



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

**AFINIDADES GEOQUÍMICAS ENTRE SEDIMENTOS
(SOLOS) E VEGETAÇÃO (GRAMÍNEAS E CULTIVARES),
ALÉM DE CABELO DE RIBEIRINHOS, AO LONGO DAS
PRAIAS DE RIOS DA BACIA DO JURUÁ, NO ESTADO DO
ACRE E SUA IMPORTÂNCIA AMBIENTAL**

TESE APRESENTADA POR

JOSÉ DE ARIMATÉIA RODRIGUES DO RÊGO

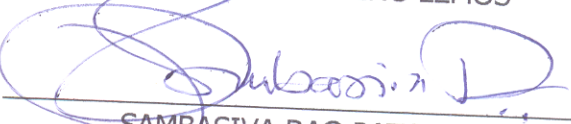
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **10 / 06 / 2005**

Comitê de Tese:


MÁRCONDES LIMA DA COSTA (Orientador)


VANDA PORPINO LEMOS


SAMBASIVA RAO PATCHINEELAM

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

Afinidades geoquímicas entre sedimentos (solos) e vegetação (gramíneas e cultivares), além de cabelo de ribeirinhos, ao longo das praias de rios da bacia do Juruá, no Estado do Acre e sua importância ambiental

Orientando: JOSÉ DE ARIMATEIA RODRIGUES DO REGO

Orientador: PROF. DR. MARCONDES LIMA DA COSTA

Belém-Pará

2005

A Antonio Nunes do Rego Filho (in memorian) meu pai, um dos principais coadjuvantes da arte do falar pouco, dono de uma sabedoria incomensurável, que resumia a vida e o exemplo a seus filhos em sua mais celebre frase "Sou da verdade e da realidade".

A minha mãe, Maria das Dores Rodrigues do Rego, mulher incansável, grande contadora de histórias, mantendo em seus contos verbais as tradições adquiridas ao longo de uma vida cheia de fatos; dona de um abraço que as forças, retira o cansaço e motiva a continuar a caminhada desta vida.

A Keila Rego, grande companheira, razão e emoção da minha vida, o presente que inspira ao futuro.

Amo Vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor e consumidor da minha fé, a quem eu busco a todos os momentos, que não falha. Que é AMOR.

Ao Centro de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, pela infraestrutura do curso e, principalmente pelo quadro funcional;

Ao Instituto Evandro Chagas;

A Marcondes Lima da Costa, mestre e amigo peça chave neste processo de Ensino-Aprendizagem;

Aos amigos e colegas Henrique, Alciney, Edgar, Berredo, Socorro, Mariane, Marcileia, Thais, Luisa, Aiane, Patrícia...;

Aos professores Oscar, Romulo, Candido;

A equipe do Instituto Evandro Chagas Edilson, Kleber, Marcelo, Bruno;

A meus irmãos, Daniel, Lucia, Dalva, Antonio, Bela, Paulo, Alda, Nilda, Ana; meus sobrinhos Renata, Rogério, Rafael, Raissa, Samuel, Daniele, aos pais da minha esposa João e Marlene, a meus cunhados Adaildo, Karina e Kezia estes sempre presentes em minha vida;

A Ivonilda Maria de Araujo Barbosa, grande incentivadora no início dos meus estudos;

Aos meus irmãos em Cristo da Igreja Cristã Evangélica da Cremação

Enfim, a todos aqueles que estiveram e continuam ao meu lado no decorrer desta caminhada.

Pois,

O SENHOR é o meu pastor; nada me faltará.

*Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente as
águas tranquilas,*

*Refrigera a minha alma. Guia-me pelas veredas da
justiça, por amor do seu nome.*

*Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte,
não temeria mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu
cajado me consolam.*

*Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus
inimigos. Unges a minha cabeça com óleo; o meu cálice
transborda.*

*Certamente que a bondade e o amor me seguirão todos
os dias da minha vida, e habitarei na casa do SENHOR para todo
sempre.*

(Salmos 23. 1-6)

SUMÁRIO

	Pg.
DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
EPÍGRAFE	v
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
RESUMO	1
ABSTRACT	4
1 INTRODUÇÃO	7
1.1 APRESENTAÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS	11
2.1 GERAL.....	11
2.2 ESPECÍFICOS.....	11
3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	12
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1 O ESTADO DO ACRE.....	14
4.1.1 Povoamento.....	14
4.1.2 Geologia.....	14
4.1.3. Relevo.....	15
4.1.4 Clima.....	15
4.1.5 Solo.....	16
4.1.6 Vegetação.....	17
4.1.6.1 Domínio da Floresta Ombrófila Densa.....	17
4.1.6.2 Domínio da Floresta Ombrófila Aberta.....	17
4.1.6.3 Campinarana.....	18
4.1.7 Drenagens.....	18
4.1.7.1 Bacia do Acre-Purus.....	20
4.1.7.2 Bacia do Juruá.....	21
4.2 Se, As Hg EM ECOSSISTEMAS NATURAIS.....	22
4.2.1 Selênio.....	22

4.2.2 Obtenção do Se	22
4.2.3 Propriedades físico-químicas do Se	22
4.2.4 Principais usos e aplicações do Se	23
4.2.5 Fontes de Se para o homem	23
4.2.6 Biotransformação e eliminação do Se	24
4.3 MERCÚRIO	25
4.3.1 Ciclo e ocorrência na natureza	25
4.3.2 Propriedades físico-químicas do Hg	25
4.3.3 Usos do Hg	26
4.3.4 O Hg e a saúde do homem	26
4.3.5 Processo de metilação bacteriana do mercúrio	28
4.3.6 O Hg na Amazônia	28
4.4 ARSÊNIO	31
4.4.1 Obtenção do As	31
4.4.2 Propriedades físico-químicas do As	32
4.4.3 Principais usos e aplicações do As	32
4.4.4 Exposição humana ao As	33
4.4.5 Biotransformação e eliminação do As	34
5 MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.1 PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM	36
5.1.1 Águas	38
5.1.2 Sedimentos	39
5.1.3 Vegetais	40
5.1.4 Cabelo humano	40
5.2 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS	41
5.2.1 Parâmetros físico-químicos medidos no campo	41
5.2.2 Análises laboratoriais	42
5.2.2.1 Preparação das amostras.....	42
5.2.2.2 Preparação da vidraria para análise de Se, Hg e As.....	42
5.2.2.3 Determinação de Se (sedimentos e vegetais).....	42

5.2.2.4 Determinação de Hg (sedimentos, vegetais e cabelo humano).....	43
5.2.2.5 Determinação de As (sedimentos e vegetais).....	44
5.2.2.6 Análises mineralógicas por difração de raios-X.....	44
5.2.2.7 Análise multielementar (sedimentos e vegetais).....	45
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
6.1 OS SEDIMENTOS DE PRAIA.....	48
6.1.1 Aspectos morfológicos.....	48
6.1.2 Aspectos granulométricos e mineralógicos.....	50
6.1.3 Composição química.....	55
6.1.3.1 Elementos maiores.....	55
6.1.3.2 Elementos-traço.....	57
6.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS FLUVIAIS.....	61
6.2.1 Aspectos gerais e suspensatos.....	61
6.2.2 pH.....	63
6.2.3 Oxigênio dissolvido (OD)	64
6.2.4 Temperatura.....	65
6.2.5 Condutividade elétrica (CE)	66
6.2.6 Resistividade.....	68
6.2.7 Total de sólidos dissolvidos (TDS).....	68
6.2.8 Salinidade.....	69
6.2.9 Discussão.....	70
6.3 VEGETAIS.....	71
6.3.1 Composição química das folhas.....	71
6.3.1.1 Macronutrientes.....	71
6.3.1.2 Transferência química de macronutrientes solo-planta.....	79
6.3.1.3 Micronutrientes.....	81
6.3.2 Outros elementos.....	85
6.3.3 Transferência química de micronutrientes solo-planta.....	88
6.4 As, Se E Hg NA CADEIA SEDIMENTO-CULTIVAR-CABELO HUMANO.	89

6.4.1 Hg em cabelos de humanos	91
6.4.1.1 Ciclo de Hg na cadeia sedimento-cultivar-humano.....	92
6.4.1.2 Possível fonte de valores anômalos de Hg em cabelos de humanos....	93
7 CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXOS	104
ANEXO A. CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM SEDIMENTOS E VEGETAIS (ÁGUA RÉGIA + ICP-MS).....	105

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS	Pg.
Figura 1: Meandro e lago sacado ao longo do rio Iaco, no estado do Acre.....	7
Figura 2: Feijão cultivado às margens do rio Juruá (mostrando a abundância em vagens).....	8
Figura 3: Mapa de localização do Estado do Acre e da área de estudo (SELAC3) modificado de Miranda & Coutinho (2004).....	12
Figura 4: Localização da área de estudo (SELAC 3).....	13
Figura 5: Distribuição das classes de solos no Estado do Acre (ZEE, 2000).....	16
Figura 6: Barco (rabetá) de transporte passageiros e carga no rio Juruá.....	19
Figura 7: Mapa hidrográfico do estado do Acre mostrando as bacias do Juruá a oeste e a do Purus a leste.....	20
Figura 8: Imagem Landsat modificada de Miranda & Coutinho (2004) com localização de pontos amostragem no rio Envira.....	36
Figura 9: Imagem Landsat modificada de Miranda & Coutinho (2004) com localização de pontos amostragem nos rios Tarauacá e Muru.....	37
Figura 10: Imagem Landsat modificada de Miranda & Coutinho (2004) com localização de pontos amostragem nos rios Juruá e Moa.....	37
Figura 11: Análises físico-químicas das águas do rio Juruá, logo abaixo de Rodrigues Alves.....	41
Figura 12: Curvatura de meandro com praia cultivada com feijão - Rio Envira logo acima da cidade de Feijó.	49
Figura 13: Zoneamento florestal (floresta de terra firme ao fundo pioneira com embaubeira, <i>Cecropia pachystachya</i>) e cultivo de feijão, entre a calha do rio e a terra-firme – Rio Tarauacá, logo abaixo da cidade de Tarauacá.....	50
Figura 14: Distribuição granulométrica dos sedimentos de praia nos principais rios da bacia do Juruá.	51
Figura 15: Minerais identificados por DRX em sedimentos de praia dos principais rios da bacia do Juruá.....	52

Figura 16: Caracterização de minerais de argila por DRX em sedimentos de praia do rio Envira.	53
Figura 17: Caracterização de minerais de argila por DRX em sedimentos de praia do rio Tarauacá.	53
Figura 18: Caracterização de minerais de argila (esmectita, illita, caulinita) por DRX em sedimentos de praia do rio Juruá.....	54
Figura 19: Concentração elementos maiores em sedimentos de praia dos principais rios da bacia do Juruá.	56
Figura 20: Concentração média de elementos químicos em sedimentos de praia dos principais rios da bacia do Juruá.....	59
Figura 21: Concentração de elementos químicos e distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Envira.....	60
Figura 22: Concentração de elementos químicos e distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Tarauacá.....	60
Figura 23: Concentração de elementos químicos e distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Juruá.....	60
Figura 24: Concentração de elementos químicos e distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Muru.....	61
Figura 25: Concentração de elementos químicos e distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Moa.....	61
Figura 26: Distribuição areal do conteúdo de sedimentos em suspensão (suspensatos) nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.....	62
Figura 27: Distribuição areal dos valores de pH nas águas dos rios da bacia do Juruá separados por sub-bacias, comparados com dados de pH das águas dos rios Solimões, Amazonas e Madeiras, extraídos de Guyot <i>et al</i> (1996).....	63
Figura 28: Distribuição areal de oxigênio dissolvido nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.....	65
Figura 29: Distribuição areal da temperatura nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.....	66

Figura 30: Transferência de calor (Q) e formação de neblina às proximidades da do leito do rio devido à diferença de temperatura da água e do ar, nas primeiras horas do dia.....	66
Figura 31: Distribuição areal da condutividade elétrica (CE) nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.....	67
Figura 32: Variação da concentração de cloreto e amônia nas águas dos rios Envira e Moa.....	67
Figura 33: Distribuição areal da resistividade nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.....	68
Figura 34: Distribuição areal do TDS nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.....	69
Figura 35: Distribuição areal da salinidade nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.....	70
Figura 36: Variação dos parâmetros físico-químicos nas águas dos principais rios do Acre e correlação pedológica.....	71
Figura 37: Distribuição de elementos químicos em vegetais nos principais rios da bacia do Juruá.....	73
Figura 38: Distribuição de elementos químicos em folhas de gramíneas: a)capim canarana b) capim de orvalho. Nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	74
Figura 39: Distribuição das concentrações de K, P, S, Ca e Mg em capim canarana e capim de orvalho nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	75
Figura 40: Normalização de macronutrientes em folhas de gramíneas, contra os dados de Malavolta (1992), nos rios Juruá, Tarauacá e Envira: a) capim canarana; b) capim de orvalho.....	76
Figura 41: Distribuição das concentrações de K, S e Ca em folhas de capim canarana nos principais rios da bacia do Juruá.....	77
Figura 42: Distribuição das concentrações de K, S e Ca em folhas de capim de orvalho nos principais rios da bacia do Juruá.....	78
Figura 43: Distribuição das concentrações de K e Ca em sedimentos dos principais rios da bacia do Juruá.....	78

Figura 44: Distribuição K e Ca, em sedimentos dos rios Juruá, Tarauacá e Envira: a) análise total; b) extração parcial.....	79
Figura 45: Coeficiente de Absorção Biológica em capim canarana, capim de orvalho e cultivares (milho e feijão) nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	80
Figura 46: Distribuição comparativa da concentração de micronutrientes em folhas de capim canarana e capim de orvalho coletados nos sedimentos de praia dos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	82
Figura 47: Distribuição da concentração de micronutrientes em gramíneas, coletados nos sedimentos de praia dos rios Juruá, Tarauacá e Envira: a) capim canarana; b) capim de orvalho.....	83
Figura 48: Normalização de micronutrientes em folhas de gramíneas, contra os dados considerados suficientes em gramíneas por Malavolta (1992), nos rios Juruá, Tarauacá e Envira: a) capim canarana; b) capim de orvalho.....	84
Figura 49: Distribuição de Rb, Sr, Ba e Cr em folhas de capim canarana e capim de orvalho nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	85
Figura 50: Concentração de elementos químicos em capim canarana e capim de orvalho nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	87
Figura 51: Coeficiente de Absorção Biológica para micronutrientes B, Mo, Mn, Cu e Zn em solo/planta nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	88
Figura 52: Concentração de As e Se em feijão (grão e folha) nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	90
Figura 53: Distribuição do CAB em grãos e folhas de feijão cultivados nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	91
Figura 54: Distribuição das concentrações de Hg em grãos e folhas de feijão e em cabelos humanos (média para cada cidade) nas principais cidades da bacia do Juruá, no estado do Acre.....	92

TABELAS	Pg.
Tabela 1: Localização areal das amostras na área estudada.....	38
Tabela 2: Cidades ribeirinhas onde foram coletadas as amostras de cabelo com respectiva população e número total de amostras de cabelo na bacia do rio Juruá.	40
Tabela 3: Distancias basais em A^0 e posição 2θ utilizadas para identificação de argilominerais. Adaptada de Carrol, D. (1970) e Moore & Reynolds (1997)..	45
Tabela 4: Relação de elementos químicos determinados (análise química total) nos laboratórios Acme-Analytical Laboratories Ltd. e Activation Laboratories Ltd. em sedimento e vegetal.....	46
Tabela 5: Relação das amostras analisadas no laboratório Acme Analytical Laboratories Ltd.....	46
Tabela 6: Relação de amostras analisadas no Activation Laboratories Ltd.....	47
Tabela 7: Composição química total dos sedimentos praianos dos rios da bacia do Juruá (% peso).....	56
Tabela 8: Concentração de elementos-traço (abertura total) em sedimentos de praia dos rios da bacia do Juruá, crosta superior (CS) e folhelhos pós-arqueanos australianos.....	58
Tabela 9: Parâmetros físico-químicos das águas dos rios da bacia do Juruá....	64
Tabela 10: Distribuição das concentrações de elementos químicos em folhas de gramíneas (capim canarana e capim de orvalho), milho e feijão amostrados ao longo dos principais rios da bacia do Juruá.....	72
Tabela 11: Distribuição do Coeficiente de Absorção Biológica (CAB) para macronutrientes em folhas de gramíneas (capim canarana e capim de orvalho), milho e feijão amostrados ao longo dos principais rios da bacia do Juruá.....	80
Tabela 12: Distribuição de elementos químicos em vegetais amostrados nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	81

Tabela 13: Distribuição do Coeficiente de Absorção Biológica – CAB para micronutrientes em folhas de gramíneas (capim canarana e capim de orvalho), Milho e Feijão amostrados ao longo dos principais rios da bacia do Juruá.....	88
Tabela 14: Distribuição da concentração (ppb) de As, Se e Hg em feijão (grão e folha) e sedimento nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.....	89
Tabela 15: Coeficiente de Absorção Biológica (CAB) para grãos e folhas de feijão coletados nos sedimentos de praia dos rios Juruá, Tarauacá e Envira....	90

RESUMO

O estado do Acre localiza-se no extremo sudoeste da Amazônia brasileira, ocupando uma área de 153.149 km², com baixa densidade populacional (3,66 hab/km²). O estado é cortado pelas bacias dos rios Purus e Juruá, que drenam sedimentos siltico-argilosos da Formação Solimões.

No período de cheia transportam grandes quantidades de sedimentos por tração e em suspensão, que são depositados em praias (barras em pontal) formadas ao longo dos rios. No período de estiagem as praias são expostas nos seus meandros, que além do lazer os ribeirinhos as usam para a agricultura de pequeno ciclo. As praias são cultivadas com milho (*Zea-Mays*) e feijão (*Vigna unguiculata (L) Walp*) ou não. Estas praias também apresentam uma sucessão de vegetação com capim canarana (*Costus spicatus*) e capim de orvalho (*Brachiaria decumbes*).

Este estudo avalia a alta fertilidade dos sedimentos (solos) das praias e a afinidade geoquímica entre seus sedimentos, os cultivares e finalmente o cabelo de ribeirinhos, com o objetivo de aviar o ciclo dos elementos até o homem, bem como a importância ambiental deste ciclo. Para isto selecionou-se os principais rios que constituem a bacia do Juruá, abrangendo as cidades de Feijó, Tarauacá, Cruzeiro do Sul e Rodrigues Alves.

Ao longo dos rios foram estabelecidas 9 estações para coleta de amostras de sedimentos de praia, folhas de capim canarana, folhas de capim de orvalho e grãos e folhas feijão, além da medição dos parâmetros físico-químicos em campo das águas dos rios. Nas cidades ribeirinhas foram coletadas amostras de cabelo humano.

