostos solúveis orgânicos e inorgânicos, e em sólidos, onde ocorre principalmente adsorvido ou absorvido a óxidos e hidróxidos de ferro e de manganês.

A partir dos dados de Seyler e Boaventura (2001), ou seja, as datas de amostragem, vazões nos pontos de amostragem, concentração da massa sedimentar sólida em transporte e os teores de arsênio nos sedimentos e em solução, foram calculados as massas de sedimento em

transporte, seus teores em arsênio, os teores totais de arsênio nos rios e, em toneladas por dia, a tonelagem de arsênio sendo transportada em cada ponto.



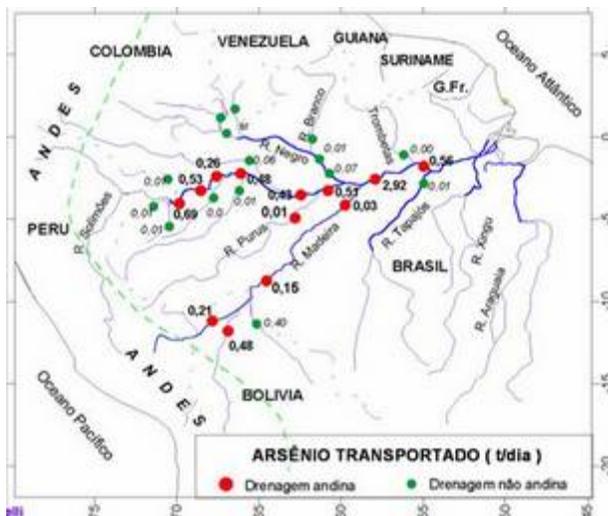
Valores de arsênio em solução em rios da Bacia Amazônica.



Valores de arsênio em suspensão em rios da Bacia Amazônica.

Os maiores valores de arsênio estão nos rios andinos, mormente no Solimões e no Madeira, e os menores nos rios do cristalino brasileiro. Em Óbidos o Rio Amazonas tem mais que  $0,8 \text{ mg/m}^3$  de arsênio, indicando que cerca de 0,5 toneladas de elemento são levadas diariamente ao mar, ou seja, mais de 200 toneladas anualmente.

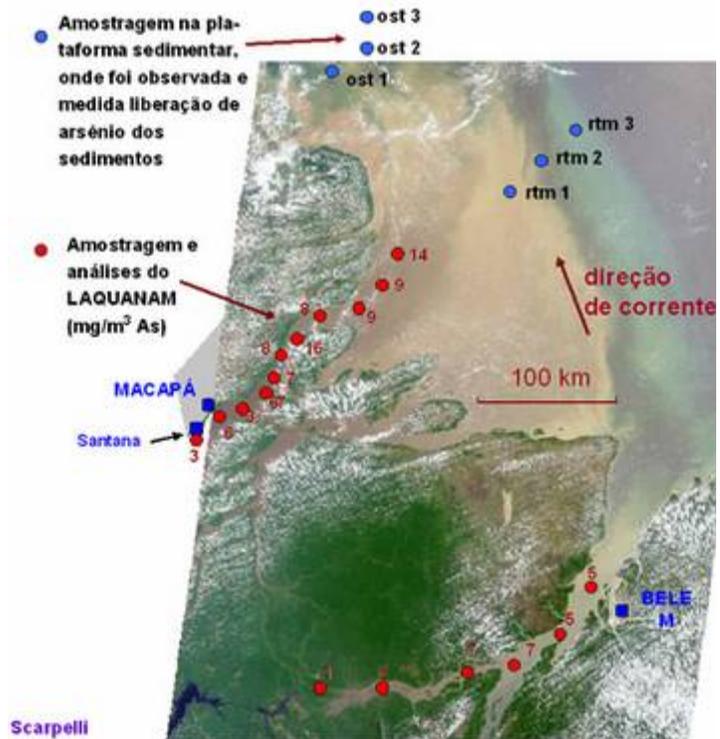
Considerando que o máximo tolerável de arsênio em águas potáveis no Brasil é de  $10 \text{ mg/m}^3$  (10 ppb), conforme define a Portaria 518/2004, do Ministério da Saúde, algumas das amostras do alto Curso dos rios Madeira e Solimões apresentaram valores perigosos, embora ainda inferiores àquele máximo. De qualquer forma, convém monitorar essas concentrações, devido à sazonalidade das águas e devido a que o arsênio acumula-se na cadeia alimentar de peixes, onde pode alcançar concentrações nocivas.