A mineralogia dos sedimentos foi analisada por difração de raios-X (DRX) e caracterização química (elementos maiores e traço) por ICP-MS. Nos cultivares foram determinados Ca, Fe, K, Na, Ba, Zn, Mo, Co, Cr, Cu, Pb, Hg, As e Se por ICP-MS e ativação neutrônica com o objetivo de determinar as concentrações desses elementos bem como sua transferência sedimento (solo) – cultivar, nas amostras de águas foram feitas medidas de parâmetros físico-químicos e quantificação dos suspensatos.

As praias estudadas são constituídas essencialmente de sedimentos de granulometria fina a silte. Apenas as praias do rio Moa não cultivadas que são

arenoquartzozas. Os sedimentos dessas praias são formados em ordem decrescente por quartzo, feldspato e minerais de argila (esmectita, illita e caulinita) são assim ricos em SiO_2 (68,0 a 98,9 % em peso), com baixos teores de Al_2O_3 (0,41 a 11,9%), Fe_2O_3 (0,13 a 4,375), MgO (0,02 a 1,03 %), K_2O (0,16 a 1,94 %), CaO (0,02 a 1,05 %) e Na_2O (0,02 a 1,03 %). A composição química desses sedimentos pode ser comparada com aquela do PAAS (folhelhos australianos pós-arqueanos) e, por conseguinte com a Crosta Superior, embora ligeiramente empobrecidos em Al, Fe, Mg, K, Ti e mais ainda em Ca e Na, certamente diluídos pelos altos teores de SiO_2 .

De um modo geral as águas dos rios da bacia do Juruá são barrentas do tipo águas brancas devido à elevada concentração de material inorgânico em suspensão (suspensatos). O critério de suspensatos e parâmetros físico-químicos (pH, OD, TDS, temperatura, resistividade, condutividade elétrica e salinidade) delimitam três zonas geográficas (sub-bacias): rio Envira-Tarauacá, Juruá e Moa. A sub-bacia Envira-Tarauacá apresenta os mais elevados valores de todos os parâmetros físico-químicos analisados, exceto resistividade. A área da sub-bacia Envira-Tarauacá coincide com a área de terras mais férteis do Estado Acre.

Dos vegetais aqui estudados as folhas de capim canarana mostram-se mais enriquecidas em K, S, Ca, Mg, P do que as folhas de capim de orvalho. Capim canarana e capim de orvalho apresentam similaridade química com relação aos elementos K, P, S, Mg e Ca, apenas o capim canarana coletado nos sedimentos do rio Juruá tende a enriquecer-se mais em Ca e S.

A transferência de elementos químicos sedimento (solo)-vegetal apresenta a seguinte ordem de absorção pelo vegetal $\text{K} > \text{P} > \text{Ca} > \text{P}$, esta ordem apresenta os maiores valores para os vegetais coletados nos sedimentos do rio Envira, ressaltando a importância desse rio como o de maior potencial de transferência de macronutrientes e sendo possivelmente um indicador de sua fertilidade superior aos demais rios da bacia do Juruá.

O ciclo do Hg na cadeia sedimento-cultivar-humano mostra que nos sedimentos de praia dos rios Juruá, Envira e Tarauacá a concentração média deste elemento nos sedimentos (27 ppb) está abaixo da faixa de background (50 ppb) e nas plantas estão na faixa considerada normal (< 500 ppb) para plantas que crescem em solos com

baixas concentrações de Hg; em cabelos a concentração média de Hg nas cidades de Tarauacá, Cruzeiro do Sul, Rodrigues Alves e Feijó é de 3992 ppb.

A menor concentração (média: 1680 ppb) foi encontrada em Feijó e a maior (6240 ppb) em Cruzeiro do Sul. São valores normais a ligeiramente indicadores de impacto, não observado na região. Os valores ligeiramente anômalos de Hg em cabelos não devem estar relacionados ao cultivares e, por conseguinte também não aos sedimentos. Outras fontes de disponibilização de Hg para o homem devem ser avaliadas, sejam elas peixes ou carnes de animais domesticados ou selvagens.

As praias e barrancos dos rios de água branca da região central e ocidental do Acre (bacia do Juruá) são de fato férteis, adequados à agricultura de pequeno ciclo, e seus nutrientes e outros elementos são assimilados plenamente pelos vegetais e cultivares. A química dos sedimentos e dos cultivares, assim como de cabelos humanos, mostram que a região não apresenta anomalias geoquímicas sugestivas de impacto antropogênico, nem mesmo geológica.

ABSTRACT

The State of the Acre is located in the southwestern extremity of the Brazilian Amazonia, in an area of 153.149 km², with a low population density (3,66 inhabitants/km²). The studied area comprehends the basin of the Juruá river between the Feijó and Cruzeiro do Sul cities, including Tarauacá and Rodrigues Alves.

In the basin the main rivers are: Juruá, Tarauacá, Envira, Muru and Moa. The same carry in sediments great amounts by traction and suspension from siltic-argillaceous rocks of the Solimões Formation and deposit in beaches formed along the rivers. In drought periods the beaches (point bars) are displayed in its meanders and benefit the riparian that use them to leisure and to short cycle agriculture. The beaches sometimes are used to cultivs of maize (*Zea-Mays*) and beans (*Vigna unguiculata* (L) Walp). These beaches also present a vegetation succession of canarana grass (*Costus spicatus*) and orvalho grass (*Brachiaria decumbes*).

This study evaluates the high fertility of the beaches sediments (soils) and the geochemistry affinity between their sediments and the crops besides riparian hair and the environmental importance of this cycle. So the main rivers that constitute the Juruá basin, enclosing Feijó, Tarauacá, Cruzeiro do Sul and Rodrigues Alves cities were related.

Nine stations were established along the rivers and samples of beach sediments, canarana grass leaves, orvalho grass leaves and seeds and beans leaves had been leaves were collected. Besides this, measurement of phisical-chemical parameters of the rivers waters were caried out. Human hair samples were collected in the cities.

The sediments samples were analyzed by X-ray difraction (XRD) for mineral determination, are by chemical ICP-MS for characterization (major and trace elements). In attempt to verify the content of Major and Trace Elements, like Ca, Fe, K, Na, Ba, Zn, Mo, Co, Cr, Cu, Pb, Hg, As and Se and their sediment – (solil) – crops transference were camet the chemical compositions analyses were carried out with regal water plus MS-ICP and neutron activation.

The studied beaches sediments in the cultivated areas excet the beach of Moa river are essentially fine-grained, ranging from fine sand to silt. And are formed by in

decreasing order quartz, feldspars clay minerals (smectite, illite and kaolinite) and feldspars. Chemicals are constituted mainly by SiO_2 (68,0 to 98,9 % in weight), followed by significantly lower values, of Fe_2O_3 (0,13 to 4,37 %), MgO (0,02 to 1,03 %), K_2O (0,16 to 1,94 %), CaO (0,02 to 1,05 %) and Na_2O (0,02 to 1,03 %) and Al_2O_3 , are more concentrated in the sediments of Envira, Tarauacá and Juruá rivers. These values compared chemically with that one of the PAAS and, the Upper Crust, are slightly impoverished in Al, Fe, Mg, K, Ti as well as slightly in Ca and Na, diluted certainly for the high contents of SiO_2 .

In general, the rivers waters of the Juruá basin are dark-colored, as white waters type, due to inorganic material in suspension (suspensates) in high concentration. The criterion of suspensates and physico-chemical parameters (pH, DO, TDS, temperature, resistivity, electric conductivity and salinity) delimit three geographic zones (sub-basins): a) Envira-Tarauacá, b) Juruá and c) Moea rivers. The first one presents the highest values of all the analyzed physico-chemical parameters, except resistivity, and the area coincides with the more fertile land area State of the Acre.

Among the studied vegetables the canarana grass leaves revealed are richest in K, S, Ca, Mg, P than orvalho grass leaves. Canarana and orvalho grass present chemical similarity in relation to K, P, S, Mg and Ca elements. Only canarana grass, collected in the sediments of the Juruá river tends to become richer in Ca and S.

The chemical elements transference sediment (soil)-vegetable presents an absorption for vegetable of the $\text{K} > \text{P} > \text{Ca} > \text{P}$. This order presents the major values for vegetables collected in the sediments of Envira river, emphasizing the importance of Envira river with greater transference potential of macronutrients and being a probable pointer of its superior fertility in relation to the other rivers of Juruá basin.

In the sediment-crop-human chain the cycle of Hg shows that in the beach sediments of the Juruá, Envira and Tarauacá rivers the average concentration of Hg (27 ppb) in the sediments below the background range (50 ppb) and in the plants is in accordance to normal considered range (< 500 ppb) for plants that grow in soils with low contents of Hg; the average contents of Hg in hair in Tarauacá, Cruzeiro do Sul, Rodrigues Alves and Feijó rivers is about 3992 ppb.

The lower concentration (average 1680 ppb) was found in Feijó and the higher (6240 ppb) in Cruzeiro do Sul, being normal values and slightly impact indicators, not observed in the region. The slightly anomalous values of Hg in hair is not related to the crops, as well as to the sediments. For human other sources of Hg disponibilization must be evaluated as fish or domestic or wild animals meats.

The beaches and abrupt declivities (banks) of the white water rivers of the central and western regions of Acre (Juruá basin) are really fertile, adequated to short cycle agriculture and its nutrients and other elements are completely assimilated by vegetables and crops. For the present study the chemistry of the sediments and crops, as well as of human hair, shows that the region does not present geochemistry anomaly of any considerable antropogenic impact.

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Grande parte do território acreano é ocupada por florestas tropicais abertas e atravessado por duas grandes redes de drenagens: rios Juruá e Purus. Ambas têm suas nascentes junto aos contrafortes andinos (Arco Fitzcarrald) e são importantes formadores da bacia do rio Solimões-Amazonas. Embora nascendo na mesma região andina-peruana, os eixos principais destes dois grandes rios são paralelos entre si tanto no Acre como no estado do Amazonas. Caracterizam-se por serem fortemente meandранtes, com inúmeros lagos tipo sacado ao longo de sua bacia (Figura 1), pelas águas muito barrentas, com desnível da lâmina d'água podendo chegar a 12 metros entre o período chuvoso e o período de estiagem.



Figura 1: Meandro e lago sacado ao longo do rio Iaco, no estado do Acre.

No período de estiagem os rios desenvolvem inúmeras praias de cor barrenta, que se despontam na concavidade de seus meandros e mesmo nos seus estirões. Também surgem grandes barrancos que são parcialmente submersos durante o período chuvoso. Durante o período de estiagem, as praias (barra em pontal) mudam por completo o panorama e a forma de vida dos ribeirinhos do Acre, já que as mesmas passam a representar um microambiente onde se desenvolve uma parte da vida vegetal e animal, que é fonte de alimento, tornando-se parte do cotidiano destas populações: o porto, o banheiro, o campo de futebol, a praia de lazer. A utilização destas praias para atividades agrícolas temporárias (cultivos de curta duração como feijão, milho, mandioca, melancia) (Figura 2) é uma das aplicações que mais se destaca (Costa *et al*, 2002).



Figura 2: Feijão cultivado às margens do rio Juruá (mostrando a abundância em vagens).

A origem da fertilidade destes sedimentos de praia, que desempenham o papel de solo, pode estar no tipo de sedimento formador das praias, esculpidos dos

sedimentos da Formação Solimões e dos seus terraços antigos, que tiveram uma origem em terrenos sub-andinos.

Este cenário de cultivares em sedimentos de praia, tem despertado o interesse de pessoas desde quando a base da economia da região era o látex da seringueira (*Hevea Brasiliensis* M. Arg), por volta de 1988. nessa época, imigrantes nordestinos, fugindo da seca, ficaram surpresos por ver que em terrenos arenosos brotavam vegetais plantados pelo caboclo nativo.

Outro fato relevante é o relato da presença de espécies químicas contendo mercúrio nos diversos compartimentos ambientais na Amazônia, amplamente difundido em publicações recentes (Brabo *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2000; Akagi, 1998; Lebel *et al.*, 1997; Malm *et al.*, 1995). Em geral a presença desse elemento é atribuída a processos antropogênicos, principalmente pela exploração de ouro na região e desmatamento, além de processos naturais como erosão, lixiviação e contribuição atmosférica (Jesus *et al.*, 2003). O Estado do Acre difere deste contexto, por não apresentar a exploração de ouro como fonte de disponibilização do elemento ao ambiente, mesmo assim, estudos têm demonstrado teores acima dos limites de normalidades em solos, sedimentos, água, biota aquática e habitantes da cidade de Rio Branco (Mascarenha *et al.*, 2004).

Amostragem feita pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), através do Instituto Evandro Chagas, no ano de 1998, em pessoas que moram na cidade de Rio Branco, detectou valores médios de $20000 \mu\text{g.g}^{-1}$ de mercúrio através de análise de cabelo, valor este muito superior a limites aceitáveis pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (Silva *et al.*, 1999).

Estudos sobre mercúrio em peixes da região também mostraram valor médio de $1287 \mu\text{g.g}^{-1}$ (variação $70 \mu\text{g.g}^{-1} - 1300 \mu\text{g.g}^{-1}$) (Silva *et al.*, 1999), valor este acima do limite estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que é de $500 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Os teores de mercúrio em peixes dos Rios Acre e Purus (bacia do Purus) estão bem acima de $500 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$ (Santos *Et al.*, 2002) valor máximo recomendado pela OMS (Organização Mundial de Saúde) para consumo humano (WHO, 1990). Interessante observar que nos fragmentos de ossos fósseis encontrados nos sedimentos miocênicos e pleistocênicos que são redistribuídos nos terraços

holocênicos, e estes por sua vez servem de fonte para as praias atuais. Os teores de Hg encontrados nestes fósseis variam de $0,81\mu\text{gHg.kg}^{-1}$ a $1.178\mu\text{gHg.kg}^{-1}$ (Brabo *et al* , 2003).

Observa-se, portanto, que o mercúrio está presente em diversos materiais no Estado do Acre: águas, sedimentos, biota aquática, cabelos humanos, além de ossos fósseis. Sabe-se que a presença do elemento Hg no cabelo do homem tem como principal fonte à dieta a base de peixes (Silva *et al.*, 1999). Porém, a dieta alimentar a base de vegetais, característica da população acreana, pode estar contribuindo neste processo de bioacumulação do mercúrio.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

O objetivo geral da pesquisa visa quantificar a presença de Se, Hg, As, Pb, Zn, Cd, U e outros elementos no ciclo biogeoquímico: sedimentos, cultivares e humanos com a finalidade de identificar uma possível anomalia nos teores desses elementos, nesta cadeia, de acordo com dados estabelecidos por padrões internacionais de saúde.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterização química dos cultivares e dos sedimentos das praias dos rios Envira, Tarauacá e Juruá;
- Estudo geoquímico do Se, Hg, As e outros elementos nos sedimentos das praias dos rios Envira, Tarauacá, Muru, Moa e Juruá – Estado do Acre;
- Analisar biogeoquimicamente, uma possível incidência de Se, Hg, As e outros elementos nos cultivares de amplo consumo pela população local: feijão (*Vigna unguiculata* (L) Walp), milho (*Zea mayz*) e nas variedades de capim: canarana (*Costus spicatus*) e capim de orvalho (*Brachiaria decumbens*), usado para alimentação bovina;
- Avaliar a presença e transferência do elemento mercúrio em humanos, através da análise do cabelo.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O estado do Acre está situado na extremidade sudoeste da região Amazônica. Apresenta uma área de 152.581,388 km² e faz fronteira nacional com os estados do Amazonas e Rondônia e internacional com os países Bolívia e Peru (Figura 3). Sua população é de 557.526 habitantes, apresenta densidade populacional de 3,64 hab/km² (IBEG, 2000).

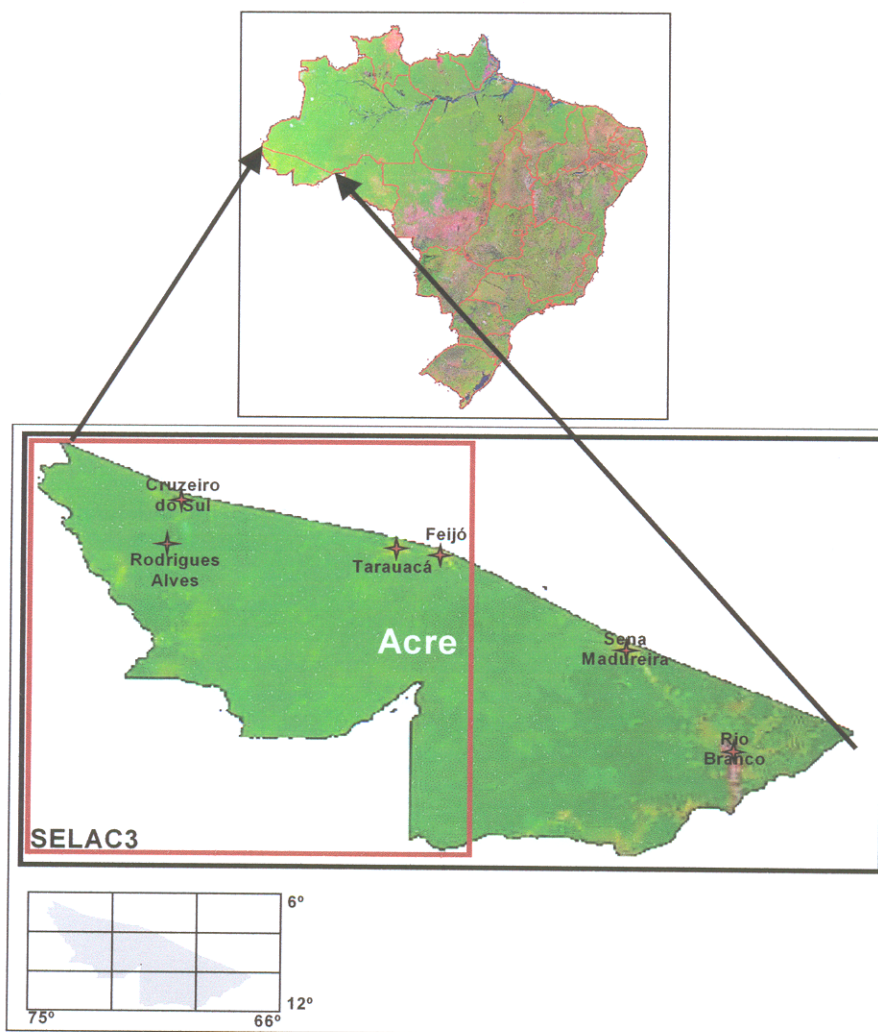


Figura 3: Mapa de localização do Estado do Acre e da área de estudo (SELAC3) modificado de Miranda & Coutinho (2004).

Este estudo faz parte do Projeto SelenMerAs que abrange o Estado do Acre como um todo, dividindo a região em três subáreas: SELAC1, SELAC2 e SELAC3.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 O ESTADO DO ACRE

4.1.1 Povoamento

A população do Estado do Acre é formada basicamente por nordestinos, que chegaram a região para trabalhar na extração da borracha e para isso subiram os cursos dos rios Purus e Juruá, ultrapassando em muito as fronteiras do Brasil estabelecidas em 1750 pelo tratado de Madri (que cedia aos portugueses, terras a oeste do meridiano de Tordesilhas, antes pertencentes aos espanhóis). Quando o Governo boliviano tentou impor tarifas às mercadorias entradas e saídas da região, seus habitantes rebelaram-se e, liderados por Plácido de Castro, foram vitoriosos em diversos choques armados. Em 1903, o Tratado de Petrópolis solucionou os conflitos: 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. Com o declínio da borracha, nos anos 20, o Acre sofreu um esvaziamento demográfico: em 1920 possuía 92 379 habitantes, que se reduziram a apenas 80.000 em 1940. Em 1980, os acreanos somavam 301 303 habitantes, e a taxa de crescimento era a menor de toda a região Norte. Mais de 1/3 da população do Estado se concentrava na capital, Rio Branco, que tinha 117.103 habitantes em 1980 e funciona como centro comercial de uma vasta área que se estende além dos limites estaduais. No ano de 2000 a população acreana atingiu 557.526 habitantes, apresentando densidade populacional de 3,64 hab/km², com 2/3 concentrado nas áreas urbanas, principalmente na Região do Baixo Acre, em função da capital Rio Branco (IBGE, 2000).

4.1.2 Geologia

O Estado do Acre tem sua superfície constituída pela Formação Solimões de idade Terciária Superior, que ocupa mais de 80% de seu território. Ela é composta por

sedimentos argilosos, com concreções e lentes calcíferas e gipsíferas, contendo fósseis de vertebrados e invertebrados (Radambrasil, 1976). Subordinadamente ocorrem siltitos, arenitos finos e calcários argilosos. Essas rochas de idade miocênica tardia-pleiocênica foram depositadas em um ambiente de grandes lagos e pântanos (Latrubesse & Ramonell, 1994; Bergqvist *et al*, 1998). Secundariamente, observam-se terraços aluvionários antigos que acompanham as principais drenagens.

4.1.3 Relevo

O Estado do Acre possui relevo variando de plano a levemente ondulado, sendo representado por uma plataforma regular, formado sobre rochas sedimentares, que desce suavemente em cotas da ordem de 300m nas fronteiras com o Peru e Bolívia, para pouco mais de 100m nos limites com o Estado do Amazonas. No extremo ocidental situa-se o ponto culminante do Estado, onde a estrutura do relevo se modifica com a presença da Serra do Divisor, uma ramificação da Serra Peruana de Contamana, que apresenta uma altitude máxima de 600m.

4.1.4 Clima

O Estado do Acre encontra-se sob clima tropical quente e úmido, com duas estações: a seca e a chuvosa. Os meses menos chuvosos são junho, julho e agosto. A principal característica da pluviosidade no Estado é a diminuição progressiva da intensidade do período seco no sentido Sudeste-Noroeste, com três meses secos no setor Sudeste e menos de um no Noroeste. Os totais pluviométricos anuais variam entre 1.600 mm e 2.750 mm (Zakia, 2000).

A temperatura média anual está em torno de 24,5°C, com a temperatura máxima em torno de 32°C, aproximadamente uniforme para todo o Estado. Entretanto, a temperatura mínima varia localmente em função da maior ou menor exposição aos sistemas extratropicais (por exemplo, 10°C em Cruzeiro do Sul, 17,4°C em Brasília, 20,2°C em Rio Branco e 19,9°C em Tarauacá). Na estação seca, são comuns as **friagens**, fenômeno efêmero, porém muito comum na região. A "friagem" resulta do

avanço da Frente Polar, que impulsionada pela Massa de Ar Polar, provoca brusca queda de temperatura, permanecendo por alguns dias com a média em torno de 10°C. A umidade relativa apresenta-se em níveis elevados durante todo o ano, com médias mensais em torno de 80% a 90% (Zakia, 2000). Os totais pluviométricos anuais variam entre 1.600mm e 2.750mm (ZEE, 2000).

4.1.5 Solo

As classes de solos predominantes no Estado do Acre são os Argissolos, que ocorrem em 64,0% do território, os Cambissolos, que predominam em 24,1% do Estado, e os Gleissolos, que ocupam 7,4% (Figura 5). As demais classes, juntas, representam menos de 5% dos solos do Estado do Acre (ZEE, 2000).

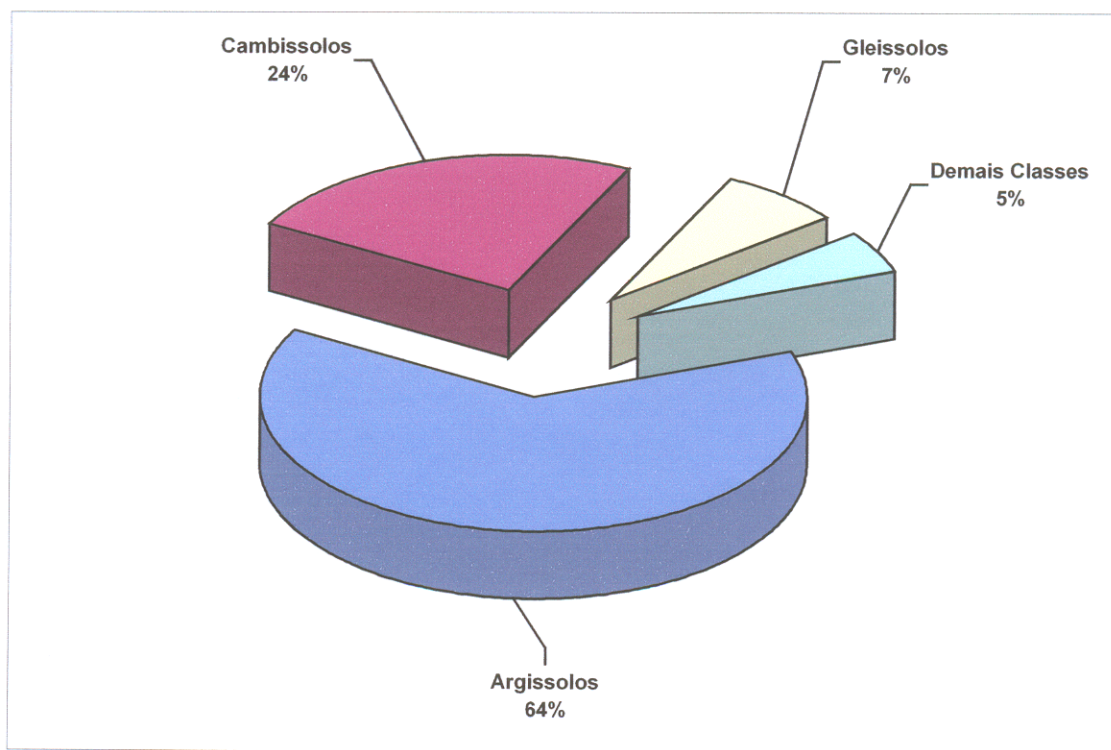


Figura 5: Distribuição das classes de solos no Estado do Acre (ZEE, 2000).

Nas margens do Rio Juruá, principal componente da rede de drenagem da área SELAC3, ocorrem os solos Hidromórficos Gleizados e Solos Aluviais.

As praias (barra em pontal) dos rios da bacia do Juruá apresentam-se como verdadeiros solos, pois são aproveitadas para o cultivo de subsistência pelos moradores da região. Seus sedimentos apresentam características de fertilidade (granulometria, composição química e mineralogia) e são classificados como cambissolos eutróficos (Almeida *et al*, 2003).

4.1.6 Vegetação

Conforme a classificação realizada pelo Projeto RADAMBRASIL em 1977, o Estado do Acre apresenta duas grandes Regiões Fitoecológicas Domínio da Floresta Ombrófila Densa, Domínio da Floresta Ombrófila Aberta e a presença de uma terceira unidade menor que as outras, a campinarana.

4.1.6.1 Domínio da Floresta Ombrófila Densa

Este tipo de vegetação é caracterizado por fanerófitos, justamente pelas subformas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que o diferenciam das outras classes de formações. Porém, a característica ecológica principal reside nos ambientes ombrófilos que marcam muito bem a "região florística florestal". Assim, a característica ombrotérmica da Floresta Ombrófila Densa está presa a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25°) e de alta precipitação, bem distribuídas durante o ano (de 0 a 60 dias secos), o que determina uma situação bioecológica praticamente sem período biologicamente seco. Além disso, dominam, nos ambientes destas florestas, latossolos distróficos e, excepcionalmente, eutróficos, originados de vários tipos de rochas.

4.1.6.2 Domínio da Floresta Ombrófila Aberta

Este tipo de vegetação, considerado durante anos como um tipo de transição entre a floresta amazônica e as áreas extra-amazônicas, foi denominada pelo Projeto RADAMBRASIL de Floresta Ombrófila Aberta. Esta floresta apresenta quatro faciações

florísticas que alteram a fisionomia ecológica da Floresta Ombrófila Densa, com palmeiras, cipós, com sororoca e com bambu, além dos gradientes climáticos com mais de 60 dias secos por ano, assinalados na curva ombrotérmica (Radambrasil, 1997).

4.1.6.3 Campinarana

Os termos Campinarana e Campina são sinônimos e significam “falso campo”. Inegavelmente, é a região na qual mais chove no Brasil: cerca de 4000 mm anuais bem distribuídos mensalmente, mas com chuvas torrenciais no verão. Estas desempenham importante papel na ocorrência desta vegetação oligotrófica, daí o enfatizar-se a expressão vegetação de influência pluvial. As temperaturas são altas, atingindo a média de 25°C. Esta vegetação típica das bacias do Rio Negro, Orinoco e Branco ultrapassa as fronteiras brasileiras, atingindo a Venezuela e Colômbia, porém em áreas bem menores do que a ocupada no Brasil, onde ocupa áreas tabulares arenosas, bastante lixiviadas pelas chuvas durante os últimos 10.000 anos. Além das áreas tabulares, encontram-se em grandes depressões fechadas, suficientemente encharcadas no período chuvoso e com influência dos grandes rios que cortam a região, em todas as direções.

Com relação às regiões fitoecológicas acreanas, identificadas, as duas primeiras estão localizadas na região dos Baixos Platôs da Amazônia, no Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental e na Região Aluvial da Amazônia; já a Campinarana ocorre na porção noroeste do estado, mais precisamente ao norte de Cruzeiro do Sul.

4.1.7 Drenagens

No estado do Acre, os rios constituem-se um importante meio de transporte (Figura 6), às margens dos rios também se originam vários povoados; a maioria das cidades acreanas localizam-se às margens dos rios.



Figura 6: Barco (rabeta) de transporte de passageiros e carga no rio Juruá.

Os principais rios que drenam o Estado do Acre seguem a direção Sudoeste-Nordeste e pertencem todos à rede hidrográfica do Rio Amazonas. As formas paralelas e as mudanças na direção dos cursos são características comuns dos rios do Acre. Outra peculiaridade é a distribuição da rede, a qual corre sobre rochas sedimentares e não forma cachoeiras.

Os principais cursos d'água na parte central são os Rios Tarauacá e Purus. A noroeste – Gregório, Tarauacá, Muru, Envira e Jurupari. A oeste – Rio Juruá e seus afluentes Moa, Juruá-Mirim, Paraná dos Moura e Ouro Preto (margem esquerda) e Valparaíso, Humaitá e Tejo (margem direita).

Compõem a rede hidrográfica estadual a Bacia do Acre-Purus e a Bacia do Juruá (Figura 7).

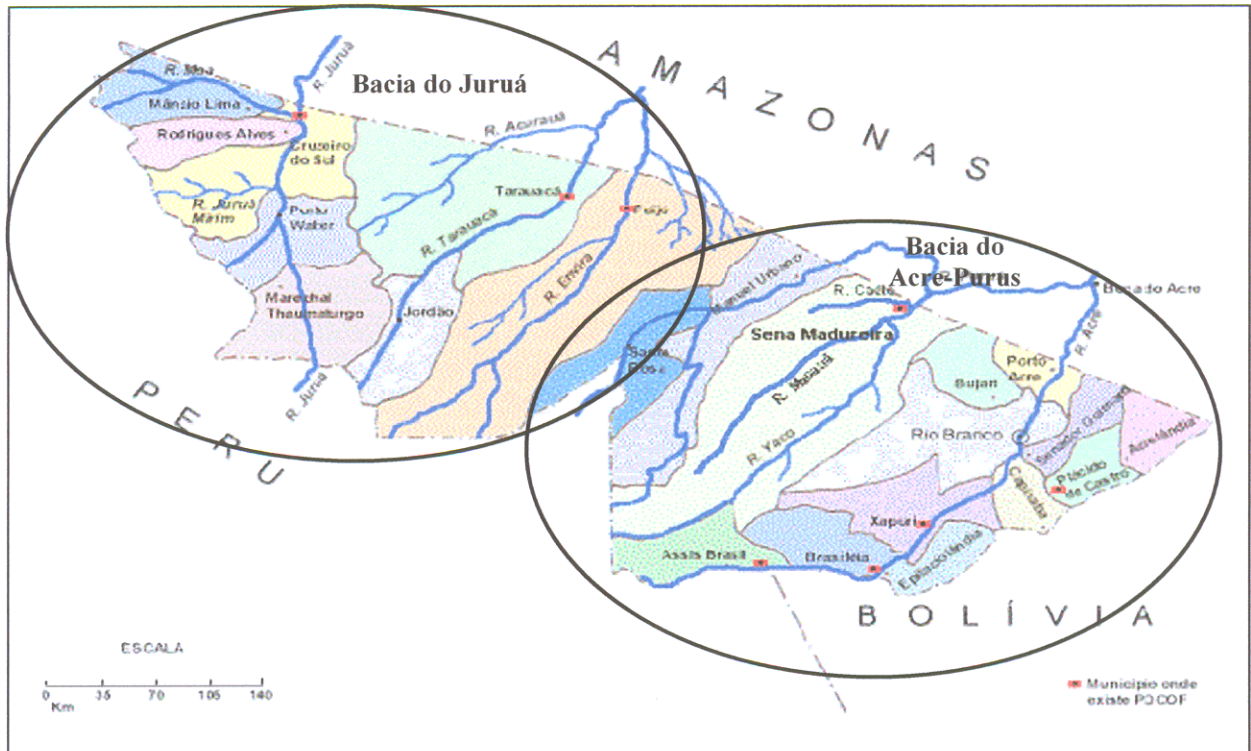


Figura 7: Mapa hidrográfico do estado do Acre mostrando as bacias do Juruá à oeste e a do Acre-Purus a leste.

4.1.7.1 Bacia do Acre-Purus

O rio Purus nasce no Peru e é considerado o segundo maior representante da drenagem no estado do Acre, seu curso é sinuoso e meândrico. Da montante (fronteira com o Peru) para a jusante (próximo a Sena Madureira), o curso do rio se afasta ou se aproxima da borda da planície deixando um lado do meandro abandonado. Estes meandros ocupam uma extensão muito grande e são encontrados em várias idades – quanto mais afastados do leito atual, mais antigos – e fases de preenchimento (colmatação).

A dinâmica fluvial dos rios da região implica em vários fatores como: a fácil mudança no traçado dos meandros, a queda de árvores e vegetação beira-rio sobre o leito fluvial, e ainda o deslizamento das margens.

No Brasil, o rio Purus segue a direção Sudoeste-Nordeste, porém, em determinado ponto, passa para Leste-Norte-Leste, direção geral que segue até receber o rio Acre; após, volta à direção original (Sudoeste-Nordeste) penetrando no Estado do

Amazonas. Dependendo das direções que segue, o rio Purus se torna mais retilíneo (Nordeste-Sudoeste e Noroeste-Sudeste).

Quanto aos afluentes, na margem direita estão presentes os maiores como o Acre, o Iaco, o Caeté e o Chandless, estes bastante sinuosos, porém não como o Purus. Já os rios Tarauacá e seus afluentes Envira e Muru padronizam-se com o Purus apresentando-se de sinuosos a meândricos.

4.1.7.2 Bacia do Juruá

O rio Juruá nasce a 453m de altitude no Peru onde recebe o nome de Paxiúba, une-se ao Salambô e a partir daí forma definitivamente o Juruá. Com 3.280 quilômetros de extensão atravessa o Acre (porção noroeste) de Sul a Norte em direção ao Amazonas, onde deságua no rio Solimões. Caracterizado como rio de planície, sinuoso em praticamente todo seu percurso.

O rio Juruá recebe as águas que são drenadas das cidades de Marechal Thaumaturgo, Porto Walter, Cruzeiro do Sul, Rodrigues Alves e Mâncio Lima. Entre os municípios de Cruzeiro do Sul e Marechal Thaumaturgo é navegável, durante 6 a 8 meses (cheias) por grandes embarcações e na vazante por embarcações de pequeno e médio porte. O rio Juruá também se constitui no principal canal de comunicação dos municípios acima citados com os municípios do Amazonas.

Seus principais afluentes pela margem direita são os rios Breu, Caipora, São João, Acuriá, Tejo, Grajaú, Natal, Humatiá e Valparaíso e, pela margem esquerda os rios Amônea, Aparição, São Luiz, Paratari, Rios das Minas, Ouro Preto, Juruá-Mirim, Paraná dos Mouras e Moa.

4.2 Se, As e Hg EM ECOSISTEMAS NATURAIS

4.2.1 Selênio

O selênio, cujo nome significa Lua, foi descoberto por Jons Jacob Berzelius em 1817, na lama da câmara de chumbo de uma fábrica de ácido sulfúrico de Gripsholm, na Suécia (Rheinboldt, 1988).

4.2.2 Obtenção do Se

O selênio é um elemento raro, não havendo registro de grandes depósitos na crosta terrestre. Os principais produtores mundiais de Se, em ordem decrescente, são: Canadá, Japão, Rússia, Estados Unidos, México, Suécia, e Bélgica, sendo que Canadá e Japão, contribuem juntos com aproximadamente 450 toneladas de selênio por ano. Pode ser obtido comercialmente também como um subproduto eletrolítico do refino de outros metais. O selênio está associado ao enxofre e ocorre em piritas e marcassitas de formação sedimentares, sendo mais concentrado nas regiões secas das grandes planícies dos EUA. A ocorrência do Se em águas é extremamente baixa, na ordem de ng/L (Azevedo & Chassin, 2003).