Arsênio total transportado pelos rios da Bacia Amazônica, em toneladas por dia. Discrepâncias nos valores são devidas a diferentes épocas de amostragem.

Na foz do Amazonas houve importante campanha de amostragem e análises relatada pela Química S. Pereira, do LAQUANAM, laboratório da Universidade do Pará, a qual foi dirigida especificamente para arsênio. Essa pesquisa mostrou haver significativo aumento da concentração de arsênio em direção ao mar, variando de 3 a  $5 \text{ mg/m}^3$  em frente a Macapá e Belém, até 10 a  $14 \text{ mg/m}^3$  na região da foz. Essas últimas concentrações são superiores aos máximos aceitos para água potável.

Na foz dos Rios Amazonas e Guamá os valores de arsênio aumentam em direção ao mar, até superando o limite de 10 mg/m<sup>3</sup>, conforme mostrou S. Peireira, do Laquanam. Conforme mostrou Sullivan e Aller (1996), do Ocean Drilling Program, o aumento de arsênio solúvel na água deve-se a sua liberação durante a recristalização diagenética dos hidróxidos de ferro, que alteram-se em sulfetos, carbonatos e fosfatos ao serem soterrados na pilha sedimentar da plataforma marinha. Na figura estão anotados os pontos de amostragem do Ocean Drilling Program.



Para além da foz do Rio Amazonas os sedimentos em suspensão são depositados sobre a plataforma sedimentar marinha, a qual tem sido estudada por motivos científicos e também em vista da possibilidade de ocorrência de petróleo.

McDaniel et alli. (2002) demonstraram, com isótopos de neodímio e chumbo, que (tradução do original) “... as lamas depositadas no Delta Amazônico derivam predominantemente das montanhas andinas. Além disso, ... não foram afetadas pelo intenso intemperismo que existe hoje na Bacia Amazônica.” A essa conclusão havia chegado Gibbs (1967), com estudos dos sedimentos do Rio Amazonas. Nanayama (1997) verificou que na plataforma há também minerais provenientes da plataforma continental brasileira. De modo geral, os sedimentos são constituídos de argilas, quartzo, silicatos e óxidos e hidróxidos de ferro.

Burns (1997) relata que na plataforma, a cerca de um metro de profundidade, há um nível rico em minerais diagenéticos de ferro, na forma de sulfetos, fosfatos e carbonatos. Verificou que esses minerais formam-se ali de forma contínua, a partir de dissoluções e recristalizações, sob condições redutoras, dos hidróxidos, óxidos e sulfatos de ferro trazidos pelo rio..

Sullivan e Aller (1996) verificaram que as recristalizações que originam esses sulfetos, fosfatos e carbonatos de ferro liberam o arsênio que estava contido nos óxidos e hidróxidos de ferro e que o arsênio liberto encontra-se livre, dissolvido na água intersticial dos sedimentos, com os teores máximos ocorrendo à profundidade de 0,25 a 1,5 metros. Chegaram a observar teores de até 300 mg/m<sup>3</sup> (300 ppb) no nível com minerais diagenéticos de ferro. Informam que (tradução do original) “a concentração máxima observada de arsênio é de uma ordem de magnitude maior que os níveis encontrados na maioria dos outros ambientes marinhos e concentrações elevadas de arsênio estendem-se por vários metros abaixo da superfície dos sedimentos. ... Esses padrões refletem intensas reduções químicas vinculadas ao ferro, de forma que o arsênio, que na superfície dos sedimentos ocorre na forma oxidada, nos

*oxihidróxidos de ferro, é reduzido e liberado quando soterrado pela sedimentação. Difusão para cima do arsênio possivelmente o libera para a coluna de água ou permite sua readsorção na zona superior dos sedimentos.”* Verificaram também que esses sedimentos costumam ser erodidos por ocasião de aumentos de vazão do grande rio, colocando o arsênio em solução nas águas do mar, para concentrações acima das encontradas no rio.

Com o refluxo das águas nas ocasiões de maré alta, parte do arsênio assim liberado pode ser transportado de volta para o interior da região da foz, explicando os altos teores observados pelo LAQUANAM.

Além dos altos cursos dos rios andinos, é de particular interesse estudar com atenção as características e a distribuição de arsênio nas águas e sedimentos da foz e do delta amazônico, visto que peixes e crustáceos dessa região têm tido intenso aproveitamento econômico.

## **IX. REFERÊNCIAS**

Burns, S.J. 1997. Early diagenesis in Amazon fan sediments”. In Proceedings Ocean Drill.Progr. Scient.Res. 155, 30.

Debrabant. P. et alli. 1997. – Clay mineral distribution and significance in Quaternary sediments of the Amazon fan. In Proceedings Ocean Drill.Progr. Scient.Res. 155. 9.

Gibbs, R.J. 1967. The geochemistry of the Amazon River System: Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. Geol.Soc.Am.Bull., **78**:1203-1232.

McDaniel, D.K. et alli. 2002. Provenance of Amazon fan muds: constraints from Nd and Pb isotopes. De [www-odp.tamu.edu/publications/155\\_SR/ABSTRACT/8.HTM](http://www-odp.tamu.edu/publications/155_SR/ABSTRACT/8.HTM).

Nanayama, F. 1997. An electron microprobe study of the Amazon fan”, Proceedings Ocean Drill.Progr.. Scient. Res. 155,7.

Pereira, S.F.P., sem data. Avaliação da contaminação por metais pesados no Delta do Rio Amazonas. Relatório Parcial. UF Pará, LAQUANAM.

Seyler, P.T. e Boaventura, G.R. 2001. Trace Elements in the Mainstem Amazon River. In The Biogeochemistry of the Amazon Basin, ed. McClain M.E., Victoria FR.L. e Richey J.E.. Oxford Press. 16,307-327.

Sullivan, K.A. e Aller, R.C. 1996. Diagenetic cycling of arsenic in Amazon shelf sediments”, Geoch. et Cosmoch. Acta **60**:1465-1477.

Conteúdo de arsênio nas águas de rios da Bacia Amazônica  
(valores calculados a partir de dados apresentados por Seyler e Boaventura (2001))