4.2.3 Propriedades físico-químicas do Se

O elemento químico selênio ($Z=34$) é um calcogênio e membro do grupo 16 (família 6A) da tabela periódica moderna juntamente com o oxigênio (O), enxofre (S), telúrio (Te) e polônio (Po). Na forma metálica (cinza), sua densidade específica é $4,79 \text{ g/cm}^3$ enquanto na forma vítrea (preto), registra-se um valor de $4,28 \text{ g/cm}^3$. Apresenta massa atômica de 78,96 u, ponto de fusão de $217 \text{ }^\circ\text{C}$ (forma cinza), e ponto de ebulição de $684,9 \pm 1^\circ\text{C}$. Devido sua semelhança química com o S, ambos formam compostos com propriedades similares em muitos processos biológicos. Possui seis isótopos estáveis na natureza como relacionado a seguir com suas respectivas composições

isotópicas: ^{74}Se (0,87%); ^{76}Se (9,02%); ^{77}Se (7,58%); ^{78}Se (23,52%); ^{80}Se (49,82%) e ^{82}Se (9,19%).

Os mais importantes estados de oxidação do Se são: -2; +2; +4 e +6. O selênio pode ser facilmente oxidado a partir do Se elementar, para formar Se (IV), na forma de selenito (SeO_3^{2-}), e Se (VI), na forma de selenato (SeO_4^{2-}). Os selenetos são estáveis em condições alcalinas ou levemente ácidas e podem ser encontrados na natureza. Algumas das combinações de Se comercialmente conhecidas são H_2Se , selenitos metálicos Se (-2), SeO_2 , H_2SeO_3 , SeF_4 , Se_2Cl_2 , e H_2SeO_4 (ácido selênico). O selênio também forma um número grande de compostos orgânicos que são análogos aos existentes de S (Azevedo & Chassin, 2003).

4.2.4 Principais usos e aplicações do Se

O emprego de selênio em indústrias de eletroeletrônicos baseia-se em suas propriedades fotoelétricas e fotocondutoras, podendo ser usado em copiadoras, impressoras a laser e receptores de raios-X. Os compostos de selênio podem se associar com sulfeto de Cd formando pigmentos utilizados na indústria de plásticos e cerâmicas, que aumentam a resistência da borracha ao calor, oxidação, e abrasão química, e servem como lubrificantes. O sulfeto de selênio é usado também como agente terapêutico e xampus para o tratamento do couro cabeludo. O selênio também pode ser usado em manufaturas de vidrarias e ligas de aço e Cu, na indústria farmacêutica e usado como agente oxidante e catalisador (Kirk-Othmer, 1992).

4.2.5 Fontes de Se para o homem

A contaminação do homem por Se é bastante restrita, apenas algumas áreas na China apresentam endemias relacionadas ao elemento, nos EUA poucos casos tem sido relatados. Os sintomas desta contaminação incluem distúrbios gastrointestinais, hálito de alho, perda de cabelos e unhas e lesões de pele. No caso de ambientes com níveis elevados de Se, o risco está associado à produção de alimentos e, em menor grau, à ingestão de água (Azevedo & Chassin, 2003).

4.2.6 Biotransformação e eliminação do Se

O Se, como um elemento essencial, é incorporado no organismo como selenoproteínas: proteínas selênio-específicas; proteínas que incorporam selenocisteína, proteínas que incorporam seleniometionina; proteínas que se ligam ao selênio sem especificidade, como a enzimas glutathiona-peroxidase e iodotironina 5-deiodinase (ATSDR, 1996).

A necessidade de selênio no organismo parece estar relacionada à atividade geral antioxidante e à presença de zinco, cobre, manganês, ferro e vitamina E. o aumento desses elementos e compostos no organismo aumenta a necessidade de selênio (Goyer, 1996).

A principal via de excreção do selênio é a urinária, seguida da pulmonar (ar exalado) e fezes (Azevedo & Chassin, 2003).

Sobre as condições normais de ingestão (50 a 200 μg de Se por dia), cerca de 50 μg pode ser encontrado nas fezes e uma quantidade similar é excretada também pela urina. O suor e células descamadas da pele contribuem com cerca de 80 $\mu\text{g}/\text{dia}$ das perdas de Se. Estas perdas podem variar dependendo das condições da dieta. Quando a ingestão alimentos que contem selênio é baixa, as perdas são baixas, e quando a ingestão é alta há correspondente aumento das perdas pela urina e fezes. As dietas que incluem produtos granulados inteiros, frutos do mar, vegetais e carnes que disponibilizam boa quantidade de selênio ao organismo. Somando-se a esses alimentos ricos em selênio, quantidades menores de selênio podem ser encontradas em uma grande variedade de alimentos (Azevedo & Chassin, 2003).

4.3 MERCÚRIO

4.3.1 Ciclo e ocorrência na natureza

O Hg apresenta características distintas de outros elementos, é líquido à temperatura ambiente e a 0 °C, tem caráter nobre por formar compostos “aparentemente univalentes”. O Hg é considerado 66º elemento em abundância relativa na crosta terrestre, com concentração na ordem de 0,08 ppm.

O Hg raramente é encontrado como elemento livre na natureza. Encontra-se amplamente distribuído, porém em baixas concentrações, por toda crosta terrestre. As fontes mais importantes são cinábrio (HgS), encontrado em rochas próximas de atividades vulcânicas recentes. Os maiores produtores são Espanha e Itália (WEBELEMENTS™, 2005).

As fontes mais significativas de mercúrio são a degaseificação da crosta terrestre, as emissões de vulcões e evaporação de corpos aquáticos (WHO, 1990).

A extração comercial do Hg é realizada da seguinte forma: o cinábrio (HgS) é aquecido no ambiente e os vapores de Hg se condensam:



O Hg bruto é lavado com ácido nítrico e tratado com ar, para remoção de impurezas, na forma de óxidos, presentes na solução. Sendo posteriormente purificado através da destilação a pressão reduzida (WEBELEMENTS™, 2005).

4.3.2 Propriedades físico-químicas do Hg

Segundo a WHO (1990) os compostos de mercúrio estão divididos em:

- voláteis: mercúrio elementar (Hg⁰); metilmercúrio (CH₃)₂Hg;
- espécies reativas particuladas solúveis em água: Hg²⁺, HgX₂, HgX₃⁻, HgX₄²⁻ (onde X = OH⁻, Cl⁻ ou Br⁻), HgO em partículas aerossóis, complexos de Hg²⁺ com ácidos orgânicos;

- espécies não reativas: CH_3Hg^+ , CH_3HgCl , CH_3HgOH e outros compostos organomercuriais, $\text{Hg}(\text{CN})_2$, HgS e Hg^{2+} , ligados ao enxofre em fragmentos de matéria húmica.

4.3.3 Usos do Hg

O Hg tem sido usado pelo homem desde a antiguidade. O principal mineral de mercúrio, o cinábrio, foi encontrado em tumbas na Grécia e no Egito, datados de 1.550 a.C., admitindo-se que tanto o cinábrio como o mercúrio começaram a ser extraídos de minas há mais de 2.300 anos (Graeme & Pollock, 1998). Segundo esses autores, o Hg teve seu uso amplamente difundido como pigmento em decoração e, o primeiro uso não decorativo foi na amalgamação de ouro, baseado nas observações de Vitruvius, (500 a.C.), arquiteto romano, que descreveu um método de recuperação do ouro usado na vestimenta de nobres, a partir da dissolução provocada pelo mercúrio do ouro impregnado nas roupas.

Desde a Idade Média, o mercúrio despertava encanto devido à cor, brilho e fluidez atraindo investigadores e alquimistas na busca de mais conhecimento de suas propriedades. Somente no século XVIII que as propriedades físico-químicas do elemento mercúrio foram descritas (Queiroz, 1995).

4.3.4 O Hg e a saúde humana

Sem conhecimento dos efeitos tóxicos do Hg, muitos se utilizaram do metal, no intuito de curar diversos males (Azevedo & Chassin, 2003).

Assírios utilizaram o Hg para tratar males dos olhos, ouvidos, pulmões e intestinos. Romanos utilizavam pomadas à base de Hg para problemas dermatológicos, além de cosméticos (D'Ítri, 1972; Queiroz, 1995; Yamada *et al.*, 1986).

Médicos islâmicos no século X relataram o uso terapêutico de pomadas mercuriais e também efeitos tóxicos causados pelas mesmas (Azevedo & Chassin, 2003)

Knight (1997) descreveu os sinais e sintomas de intoxicação por mercúrio, provocado pelo Calomelano (cloreto mercurioso – Hg_2Cl_2), usado como diurético.

O mercurocromo, anti-séptico de composto organo-mercurial, continua sendo usado em alguns países.

Autópsias em cadáveres de três pessoas que trabalhavam na indústria de fungicidas a base de mercúrio, apontam a causa das mortes por lesão neuronal e atrofia cerebral com perda cortical, ficando esse tipo de intoxicação por mercúrio orgânico conhecida como síndrome de Hunter-Russel (Swensson & Ulfarsson, 1963).

Grandes acidentes por contaminação com mercúrio ocorreram nas décadas de 50 e 60 em Minamata-Japão e no Iraque (Bakir *et al*, 1973), onde milhares de pessoas morreram por uma doença que posteriormente ficou conhecida com mal-de-minamata, despertando o interesse de diversos cientistas em compreender como o mercúrio atinge o homem de maneira tão severa.

Em Almadén, na Espanha, estudos mostraram que a exploração de minério de mercúrio vinha acontecendo nos últimos 2000 anos, sem que tivesse ocorrido nenhum caso de doença ou morte provocada pelo metal (Hildebrando *et al*, 1980).

Havia assim a necessidade de entender como em algumas áreas o mercúrio era devastador para a saúde e em outras não.

Pesquisas demonstraram que as formas inorgânicas do elemento não apresentavam riscos à saúde e sim as formas orgânicas como o metil-mercúrio, que são produtos de transformações causadas por bactérias no ambiente (Jensen & Jenelev, 1969).

Estudos dos compostos de mercúrio estabeleceram que a contaminação a partir de derivados na forma inorgânica do metal constitui um aspecto secundário em relação à saúde; indivíduos da região de Almadén-Espanha podem apresentar 1.000 mg.kg^{-1} (Rodriguez *et al*, 2000), valor este 2000 vezes superior ao considerado tóxico para o homem.

Em algumas áreas sem impacto antrópico como as ilhas Seyehelles, Oceano Índico, onde a área tem sido monitorada nos últimos 10 anos, a população apresenta elevadas concentrações de mercúrio no sangue, cabelo e urina (Marsh *et al*, 1995; Murata *et al*, 1999; Grandjean *et al*, 2000). As altas concentrações do elemento têm

causa no consumo peixes que se encontram no topo da cadeia trófica marinha, mas não foram detectados sintomas de contaminação por mercúrio orgânico naquela população (Crump *et al*, 2000).

4.3.5 Processo de metilação bacteriana do mercúrio

A desgaseificação da crosta terrestre distribui naturalmente o Hg pelo ambiente, através de erupções vulcânicas ou até pela evaporação dos oceanos (Azevedo & Chassin, 2003). A concentração em locais onde existem minérios de Hg pode chegar a 80 µg/L (WHO, 1990).

Em qualquer ambiente aquático, somente uma pequena porção do mercúrio total existe como CH_3Hg^+ , geralmente, menos que 1%. A metilação ocorre, principalmente, nos dois centímetros superiores do sedimento, porque a maioria da produção microbiana responsável pela síntese do CH_3Hg^+ está localizada nessa camada (D'Ítri, 1972).

O princípio ecológico do processo é relativamente simples: a presença de Hg livre no ambiente é prejudicial às bactérias, que tentam eliminá-lo transformando-o em metil-mercúrio, que por ser lipossolúvel é mais facilmente eliminado. O metil-mercúrio é tóxico para o homem em concentrações na ordem de $500 \mu\text{g}/\text{g}^{-1}$, limite máximo para consumo em peixes, segundo a WHO (1990).

A absorção do Hg presente na água por organismos aquáticos, é influenciada pela concentração desse elemento, pela taxa metabólica e pela biodisponibilidade, determinadas pelas características do ambiente aquático. Este último fator é menos entendido e talvez seja a condição mais importante que governa a absorção do Hg pelos peixes em ambientes naturais (Queiroz, 1995)

4.3.6 O Hg na Amazônia

Na região Amazônica, estudos realizados sobre contaminação ambiental e de populações por mercúrio, via de regra, têm assumido que a garimpagem seja a principal via de exposição, sendo a maior ocorrência verificada nos estados do Pará, Mato

Grosso, Rondônia, Amapá, Roraima e Maranhão (Lacerda *et al.*, 1988; Reuter, 1994), estados estes com um passado recente de expressiva atividade garimpeira.

Durante a década de 80, cerca de 50% do ouro produzido no Brasil eram provenientes da Bacia do Tapajós no Estado do Pará. Segundo Pfeiffer & Lacerda, (1989) para cada 1 Kg de ouro produzido 1,3 Kg de Hg eram utilizados. Dessa forma estima-se que durante este período aproximadamente 450 ton/Hg foram lançadas nesta região.

No início da década de 90, Padberg (1990) avaliou os teores de Hg total (Hg-T) e metil-mercúrio (MeHg) em um pequeno grupo de amostras de água, sedimentos e peixes do rio Tapajós. Nas amostras de água, os teores de Hg-T variaram entre 1,80 a 6,70 ng/L; nos sedimentos os valores de Hg-T foram da ordem de 3,12 a 93,3 ng/g (MeHg 0,06 – 1,86 ng/g). Os valores de Hg-T nos peixes carnívoros (tucunaré – *Eichla* SP e pescada – *Plagioscion* SP) foram de 0,733 e 0,360 µg/g e MeHg de 0,563 e 0,300 µg/g, enquanto que nos peixes com hábitos alimentares detritívoros e herbívoros, os valores de Hg-T variaram entre 0,041 e 0,118 µg/g. Os resultados deste estudo confirmaram a pouca utilidade das análises de Hg em água em áreas extensas como a região amazônica e atribuíram as baixas concentrações nos sedimentos a granulometria grosseira dos sedimentos e o baixo teor de matéria orgânica. Neste estudo, Padberg sugere que a concentração de Hg nos peixes, principalmente de hábitos carnívoros, demonstram um processo de biomagnificação (Padberg 1990).

Também na década de 90, estudos realizados na área de influência do Projeto Carajás por Fernandes *et al.* (1990) avaliaram a extensão da contaminação por Hg, decorrentes de garimpos em atividade e desativados, através da análise de água, sedimentos, peixe e cabelo humano de indivíduos residentes nesta área durante duas campanhas de campo considerando a sazonalidade e a intensidade da atividade garimpeira. Cerca de 67% das amostras de água analisadas apresentaram teores acima de 0,2 µg/L (limite estabelecido pela Resolução do CONAMA/86), enquanto 15% das amostras de sedimentos de fundo situaram-se na faixa entre 0,2 e 20 µg/g. Somente nas espécies carnívoras, os valores de Hg ultrapassaram em até 4 vezes o limite de 0,5 µg/g estabelecido pelo Ministério da Saúde.

Estudo realizado por Lechler *et al.* (2000) avaliaram os impactos regionais do Hg sobre o ambiente aquático através da análise de Hg em solo, água, sedimentos e peixes, numa extensão de 900 Km ao longo do rio Madeira até a confluência com o rio Amazonas. Os teores elevados de Hg, acima das médias globais, nos diferentes materiais analisados, são atribuídos a fontes e processos biogeoquímicos naturais, sendo os impactos do mercúrio gerados por fontes antropogênicas relativamente localizados. Estas afirmações são sustentadas pelos resultados de Hg encontrados nas exposições de latossolos que ocorrem ao longo do rio Madeira (0,232 a 0,406 $\mu\text{g/g}$) e nos solos que ocorrem nas partes mais elevadas próxima à cidade de Porto Velho (0,245 a 0,439 $\mu\text{g/g}$).

A avaliação da exposição humana aos compostos de Hg, através da via alimentar ou por inalação, tem sido objeto de vários estudos realizados na região amazônica (Santos *et al.*, 2000). Os primeiros relatos de sinais e sintomas relacionados à possível exposição ao Hg em indivíduos (entre garimpeiros, trabalhadores das lojas de compra e venda de ouro e ribeirinhos) na região do Tapajós foram feitos por Branches *et al.* (1993) quando descreveram uma série de casos (n=55) durante o período de 1986-1991. Este estudo constatou a média de 3,05 $\mu\text{g/L}$ de Hg no sangue e 32,7 $\mu\text{g/L}$ de Hg na urina.

Para avaliar a exposição de populações ribeirinhas ao metil-mercúrio, amostras de peixes foram coletadas na Bacia do Tapajós e de cabelo humano de moradores desta bacia (Malm *et al.*, 1995). Os teores mais elevados foram observados nas espécies de peixes carnívoros com valor médio de 0,69 $\mu\text{g/g}$. Nas amostras de cabelo o valor mais elevado foi de 151 $\mu\text{g/g}$, com média de 25 $\mu\text{g/g}$. Este estudo identificou as áreas e as espécies de peixes carnívoros como o tucunaré (*Eichla* SP) consideradas críticas para consumo humano.

Akagi (1998) avaliou os teores de Hg Total e metil-mercúrio em amostras de sangue, cabelo humano e peixes em grupos populacionais de áreas de garimpo e comunidades ribeirinhas da região do rio Tapajós. Os resultados das análises mostraram que os habitantes das comunidades mais próximas a estas áreas estão mais expostos ao metil-mercúrio do que aquelas mais afastadas. Cerca de 3% das amostras de cabelo humano (n=559) apresentaram teores maiores que 50 $\mu\text{g/g}$ de metil-mercúrio,

valor estabelecido como limite para intoxicação mercurial. Entretanto, nos estudos de Akagi não foi observada a sintomatologia em ribeirinhos do Tapajós que pudesse estar associada à “Doença de Minamata” .

Estudos realizados por Lebel *et al* (1997) na comunidade de Brasília Legal (Bacia do Tapajós, Itaituba) avaliaram os níveis de Hg em amostras de peixes (n=181) de 40 espécies diferentes e cabelo de 96 indivíduos. Os resultados demonstraram que cerca de 26 % do total das amostras analisadas apresentaram valores superiores a 0,5 µg/g (valor máximo de Hg em peixes recomendado para consumo), sendo a totalidade das espécies piscívoras e onívoras. Os 96 indivíduos foram divididos em três grupos, de acordo com o consumo de peixes. Os teores médios de Hg no cabelo no grupo com alto consumo de pescado foi de 16,1 µg/g, no grupo de dieta mista, 14,8 µg/g e no grupo com baixo consumo de peixe, 7,8 µg/g. Os hábitos alimentares da comunidade, com relação às espécies de peixes, variam sazonalmente, prevalecendo as piscívoras e onívoras no período de chuvas e herbívoras no período de seca.

4.4 ARSÊNIO

4.4.1 Obtenção do As

O arsênio elementar foi descrito pela primeira vez por Paracelso por volta de 1500 d.C., tendo sido obtido pela redução de compostos de arsênio (IARC, 1980). O As é um elemento ubíquo presente, naturalmente ou pela atividade humana, no solo, na água, no ar e nos alimentos.