Dados de Seyler e Boaventura (2001)						Dados calculados neste trabalho					
Rio	Distância do mar (km)	Vazão medida		Teor de As em solução (mg/m <sup>3</sup> )	Sedimentos em suspensão (g/m <sup>3</sup> )	Teor de As nos sedimentos (g/ton)	Teor As devido aos sedimentos (mg/m <sup>3</sup> )	Transporte de As em sedimentos (ton/dia)	Transporte de As em solução (ton/dia)	Transporte total de As (ton/dia)	Teor total de As na vazão (mg/m <sup>3</sup> )
		Vazão (m <sup>3</sup> /seg)	Data								
<b>Solimões</b>	<b>2.500</b>	<b>20.115</b>	<b>26/out/95</b>	<b>1,53</b>	<b>166,5</b>	<b>14,5</b>	<b>2,41</b>	<b>0,42</b>	<b>0,27</b>	<b>0,69</b>	<b>3,94</b>
Javari		1.565	27/out/95	0,36	127,6	5,8	0,74	0,01	0,00	0,01	1,10
Itaquai		793	27/out/95	0,44	148,3	7,9	1,17	0,01	0,00	0,01	1,61
<b>Solimões</b>	<b>2.200</b>	<b>24.251</b>	<b>28/out/95</b>	<b>1,38</b>	<b>74,5</b>	<b>15,7</b>	<b>1,17</b>	<b>0,25</b>	<b>0,29</b>	<b>0,53</b>	<b>2,55</b>
Içá		5.354	31/out/95	0,15	41,4	3,5	0,14	0,01	0,01	0,01	0,29
<b>Solimões</b>		<b>32.539</b>	<b>29/out/95</b>	<b>0,49</b>	<b>46,0</b>	<b>9,7</b>	<b>0,45</b>	<b>0,13</b>	<b>0,14</b>	<b>0,26</b>	<b>0,94</b>
Jutaí		1.143	3/nov/95	0,15	13,5	3,4	0,05	0,00	0,00	0,00	0,20
<b>Solimões</b>	<b>1.900</b>	<b>34.333</b>	<b>3/nov/95</b>	<b>1,01</b>	<b>60,9</b>	<b>10,0</b>	<b>0,61</b>	<b>0,18</b>	<b>0,30</b>	<b>0,48</b>	<b>1,62</b>
Juruá		1.045	4/nov/95	0,85	56,3	10,1	0,57	0,01	0,01	0,01	1,42
Japurá		10.264	4/nov/95	0,33	28,5	13,6	0,39	0,03	0,03	0,06	0,72
<b>Solimões</b>	<b>1.380</b>	<b>46.847</b>	<b>7/nov/95</b>	<b>0,88</b>	<b>63,7</b>	<b>3,0</b>	<b>0,19</b>	<b>0,08</b>	<b>0,36</b>	<b>0,43</b>	<b>1,07</b>
Purus		2.534	9/nov/95	0,55	38,6	3,1	0,12	0,00	0,01	0,01	0,67
<b>Solimões</b>	<b>1.200</b>	<b>52.477</b>	<b>10/nov/95</b>	<b>0,77</b>	<b>127,1</b>	<b>2,8</b>	<b>0,36</b>	<b>0,16</b>	<b>0,35</b>	<b>0,51</b>	<b>1,13</b>
Negro	1.250	64.680	12/jul/96	0,05	8,9	7,9	0,07	0,04	0,03	0,07	0,12
<b>Beni</b>		<b>2.856</b>	<b>1/abr/94</b>	<b>0,83</b>	<b>937,0</b>	<b>19,9</b>	<b>18,65</b>	<b>0,46</b>	<b>0,02</b>	<b>0,48</b>	<b>19,48</b>
Madre Diós		5.092	2/abr/94	0,61	424,0	10,0	4,24	0,19	0,03	0,21	4,85
Mamoreé		8.391	3/abr/94	0,61	409,0	11,9	4,87	0,35	0,04	0,40	5,48
<b>Madeira</b>	<b>1.950</b>	<b>29.000</b>	<b>12/abr/98</b>	<b>0,59</b>	<b>302,0</b>	sr	sr	<b>0,00</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,59</b>
<b>Madeira</b>	<b>1.200</b>	<b>5.132</b>	<b>15/nov/95</b>	<b>0,69</b>	<b>21,3</b>	<b>2,7</b>	<b>0,06</b>	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,75</b>
<b>Amazonas</b>	<b>1.000</b>	<b>75.017</b>	<b>15/nov/95</b>	<b>0,73</b>	<b>46,1</b>	<b>81,9</b>	<b>3,78</b>	<b>2,45</b>	<b>0,47</b>	<b>2,92</b>	<b>4,51</b>
Trombetas		1.258	16/nov/95	0,12	14,8	17,1	0,25	0,00	0,00	0,00	0,37
Tapajós		6.027	18/nov/95	0,11	3,5	17,7	0,06	0,00	0,01	0,01	0,17
<b>Amazonas</b>	<b>650</b>	<b>81.090</b>	<b>17/nov/95</b>	<b>0,68</b>	<b>44,2</b>	<b>2,8</b>	<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	<b>0,48</b>	<b>0,56</b>	<b>0,80</b>