É usualmente encontrado em minérios de ouro, prata, cobalto, níquel, chumbo, cobre e antimônio. Na natureza, existem mais de 200 espécies minerais cujo componente principal é o arsênio. O mineral mais comum é a arsenopirita (FeAsS).

Comercialmente, o arsênio é obtido como subproduto do tratamento de minérios de cobre, chumbo, cobalto, manganês e ouro. Os minérios de cobre e chumbo de toda crosta terrestre contêm cerca de 11 milhões de toneladas de arsênio. Os principais recursos mundiais de arsênio ocorrem nos minérios de cobre localizado no norte do

Peru e nas Filipinas, nos minérios de cobre-ouro do Chile e nos minérios de ouro do Canadá (USGS, 2001).

4.4.2 Propriedades físico-químicas do As

O arsênio pode existir em quatro estados de oxidação: arsenato (5+), arsenito (3+), arsina (3-) e o metal (0). As espécies solúveis, geralmente ocorrem nos estados de oxidação 3+ e 5+. O arsênio metálico não ocorre naturalmente no ambiente.

Em meio fortemente redutor, podem existir As(0) a As(3-). Em ambientes moderadamente redutores e anaeróbicos, predominam as formas trivalentes. A espécie pentavalente predomina em ambientes ricos em oxigênio e aeróbicos (Virraghavan *et al*, 1999).

O arsênio raramente ocorre na forma livre; geralmente, encontra-se ligado ao enxofre, oxigênio e ferro (Jain & Ali, 2000).

Os compostos de arsênio apresentam diferentes toxicidades dependendo da forma química. As toxicidades dos compostos arseniais diminuem da seguinte forma: arsina(-3) → derivados orgânicos da arsina → arsênio inorgânico(3+) → arsênio orgânico (3+) → arsênio inorgânico (5+) → compostos de arsênio e arsênio elementar. De acordo com essa escala, a toxicidade do As(III) é cerca de 10 vezes mais alta que a do As(V) (Virraghavan, 1999).

4.4.3 Principais usos e aplicações do As

Nos Estados Unidos, 90% do consumo de trióxido de arsênio destina-se à preservação da madeira para evitar deteriorização e ataque de insetos. A mistura mais comum é a que contém CrO_3 , CuO e As_2O_5 na seguinte proporção 47,5; 18,5 e 34%, respectivamente, conhecida como CCA (ATSDR, 2000).

Na agricultura, os compostos inorgânicos do arsênio são usados desde a metade do século XX nas culturas de algodão, para eliminar lagartas, como herbicidas no combate as ervas daninhas, nas culturas de maçã e de batata. A sua utilização caiu em desuso devido à alta toxicidade, tanto durante o processo de fabricação, quanto na

aplicação na agricultura, por problemas de envenenamento acidental, além do aparecimento de outros agrotóxicos orgânicos muito mais eficientes no combate às pragas. Atualmente nos Estados Unidos são permitidos alguns agrotóxicos organoarseniais (ATSDR, 2000).

No Brasil, o herbicida arsenial orgânico, metano arseniato ácido monossódico, nome técnico do MSMA, comercialmente conhecido como Daconate, de persistência curta, é autorizado para aplicação em pós-emergência nas culturas e ervas daninhas de cana-de-açúcar, café, algodão, citrus e vegetação natural circunvizinha. A tolerância em citrus é de 0,03ppm de arsênio e o intervalo de segurança é 143 dias, não devendo se efetuar mais de três aplicações ao ano e antes da floração. Nas culturas de café não se deve aplicar em árvores com frutos (Brasil, 2000).

O arsênio metálico é usado da fabricação de ligas não-ferrosas, principalmente ligas de chumbo para a fabricação de baterias, e para melhorar a resistência do latão à corrosão (Carapella, 1992).

A utilização de arsênio como medicamento é muito antiga. Os compostos inorgânicos de arsênio foram muito utilizados até a metade do século XX para o tratamento de leucemia, psoríase e asma crônica. Na década de 1970, na medicina ocidental, o seu uso foi praticamente abolido (ATSDR, 2000).

Nos últimos anos, renasceu o interesse na utilização de solução de arsenito de sódio a 1% (solução de Fowlers) no tratamento de leucemia promielocítica aguda (WHO, 2001).

Fertilizantes fabricados com rochas fosfáticas podem conter arsênio como contaminante. O uso desse tipo de fertilizante tem aumentado os níveis de arsênio no solo e conseqüentemente a contaminação dos lençóis freáticos.

4.4.4 Exposição humana ao As

O principal meio de exposição da população ao arsênio, em geral, é a ingestão de alimentos e de água; a exposição via inalação é considerada mínima.

Dentre os alimentos, os frutos do mar são os que apresentam níveis mais elevados de arsênio, portanto sua contribuição na ingestão diária é maior e corresponde

a 52% da ingestão diária total de arsênio ou mais, dependendo do hábito alimentar (Van Dokkun *et al*, 1989).

Na maioria dos alimentos, os níveis de arsênio são baixos. Pesquisa realizada no Canadá em vários alimentos, como laticínios, carnes, peixes e moluscos e frutas apresentaram média de 1.044 ng/g de arsênio, com variação de <0,1 a 4.830 ng/g-As; sendo que as amostras de peixes e moluscos foram as que apresentaram maior concentração: média de 1.66 ng/g-As, com variação de 77 a 4.830ng/g-As (Dabeka *et al.*, 1993).

Além dos frutos do mar, Schoof *et al* (1998), encontraram níveis elevados de arsênio inorgânico em arroz (73,9ng/g), trigo (10,9ng/g), suco de uva (9,2ng/g), melancia (8,9ng/g) e espinafre (6,1ng/g). Os níveis de arsênio total foram maiores em frutos do mar, porém as concentrações de arsênio inorgânico, foram baixas, indicando a presença de compostos orgânicos de arsênio, tais como arsenobetaina e arsenocolina.

Mundialmente não se tem conhecimento de doenças causadas por exposição ao arsênio orgânico (3.000µg/dia), através da ingestão de grandes quantidades de frutos do mar (FDA, 2001).

O comitê de Especialista sobre Aditivos em Alimentos da Organização Mundial de Saúde (JECFA/FAO/WHO) tem sugerido um valor provisório para a ingestão semanal máxima tolerável (PTWI) para arsênio inorgânico de 0,015 mg/kg de peso corpóreo, que corresponde a uma ingestão de cerca de 130 µg/dia para uma pessoa de 60 kg. Este valor não se aplica aos casos de incidentes de exposição aguda (FDA, 2001).

4.4.5 Biotransformação e eliminação do As

Diferentemente de outros metais de importância toxicológica, como o chumbo e o cádmio, o arsênio sofre biotransformação envolvendo basicamente dois processos. Um deles é a conversão de As(III) em As(V) por reação de oxirredução. O outro processo envolve a metilação do arsênio com produção de dois metabolitos básicos: o MMA (ácido monometilarsênico) e o DMA (dimetilarsênico), nas células hepáticas principalmente. Esse processo de metilação parece diminuir a toxicidade do arsênio

inorgânico absorvido, pois as formas orgânicas metiladas apresentam menor toxicidade e são mais facilmente excretáveis através da urina. Alguns estudos mais recentes, no entanto, apontam para uma possível toxicidade direta quanto a carcinogênese e nefrotoxicidade, das formas metiladas em animais de experimentação, em níveis semelhantes às formas inorgânicas não-metiladas (Murai *et al.* 1993; Yamanaka *et al.*, 1996).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM

Foram estabelecidos 9 estações de amostragem ao longo dos rios Envira, Tarauacá, Muru e Juruá (Figuras 8, 9 e 10), com coleta de amostras representativas das matrizes: água, sedimento, vegetal e cabelos de humanos, conforme descrição a seguir.

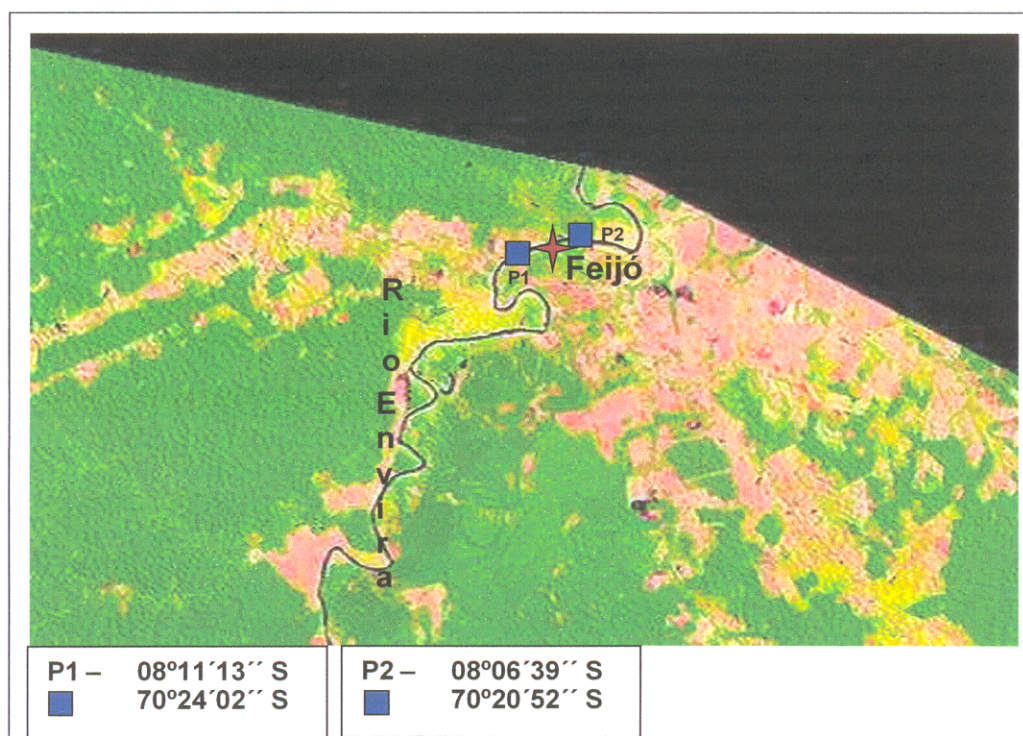


Figura 8: Imagem Landsat modificada de Miranda & Coutinho (2004) com localização de pontos amostragem no rio Envira.

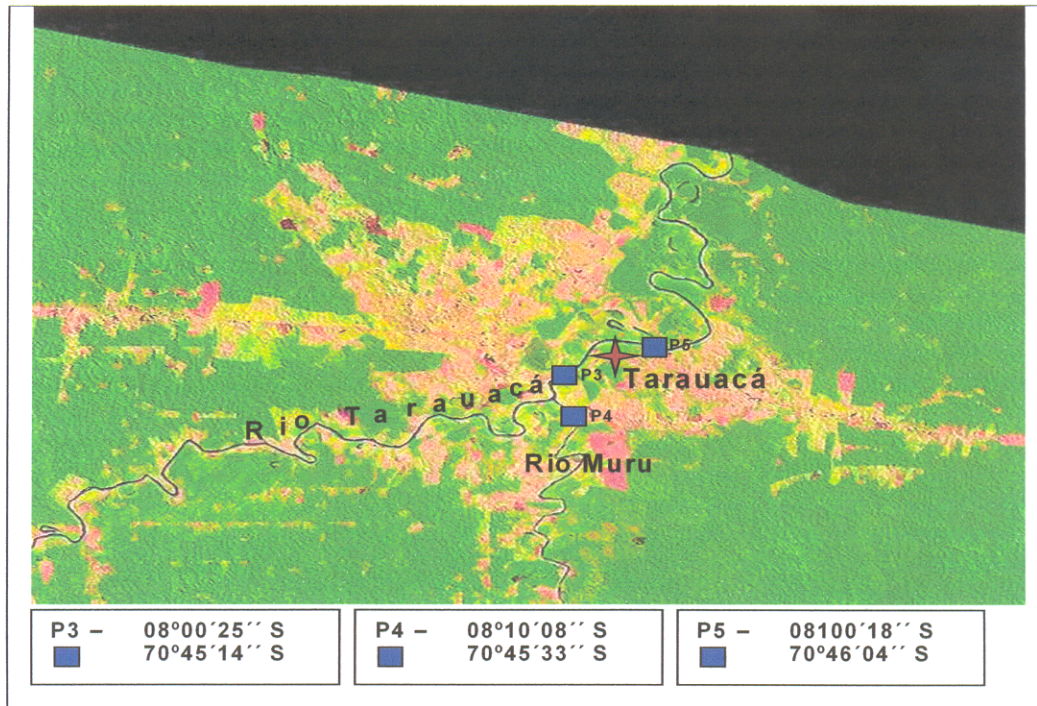


Figura 9: Imagem Landsat modificada de Miranda & Coutinho (2004) com localização de pontos amostragem nos rios Tarauacá e Muru.

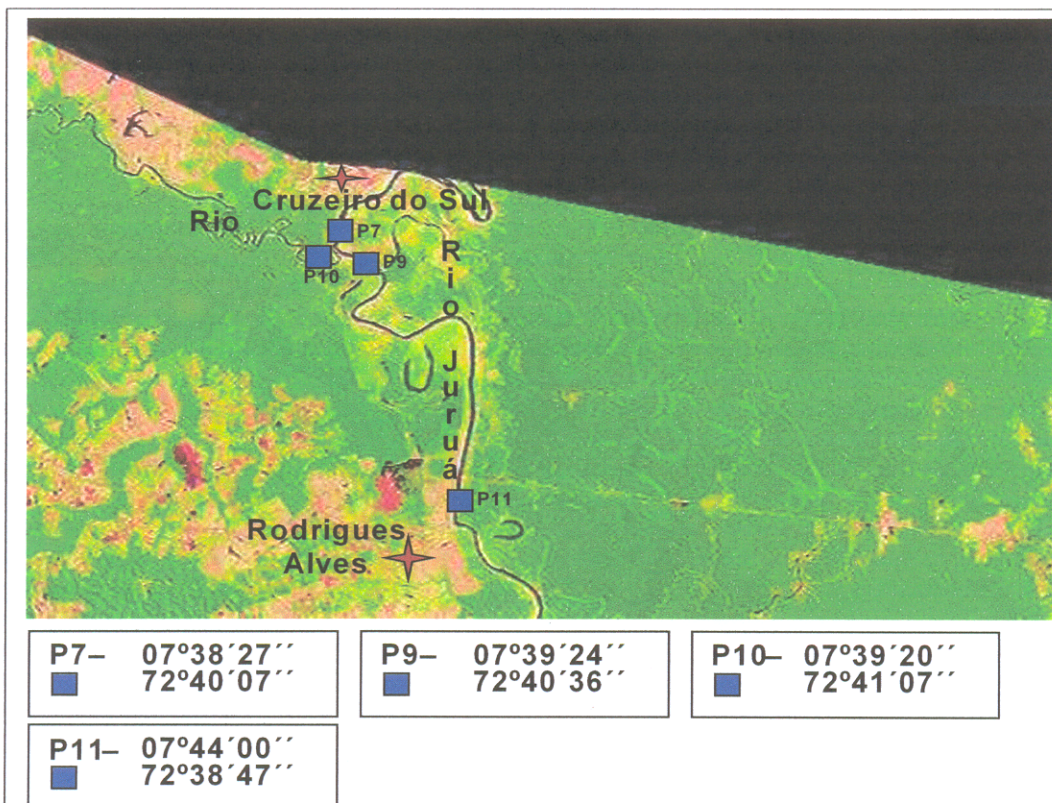


Figura 10: Imagem Landsat modificada de Miranda & Coutinho (2004) com localização de pontos amostragem nos rios Juruá e Moa.

5.1.1 Águas

No total foram coletadas 18 amostras de água (tabela 1). Em geral coletou-se 2 alíquotas de água em frascos de polietileno de 1 litro (uma acidificada a pH 2 com ácido nítrico e outra não acidificada), sendo 4 no rio Envira, 4 no rio Tarauacá, 2 no rio Muru, 6 no rio Juruá e 2 no rio Moa, cada frasco contendo 1 litro, sendo que uma das amostras foi acidificada a pH 2 com ácido nítrico e outra não.

Tabela 1: Localização geográfica das amostras na área estudada. (continua)

Coordenadas geográficas	Vegetal	Sedimento	Água
Estação 1: Rio Envira subindo (margem direita) – P1			
08° 11' 13" S	SELAC3-V-01a	SELAC3-S-01a	SELAC3-A-01a (ac)
70° 24' 02" W	SELAC3-V-01b	SELAC3-S-01b	SELAC3-A-01b (na)
	SELAC3-V-01c	SELAC3-R-01a	
	SELAC3-V-01d	SELAC3-R-01b	
Estação 1: Rio Envira abaixo de Feijó (margem direita) – P2			
08° 06' 39" S	SELAC3-V-02a	SELAC3-S-02a	SELAC3-A-02a (ac)
70° 20' 52" W	SELAC3-V-02b	SELAC3-S-02b	SELAC3-A-02b (na)
	SELAC3-V-02c	SELAC3-R-02 (mar. Esquerda).	
Estação 2: Rio Tarauacá (descendo – margem direita) – P3			
08° 09' 25" S	SELAC3-V-03a	SELAC3-S-03a	SELAC3-A-03a (ac)
70° 45' 14" W	SELAC3-V-03b	SELAC3-S-03b	SELAC3-A-03b (na)
	SELAC3-V-03c	SELAC3-R-03a	
		SELAC3-R-03b	
Estação 2: Rio Muru desembocadura com Tarauacá – P4			
08° 10' 08" S		SELAC3-S-04a	SELAC3-A-04a (ac)
70° 45' 33" W			SELAC3-A-04b (na)
Estação 2: Rio Tarauacá (subindo – margem direita) – P5			
08° 10' 18" S	SELAC3-V-05a	SELAC3-S-05a	SELAC3-A-05a (ac)
70° 46' 04" W	SELAC3-V-05b	SELAC3-S-05b	SELAC3-A-05b (na)
Estação 2: Cidade de Tarauacá (feijão comprado na feira) – P6			
08° 09' 31" S	SELAC3-V-06a		
70° 45' 53" W	SELAC3-V-06b		

Tabela 1: Localização geográfica das amostras na área estudada.

(conclusão)

Estação 3: Rio Juruá abaixo de Cruzeiro do Sul (margem direita) – P7			
07° 38' 27" S	SELAC3-V-07a	SELAC3-S-07a	SELAC3-A-07a (ac)
72° 40' 07" W	SELAC3-V-07b	SELAC3-S-07b	SELAC3-A-07b (na)
	SELAC3-V-07c	Mar. esquerda	
	SELAC3-V-07d	SELAC3-S-07c	
	SELAC3-V-07e	SELAC3-S-07d	
Estação 3: Rio Juruá (margem esquerda) – Cruzeiro do Sul – P9			
07° 39' 24" S	SELAC3-V-09a	SELAC3-S-09a	SELAC3-A-09a (ac)
72° 40' 36" W	SELAC3-V-09b	SELAC3-S-09b	SELAC3-A-09b (na)
	SELAC3-V-09c	SELAC3-S-09c	
Estação 3: Rio Moa (margem direita) – Cruzeiro do Sul – P10			
07° 39' 20" S		SELAC3-S-10a	SELAC3-A-10a (ac)
72° 41' 07" W		SELAC3-S-10b	SELAC3-A-10b (na)
		SELAC3-S-10c	
Estação 3: Rio Juruá abaixo de Rodrigues Alves (margem esquerda) – P11			
07° 44' 00" S	SELAC3-V-11a	SELAC3-S-11a	SELAC3-A-11a (ac)
72° 38' 47" W	SELAC3-V-11b	SELAC3-S-11b	
	SELAC3-V-11c	SELAC3-R-11a	
	SELAC3-V-11d	SELAC3-R-11b	
	SELAC3-V-11e		
Estação 3: Rio Juruá acima de Rodrigues Alves (margem direita) – P 11			
		SELAC3-S-11c	SELAC3-A-11b (na)
		SELAC3-S-11d	

ac – acidificada com ácido nítrico a pH 2; na – não acidificada.

5.1.2 Sedimentos

Foram coletadas 30 amostras de sedimentos de praia e barrancos, em estações onde estes sedimentos serviam como substrato de cultivo, cada uma com cerca de 1 kg conforme tabela 1.

5.1.3 Vegetais

Foram coletadas 27 amostras de vegetais, distribuídas entre grãos e de folhas de feijão (*Vigna Unguiculata (L) Walp*), folhas de milho (*Zea Mas*), folhas de capim canarana (*Brachiaria decumbens*) e folhas de capim de orvalho (*Costus spicatus*) (tabela1). O procedimento para a coleta de sementes e folhas de vegetais foi feito de acordo com a metodologia empregada pela Embrapa (1999), através da coleta de diversos indivíduos de folhas de diversas plantas, de acordo com cada tipo de vegetal. Para obtenção de amostras de maior representatividade, as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel e etiquetadas de acordo com o código do Projeto SelenMerAs (tabela1).

5.1.4 Cabelo humano

A amostragem de cabelo humano foi coordenada pela equipe do Instituto Evandro Chagas (IEC) em cooperação com o Projeto SelenMerAs. A equipe do IEC aplicou um questionário epidemiológico simultâneo à coleta de cabelo. Foram coletadas 324 amostras de cabelo de moradores de cidades situadas às margens dos principais rios da bacia do Juruá (tabela 2).

Tabela 2: Cidades ribeirinhas onde foram coletadas as amostras de cabelo com respectiva população e número total de amostras de cabelo na bacia do rio Juruá.

Cidade	População (ZEE, 2000)	Nº de amostras de cabelo
Feijó	11.993	63
Tarauacá	14.015	52
Cruzeiro do Sul	40.290	159
Rodrigues Alves	2.287	50
Total	68.585	324

5.2 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

Os procedimentos analíticos envolveram técnicas realizadas no local de amostragem, assim como análises nos laboratórios do Instituto Evandro Chagas em Belém e análises comerciais nos laboratórios Acme e ActLab do Canadá.

5.2.1 Parâmetros físico-químicos medidos no campo

As determinações físico-químicas foram realizadas no campo (Figura 11) através de métodos potenciométricos. Os valores de pH foram obtidos utilizando-se pHmetro da firma Schott Gerate, modelo CG-838, e os valores de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e temperatura foram determinados com sensores combinados, da firma Water Proof CE, modelo 4.200.



Figura 11: Análises físico-químicas das águas do rio Juruá, logo abaixo de Rodrigues Alves.

5.2.2 Análises laboratoriais

5.2.2.1 Preparação das amostras

As diversas matrizes foram assim preparadas:

1. Sedimentos – Foram secos à temperatura ambiente e pulverizados em graal de ágata.
2. Vegetais – Foram desagregados e secos em sala limpa e pulverizadas em graal de ágata.
3. Água – Foram mantidas resfriadas durante o transporte e estocadas em sala fria (a 4 °C), no Instituto Evandro Chagas em Belém.
4. Cabelo – Foi submetido à lavagem para remoção de poeira e gordura. O método de lavagem utilizado foi aquele desenvolvido pela IAEA (International Atomic Energy Agency), que consiste na lavagem sucessiva de 0,5g de cabelo com acetona (reagente supra puro) e água bidestilada.

5.2.2.2 Preparação da vidraria para análise de Se, Hg e As

O material empregado na manipulação das amostras foi colocado em banho com detergente neutro (extran 20%) por um dia. Em seguida lavado com água destilada corrente, depois imerso em uma solução de HNO₃ 10% por 24h, lavado novamente com água destilada corrente e descontaminado com uma solução de KMnO₄ 0,5% em H₂SO₄ 1N e Cloreto de hidroxilamina (NH₂OH.HCl) a 10% e por último lavado com água MillQ Plus. Este procedimento foi realizado no Laboratório de Toxicologia do Instituto Evandro Chagas.

5.2.2.3 Determinação de Se (sedimentos e vegetais)

Para as determinações de Se foi utilizado 0,3 a 0,5 g de amostra acondicionada em frasco de digestão de 50 ml. Em seguida 5 mL de HNO₃ foram adicionados e deixados à digestão por 12 h. Após agitação, os frascos de digestão foram levados à

chapa aquecedora à temperatura de 150 °C até a solução apresentar-se límpida. Em seguida, a solução foi resfriada à temperatura ambiente e acrescentaram-se 0,3 ml de H₂O₂ e novamente aquecida à temperatura de 150 °C por 30 minutos. Novamente a solução foi resfriada à temperatura ambiente, adicionado 5mL de HCl 1,2N e aquecida à temperatura de 100-120 °C por 30 minutos. A seguir a solução de cada amostra foi aferida em tubo cônico a um volume de 20mL.

O teor de Se foi determinado em espectrofotômetro de absorção atômica por geração de hidretos da marca Varian 220 do IEC.

Todas as análises de Se foram realizadas em duplicata, utilizando como padrão interno amostras de referência IAEA-SL1 2710 ($32 \pm 5 \mu\text{g.g}^{-1}$) para sedimentos e GBW-0381 ($0,22 \pm 0,04$) para vegetais.

5.2.2.4 Determinação de Hg (sedimentos, vegetais e cabelo humano)

Para as determinações de Hg total, empregou-se o método proposto por Akagi *et al.* (1998) e descrito resumidamente a seguir: uma massa de 250 mg de amostra foi pesada e acondicionada em frascos de digestão de 50 ml. Em seguida uma mistura de 2 mL de HNO₃ + HClO₄ (1:1), 5 mL de H₂SO₄, 1 mL de H₂O deionizada foi adicionada. Após agitação os frascos de digestão foram levados à chapa aquecedora à temperatura de 220 °C durante 20 minutos e resfriados à temperatura ambiente. Em seguida, as soluções foram transferidas para balão volumétrico de 50 ml, aferidas com água e homogeneizadas. Na realização das análises foram utilizados reagentes da marca Merck suprapuro.

A determinação de Hg nas amostras foi feita por espectrofotometria de absorção atômica com sistema de geração de vapor a frio, utilizando-se o equipamento "automatic mercury analyzer" HG-3500 do fabricante K.K Sanso S.S do IEC. A curva de calibração foi feita com as concentrações de 0,0; 0,4; 0,8 e 1,2 ng.ml⁻¹ a partir da amostra certificada IAEA-SL1 2710 ($32 \pm 5 \mu\text{g.g}^{-1}$), com recuperação de 95,0 a 98,5 % para sedimentos e GBW ($0,22 \pm 0,04$) para vegetais. As leituras das amostras foram realizadas em duplicatas. O limite de detecção do método é de 1 ng.g⁻¹ de Hg absoluto.

5.2.2.5 Determinação de As (sedimentos e vegetais)

Para análise do arsênio pesaram-se cerca de 0,25 g a 0,5 g de amostra em tubo de ensaio e adicionaram-se 3 ml HNO_3 e 1 ml de HCl , ficando em repouso por 12 horas. A seguir a solução foi aquecida em bloco digestor a temperatura $95\text{ }^\circ\text{C}$, por cerca de 50 minutos, sendo homogeneizada em intervalos de 15 em 15 minutos, até o desaparecimento dos fumos. A solução límpida foi resfriada a temperatura ambiente e aferida a um volume de 20 ml, usando água MillQ-Plus. Da solução foi retirada uma alíquota de 5 mL, sendo transferida para um balão volumétrico de 50 ml, adicionado 4 mL de HCl concentrado e deixada em repouso por 5 minutos em banho de gelo. Em seguida, adicionou-se 5 ml de solução aquosa a 10% de uréia, deixando novamente em repouso por mais 5 minutos em banho de gelo. Posteriormente, adicionou-se 2,5 ml de solução aquosa a 10% de KI , deixando em repouso por mais 45 minutos em banho de gelo, com a finalidade de reduzir o As^{5+} para As^{3+} , aferimento com água Mill-Q.

O teor de As foi determinado em espectrofotômetro de absorção atômica por geração de hidretos da marca Varian 220 do Instituto Evandro Chagas.

5.2.2.6 Análises mineralógicas por difração de raios-X

As análises de difração de raios-X foram realizadas em amostras totais e granulometria argila.

O aparelho utilizado foi um difratometro da marca PHILIPS, modelo PW 3710 BASED, do Centro de Geociências da UFPa, equipado com anodo de cobre ($\lambda_{\text{CuK}\alpha_1}=1,54060\text{\AA}$), com monocromador e gerador de tensão e corrente ajustados para 45kV e 40 mA, respectivamente. Os registros foram realizados no intervalo de exposição de 5° a $65^\circ 2\theta$ para amostra total e 3° a $33^\circ 2\theta$ para as amostras de argilas orientadas, glicoladas e aquecidas. A identificação dos minerais foi feita com auxílio do software APD (PHILIPS), nos registros digitais obtidos, e o software MINERVA, como banco de dados dos minerais encontrados (baseados no ICDD-International Center for Diffraction Data).

Por outro lado à identificação dos argilominerais, foi feita comparando os espaçamentos basais (d) das reflexões de primeira ordem nos difratogramas de amostras orientadas, glicoladas e aquecidas a 550°C entre si e sua posição 2θ conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Distancias basais em Å⁰ e posição 2θ utilizadas para identificação de argilominerais. Adaptada de Carrol, D. (1970) e Moore & Reynolds (1997).

Argilomineral	Orientada/ 2θ	Glicolada/ 2θ	Aquecida
Esmectita	15 Å / 6 ⁰	16,9 Å / 5,2 ⁰	10 Å / 8,4 ⁰
Illita	10 Å / 8,4 ⁰	10 Å / 8,4 ⁰	10 Å / 8,4 ⁰
Caulinita	7,1 Å / 12,5 ⁰	7,1 Å / 12,5 ⁰	desaparece

5.2.2.7 Análise multielementar (sedimentos e vegetais)

Foram feitos análises multielementares (elementos maiores e elementos-traço) (tabela 4) nas amostras de sedimentos de praia e vegetais segundo método empregado nos laboratórios Acme Analytical Laboratories Ltd e Activation Laboratories Ltd, descrito a seguir:

No Acme Analytical Laboratories Ltd foram realizadas análises de acordo com os grupos: código 1F1 – 1.00 GM para sedimentos, utilizando como reagente de abertura água régia e determinação com ICP-MS; e código 1VE – 1.00 GM, para vegetais, utilizando HNO₃ e água régia, para abertura e determinação com ICP-MS (tabela 5).

No Activation Laboratories Ltd foram realizadas análises em sedimentos e vegetais (tabela 6), usando metaborato/tetraborato (código 4B, 4B2-STD, 4B2-RESEARCH, 4LITHO, 4LITHORESEARCH), como reagente fundente de abertura para sedimentos, enquanto que para vegetais foi empregado ativação neutrônica (código INAA-4^A-RESEARCH) tendo sido as amostras de vegetais formatadas em tijolinhos e submetidas à irradiação, e só então medidos por “INAA”. Os dois métodos correspondem à determinação por análise total nas amostras, segundo o catalogo 2000 Fee Schedule (ACTLABS Group Website, 2000).

Tabela 4: Relação de elementos químicos determinados (análise química total) nos laboratórios Acme Analytical Laboratories Ltd e Activation Laboratories Ltd em sedimento e vegetal.

Laboratório	Matriz	Elementos
Acme Analytical Laboratories Ltd	Sedimento	SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, MnO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, In, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U
	Vegetal	Al, Ca, Mg, P, K, Fe, Na, S, Hg, Ag, Au, Re, Pd, Pt, Se, As, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, U, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, La, Cr, Ba, Ti, B, W, Tl, Te, Ga, Cs, Ge, Hf, Nb, Rb, Sc, Sn, Ta, Zr, Y, Ce, In, Be, Li
Activation Laboratories Ltd	Sedimento	SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, MnO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , V, Be, Sc, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, In, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U
	Vegetal	Na, K, Ca, Fe, Sc, Cr, Co, Ni, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Mo, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Hg, Th, U, Ir, Au

Os limites de detecção constam nos protocolos analíticos dos laboratórios Acme Analytical Laboratories Ltd e Activation Laboratories Ltd.

Tabela 5: Relação das amostras analisadas no laboratório Acme Analytical Laboratories Ltd.

Matriz	Rio	Amostra
Sedimento	Envira	S-02 ^a
	Tarauacá	S-03a
	Juruá	S-07 ^a
Folha de capim canarana	Envira	V-01d, V-02b
	Tarauacá	V-03a, V-05 ^a
	Juruá	V-07c, V-09 ^a , V-11e
Folha de capim orvalho	Envira	V-02c
	Tarauacá	V-03c, V-05b
	Juruá	V-07d, V-011d
Folha de feijão	Juruá	V-11c
Folha de Milho	Juruá	V-07b, V-09c, V-11b

Tabela 6: Relação de amostras analisadas no Activation Laboratories Ltd.

	Matriz	Rio	Amostras
Sedimento		Envira	S-01 ^a e S-02 ^a
		Tarauacá	S-03 ^a e S-05 ^a
		Muru	S-04
		Juruá	S-07 ^a , S-11a e S-09 ^a
		Moa	S-10 ^a
Feijão	Grão	Tarauacá	V-06a, V-06b
		Juruá	V-11f
	Folha	Envira	V-01b, V-02a
		Tarauacá	V-03b
		Juruá	V-07a, V-11 ^a

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 OS SEDIMENTOS DE PRAIA

6.1.1 Aspectos morfológicos

Os rios da bacia do Juruá, a exemplo do Purus, nos períodos de cheia transportam grande quantidade de sedimentos, por tração e em suspensão, que são depositados às suas margens e no seu leito. Na parte côncava do seu leito depositam-se sedimentos arenosos a siltosos, que ao serem expostos nos períodos de estiagem, vazante, formam as **barras em pontal**, conhecidas regionalmente como **praias**. Doravante este termo será, ao longo deste trabalho, utilizado como sinônimo de barra em pontal. As praias são utilizadas pelos ribeirinhos para a agricultura de pequeno ciclo, como feijão (*Vigna Unguiculata L Walp*), milho (*Zea mayz*), melancia (*Citrullus vulgaris*), amendoim (*Arachis helodes mart*).

Em geral as praias tem forma de lóbulos, acompanhando ligeiramente a curvatura dos meandros, com extensão de 200 a 1500 metros, aproximadamente, e largura máxima em torno de 50 metros (Figura 12).



Figura 12: Curvatura de meandro com praia cultivada com feijão - Rio Envira logo acima da cidade de Feijó.

A superfície das praias em termos gerais é inclinada suave a acentuadamente em direção ao leito do rio. O corpo da praia atual e aquele de praias situadas em posições mais distais são encobertos por vegetação zonada entre a calha do rio e a terra firme, podendo ser influenciada pelos ribeirinhos. Esse zoneamento acompanha a morfologia das paleopraias. As praias são cultivadas com milho e feijão pelos ribeirinhos, ou não. Sucede-se o capim de orvalho (*Brachiaria decumbens*), canarana (*Costus spicatus*), capim-flecha (*Digitarias insularis*) e finalmente as embaubeiras (*Cecropia pachystachya*) (Figura 13). Nas terras mais antigas e elevadas encontra-se uma vegetação com muitas espécies arbóreas com porte mais elevado.

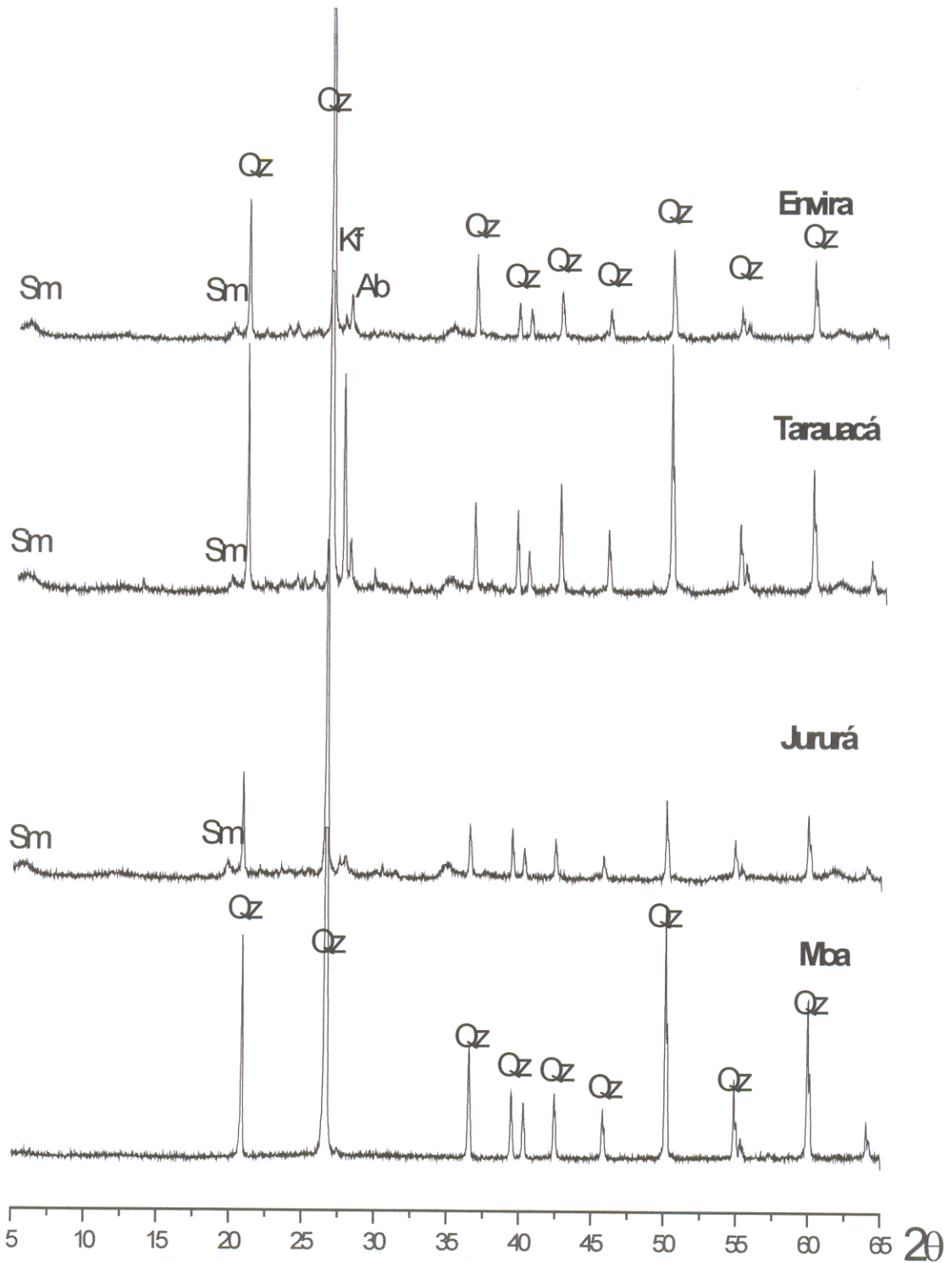


Figura 13: Zoneamento florestal (floresta de terra firme ao fundo pioneira com embaubeira, *Cecropia pachystachya*) e cultivo de feijão, entre a calha do rio e a terra-firme - Rio Tarauacá, logo abaixo da cidade de Tarauacá.

6.1.2 Aspectos granulométricos e mineralógicos

As praias estudadas são constituídas essencialmente de sedimentos de granulometria areia fina a silte, nas áreas cultivadas. Apenas a praia do rio Moa que não é cultivada destoa deste padrão, pois seus sedimentos são formados de areia média a grossa, e a praia do rio Muru constituída de areia grossa-areia fina (Figura 14).

Esses sedimentos são formados em ordem decrescente por quartzo, feldspatos e minerais de argila (Figura 15). Ocorrem ainda micas (muscovita e talvez biotita) (Almeida, 2005) em menor proporção. No rio Moa os sedimentos são basicamente formados de quartzo (Figura 15). Os minerais de argila assim identificados são principalmente esmectita, seguido de illita e caulinita (Figuras 16, 17 e 18).



Legenda: Qz- quartzo; Ab- albite; Kf- k-feldspato; Sm – Esmectita(?)

Figura 15: Minerais identificados por DRX em sedimentos de praia dos principais rios da bacia do Jurua.

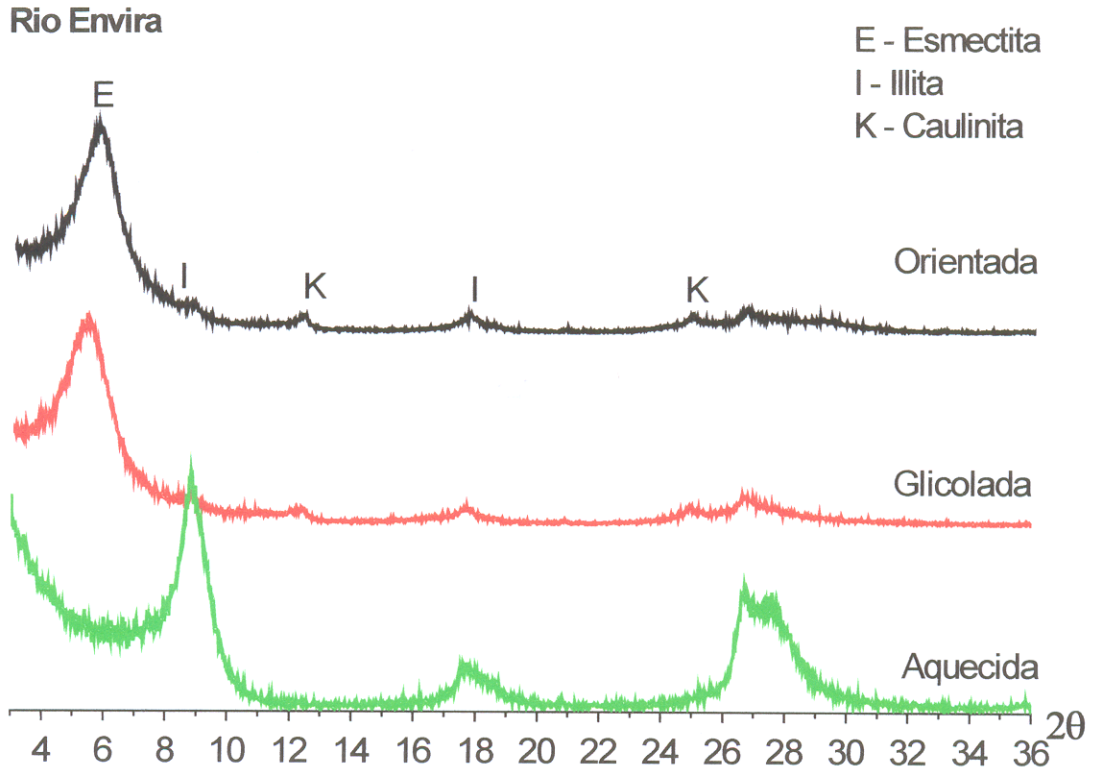


Figura 16: Caracterização de minerais de argila por DRX em sedimentos de praia do rio Envira.

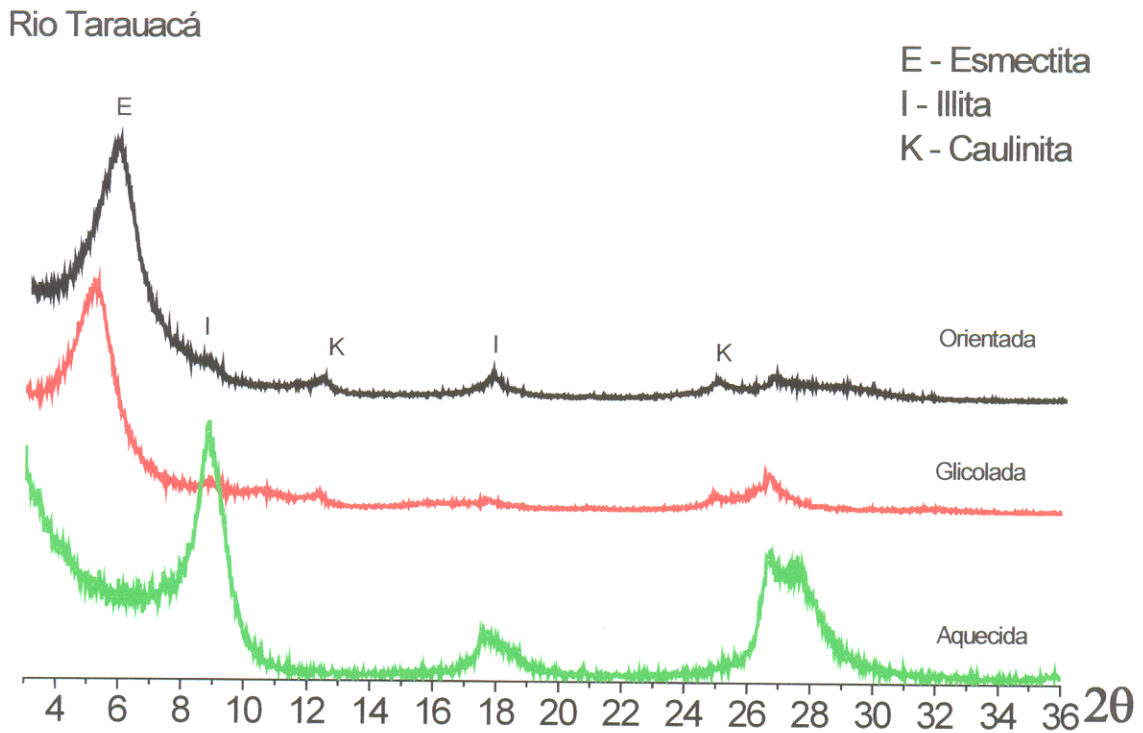


Figura 17: Caracterização de minerais de argila por DRX em sedimentos de praia do rio Tarauacá.

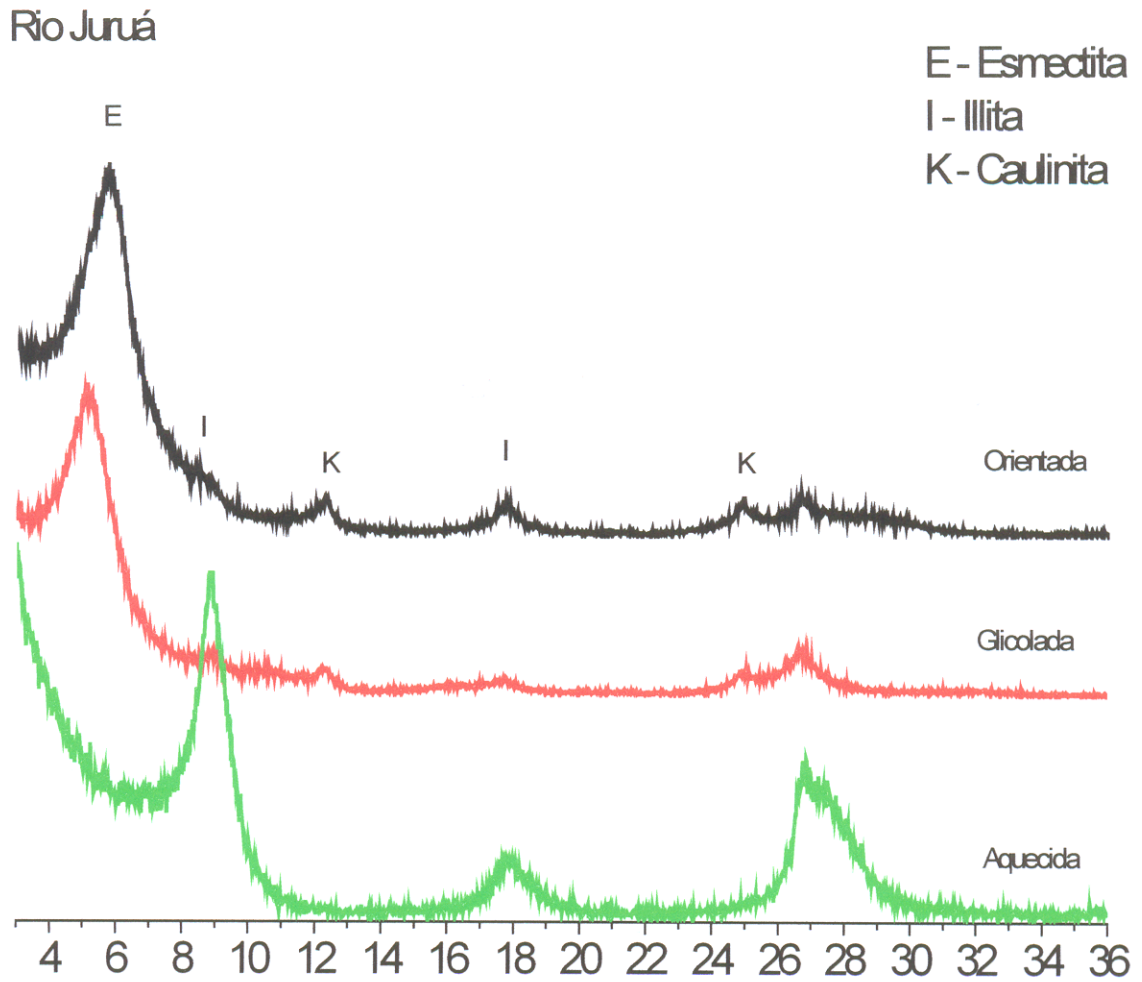


Figura 18: Caracterização de minerais de argila (esmedtita, illita e caulinita) por DRX em sedimentos de praia do rio Juruá.

6.1.3 Composição química

6.1.3.1 Elementos maiores

Os sedimentos de praia dos rios da bacia do Juruá são compostos principalmente SiO_2 (68,0 a 98,9 % em peso). Os valores mais altos foram encontrados nos sedimentos dos rios Moa e Muru, que correspondem a grande quantidade de quartzo. Destacam-se ainda os valores de Al_2O_3 (0,41 a 11,9 % em peso), que são mais altos, principalmente nos rios Envira, Tarauacá e Juruá (Tabela 6). Embora em valores mais baixos, os teores de Fe_2O_3 (0,13 a 4,37 %), MgO (0,02 a 1,03 %), K_2O (0,16 a 1,94 %), CaO (0,02 a 1,05 %) e Na_2O (0,02 a 1,03 %) são significativos, e da mesma forma que o Al_2O_3 , estão mais concentrados nos sedimentos dos rios Envira, Tarauacá e Juruá. Esses elementos em conjunto com parte de SiO_2 constituem os minerais de argila identificados como esmectita e illita e em parte caulinita e feldspatos. Os teores de P_2O_5 estão abaixo de 0,1 % o que confirma a presença de apatita em baixas quantidades.

No diagrama da figura 20 é possível visualizar a similaridade química composicional entre os sedimentos das praias dos rios Envira, Tarauacá e Juruá, que é bem distinta dos sedimentos do rio Moa. A composição química dos sedimentos dos três rios pode ser comparada ligeiramente com aquela do PAAS (folhelhos australianos pós-arqueanos) e, por conseguinte com a Crosta Superior (CS), embora ainda ligeiramente empobrecido em Al, Fe, Mg, K e Ti e mais ainda em Ca e Na, certamente diluídos pelos altos teores de SiO_2 . Os resultados também apresentam valores abaixo dos encontrados por Yang *et al* (2003) (tabela 7), para os sedimentos imaturos do rio Changjiang na China, cuja composição mineralógica é semelhante às dos rios aqui estudados, porém apresentando calcita, dolomita e a presença esmectita sendo menor que a illita.

Tabela 7: Composição química total dos sedimentos praianos dos rios da bacia do Juruá (% peso).

Am	Envira		Tarauacá			Juruá		Muru	Moa	*	**	***
	S-01a	S-02a	S-03a	S-05a	S-07a	S-11a	S-09a	S-04	S-10a	CJ-avg	CS	PAAS
SiO ₂	72	77,9	78,3	71,4	68	77,9	80,8	90,9	98,9	-	64,92	62,8
TiO ₂	0,75	0,65	0,68	0,79	0,86	0,68	0,66	0,35	0,08	0,95	0,52	1
Al ₂ O ₃	10,5	8,6	8,37	10,6	11,9	8,62	7,34	4,02	0,41	13,39	14,63	18,9
Fe ₂ O ₃	3,61	2,93	2,79	3,78	4,37	3,09	2,56	1,26	0,13	6,11	4,4	6,5
MgO	0,92	0,68	0,65	0,83	1,03	0,67	0,54	0,17	0,02	2,71	2,24	2,2
MnO	0,06	0,04	0,05	0,07	0,09	0,06	0,04	0,02	0	0,12	0,07	0,11
CaO	1,05	0,74	0,66	0,76	0,79	0,57	0,46	0,24	0,02	4,44	4,12	1,3
Na ₂ O	0,96	1,03	0,78	0,73	0,76	0,86	0,91	0,53	0,02	1,22	3,46	1,2
K ₂ O	1,94	1,84	1,83	1,91	1,78	1,64	1,51	1,53	0,16	2,48	3,45	3,7
P ₂ O ₅	0,09	0,08	0,07	0,09	0,1	0,07	0,06	0,06	0,03	-	0,15	0,16
P.F.	7,86	5,32	5,47	8,31	9,74	5,65	4,17	1,15	0,26	-	-	6
Total	99,69	99,82	99,6	99,27	99,41	99,81	99,08	100,2	100,0	-	97,98	103,9

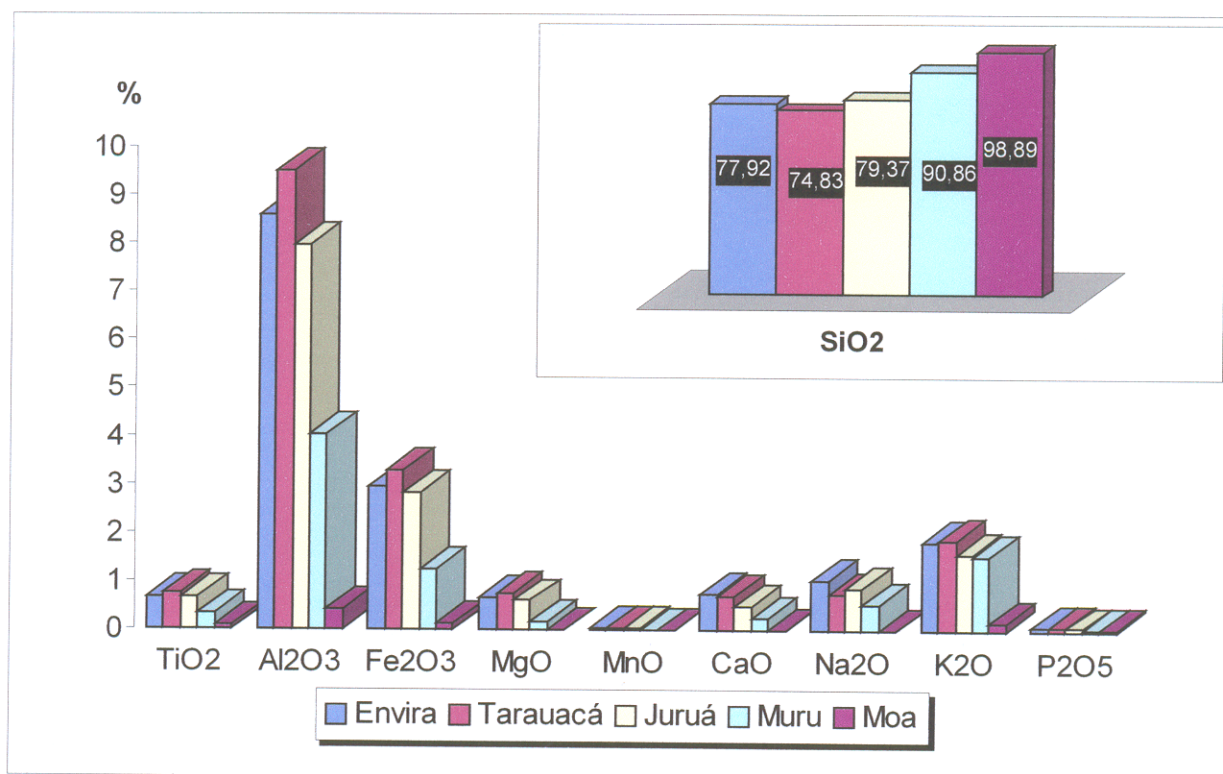
* Rio Changjiang (China): Yang *et al* (2003)

** Crosta Superior, Wedepohl (1995)

*** PAAS: Taylor & Mclennam (1985)

_não avaliado

Am: Amostras

**Figura 19:** Concentração elementos maiores em sedimentos de praia dos principais rios da bacia do Juruá.

6.1.3.2 Elementos-traço

A tabela 8 mostra claramente que a concentração da maioria dos elementos-traço investigada apresenta valores equivalentes ou inferiores à média crustal (Be, Sc, V, U, Cr, Co, Ni, Ga, Ge, Sr, Y, Nb, Mo, Sn, Ba, ETR, W, Bi) e ligeiramente abaixo dos PAAS. Apenas as concentrações de Cu, Zn, (Ba), Zr, Hf, Th, U, Cs, e Pb encontram-se em níveis superiores a média crustal, fato também observado em relação aos PAAS. Por outro lado às concentrações de ETR, especialmente ERTP, Pb e U são equivalentes aos PAAS e Crosta Superior. Cobre, Zn, Rb e Ba possivelmente estão relacionados aos grãos constituídos por argilominerais, enquanto Zr, Hf, Th, U, Cs e Pb ao zircão um mineral abundante da fração fina pesada, como mostrado anteriormente.

Os sedimentos de praia dos rios Muru e Moa, principalmente este último mostram as mais baixas concentrações de todos os elementos-traço, sem distinção, tendo a sua riqueza em quartzo.

O fracionamento de parte destes elementos nos sedimentos de praias conforme seus respectivos rios estão indicados na Figura 21, onde se observa claramente a diferença entre os rios Muru e Moa e os demais. Este mesmo gráfico mostra que as praias dos rios Envira, Tarauacá e Juruá se assemelham entre si através da concentração dos elementos-traço, divergindo do Muru e principalmente do Moa. Esses dados reforçam as semelhanças entre as praias dos rios Envira, Tarauacá e Juruá em termos da mineralogia e composição química, sendo esta semelhança mais forte entre os rios Envira e Tarauacá.

As Figuras 22, 23, 24, 25 e 26, que correlacionam a distribuição dos elementos nos sedimentos de praia e a sua granulometria mostram que o padrão de distribuição é constante para o mesmo padrão granulométrico. Destacando-se dois padrões granulométricos relativos as sub-bacias: Envira-Tarauacá-Juruá com domínio de silte e o Muru-Moa com domínio de areia.

Tabela 8: Concentração de elementos-traço (abertura total) em sedimentos de praia dos rios da bacia do Juruá, crosta superior (CS) e folhelhos pós-arqueanos australianos. (continua)

Rios	Envira		Tarauacá		Juruá		Muru	Moa	CS *	PAAS **	
Amostra	S-01a	S-02a	S-03a	S-05a	S-07a	S-11 ^a	S-09 ^a	S-04	S-10a		
Ppm											
Be	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	<1,0	3,1	-
Sc	9,00	7,00	7,00	9,00	11,0	7,00	6,00	2,00	<1,0	7,0	16,0
V	69,0	58,0	55,0	73,0	88,0	64,0	55,0	24,0	<5,0	53,0	150,0
Cr	38	31	30	39	47	69	33	<20	<20	35	110
Co	10,4	8,2	7,9	11,9	14,0	10,2	7,6	3,7	<1,0	11,6	23,0
Ni	<20	<20	<20	22	25	192	<20	<20	<20	19	55
Cu	73,0	68,4	66,5	71,9	73,3	68,8	66,1	57,1	54,3	14,3	50,0
Zn	94	71	85	100	102	91	78	51	47	52	85
Ga	12,8	10,3	9,9	13,4	14,9	10,6	8,8	5,1	<1,0	14,0	20,0
Ge	1,4	1,1	1,4	1,5	1,3	1,4	1,4	-1,0	<1,0	1,4	-
As	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	5,5	5,3	<5,0	<5,0	<5,0	2,0	-
Rb	87,4	75,1	76,5	92,8	90,1	71,6	62,5	58,8	5,9	110,0	160,0
Sr	97	93	77	79	100	92	83	48	15	316	200
Y	27,0	24,0	24,0	31,0	29,0	23,0	22,0	13,0	4,0	20,7	27,0
Zr	378	458	444	378	367	431	532	234	172	237	210
Nb	15,8	13,4	14,9	18,0	18,0	14,4	13,6	7,5	2,6	26,0	19,0
Mo	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	1,4	1,0
Ag	2,73	4,73	3,37	4,10	3,93	3,76	5,20	2,43	1,28	0,06	-
In	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,1	-
Sn	2,12	1,67	2,19	2,51	2,21	1,76	1,59	1,15	<1,0	2,5	4,0
Sb	0,5	<0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	<0,5	<0,5	0,3	-
Cs	5,64	3,68	3,91	5,31	6,54	4,34	3,37	1,29	<0,5	5,8	15,0
Ba	398	386	361	400	415	359	328	285	71	668	650
La	30,8	25,4	24,2	31,9	34,0	25,4	22,9	15,7	6,7	32,3	38,0
Ce	59,6	49,2	46,3	62,7	67,2	50,6	45,4	30,6	13,7	65,7	80,0
Pr	7,23	6,13	5,70	7,63	8,07	6,05	5,48	3,92	1,45	6,30	8,90
Nd	27,5	23,6	21,4	29,1	31,0	23,0	20,9	15,1	5,0	25,9	32,0
Sm	5,72	4,94	4,47	6,11	6,37	4,83	4,31	3,16	0,99	4,70	5,60
Eu	1,18	1,02	0,94	1,25	1,35	1,03	0,90	0,68	0,16	0,95	1,10
Gd	5,38	4,60	4,18	5,68	5,91	4,38	3,95	2,43	0,75	2,70	4,70
Tb	0,81	0,70	0,66	0,87	0,89	0,67	0,61	0,39	0,12	0,50	0,77
Dy	4,92	4,33	4,18	5,35	5,31	4,14	3,88	2,29	0,71	2,90	4,40
Ho	1,00	0,90	0,89	1,08	1,07	0,84	0,81	0,46	0,14	0,62	1,00

Tabela 8: Concentração de elementos-traço (abertura total) em sedimentos de praia dos rios da bacia do Juruá, crosta superior (CS) e folhelhos pós-arqueanos australianos. (conclusão)

Er	2,99	2,80	2,69	3,32	3,18	2,53	2,46	1,35	0,43	-	2,90
Tm	0,47	0,45	0,45	0,53	0,50	0,41	0,41	0,23	0,08	-	0,40
Yb	3,08	2,85	2,90	3,42	3,22	2,71	2,78	1,57	0,49	1,50	2,80
Lu	0,45	0,43	0,44	0,49	0,47	0,40	0,42	0,23	0,08	0,27	0,43
Hf	10,9	13,2	12,3	10,9	10,8	12,3	15,0	6,6	4,7	5,8	5,0
Ta	1,09	0,93	1,10	1,20	1,26	1,03	0,92	0,58	0,19	1,50	-
W	1,2	<1,0	1,1	1,4	1,4	1,0	1,0	<1,0	<1,0	1,4	2,7
Tl	17,8	10,4	14,4	15,1	17,7	15,2	14,4	8,2	1,8	0,8	-
Pb	21,4	13,6	19,3	20,9	20,4	20,3	18,2	11,0	8,0	17,0	20,0
Bi	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,1	0,3
Th	9,55	8,09	8,31	9,70	10,8	8,17	7,11	3,61	1,97	10,30	-
U	2,79	2,51	2,48	2,96	3,04	2,54	2,39	1,24	0,68	2,50	3,10

< = abaixo do limite de detecção

* Crosta Superior, Wedepohl (1995)

** PAAS: Taylor & McLennan (1985)

- não avaliados

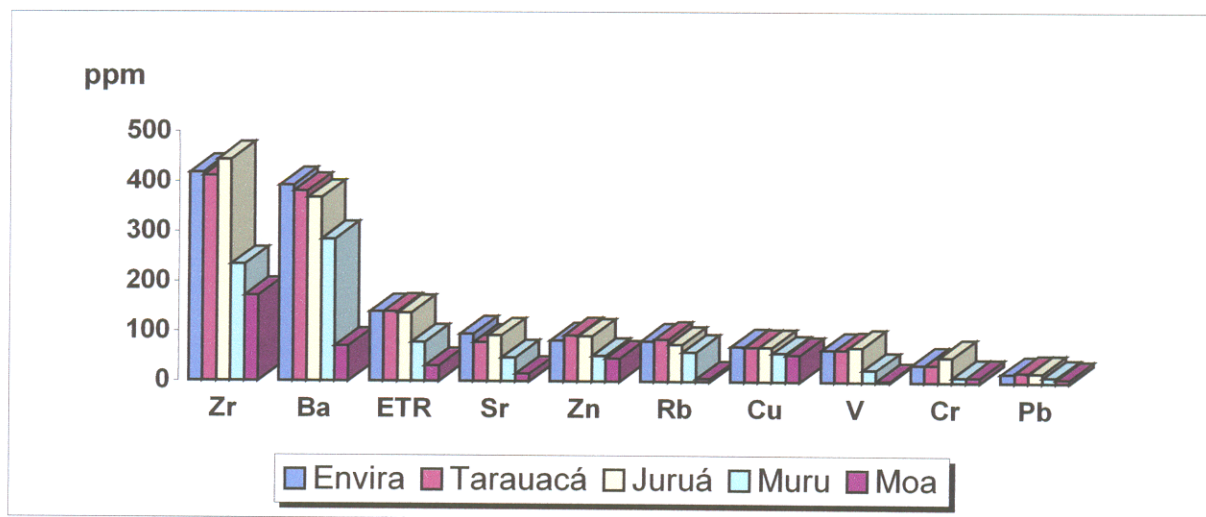


Figura 20: Concentração média de elementos químicos em sedimentos de praia dos principais rios da bacia do Juruá.

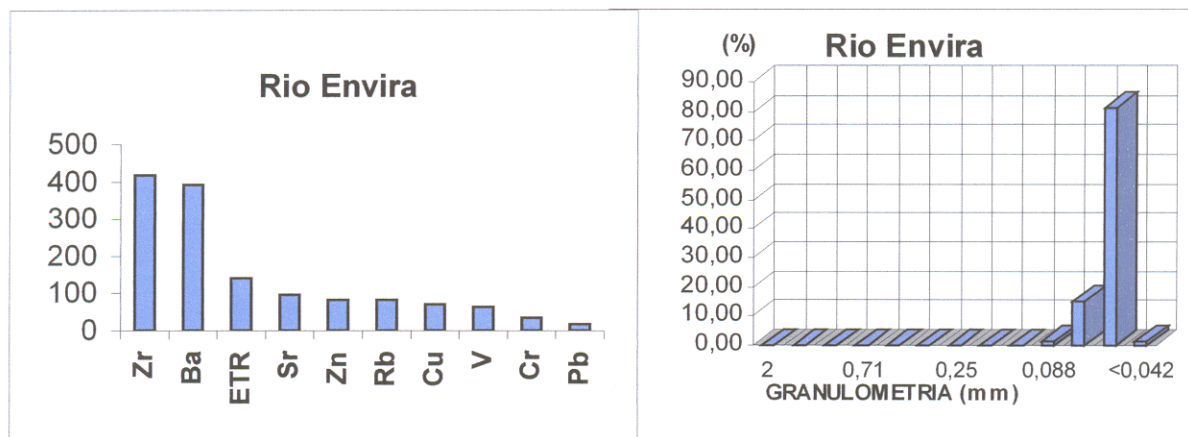


Figura 21: Concentração de elementos químicos e distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Envira.

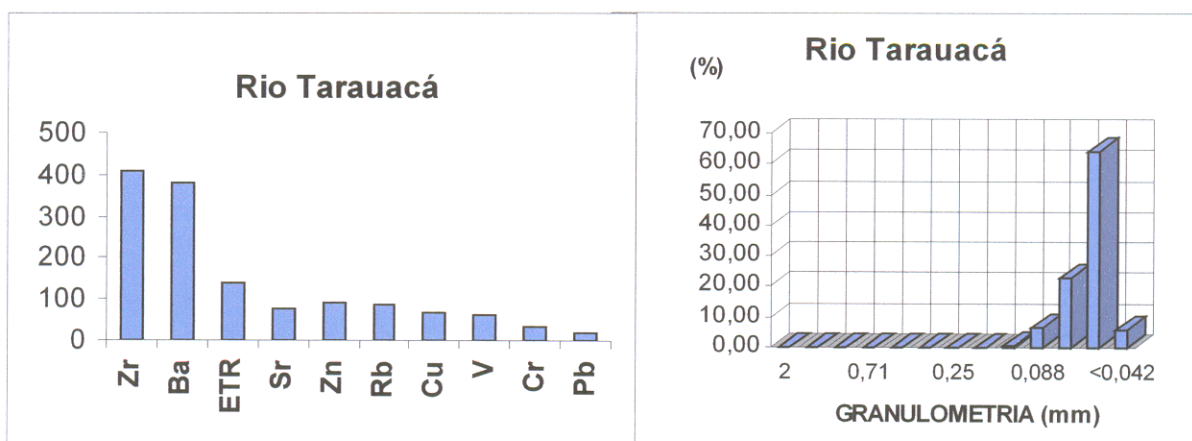


Figura 22: Concentração de elementos químicos e distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Tarauacá.

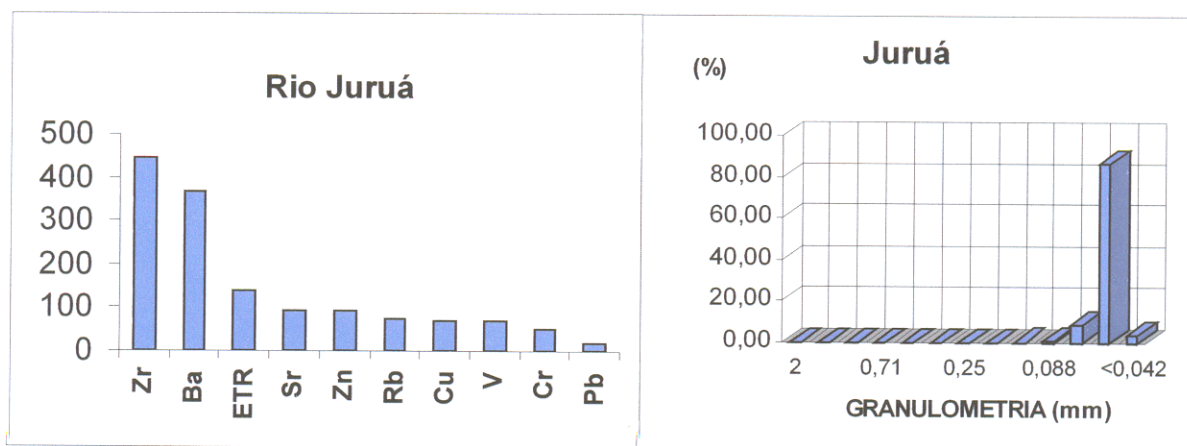


Figura 23: Concentração de elementos químicos e distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Juruá.

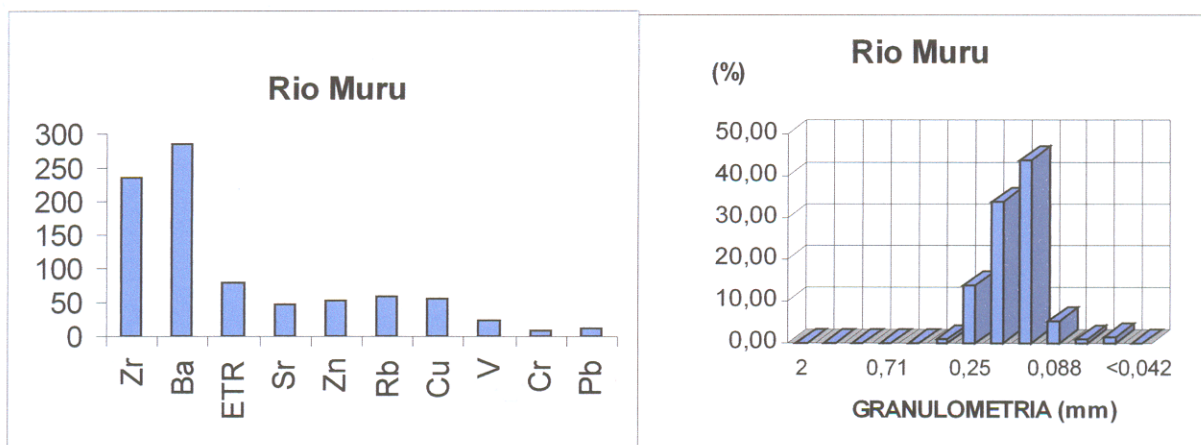


Figura 24: Concentração de elementos químicos e distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Muru.

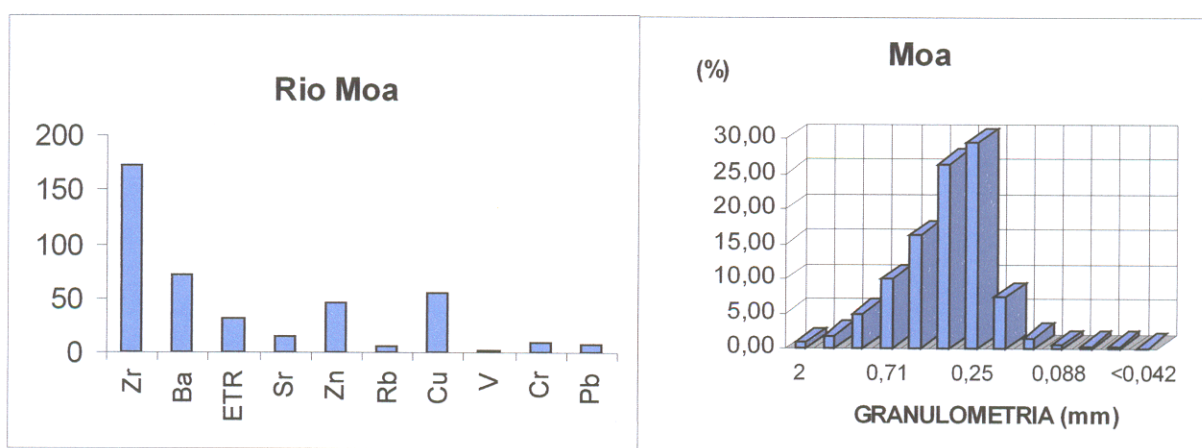


Figura 25: Concentração de elementos químicos e distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Moa.

6.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS FLUVIAIS

6.2.1 Aspectos gerais e suspensatos

As águas dos rios da bacia do Juruá são barrentas do tipo águas brancas na classificação de Sioli (1985), devido à elevada concentração de material inorgânico em suspensão, que é maior no período chuvoso, ou de enchente. Dos rios investigados apenas o Moa diverge ligeiramente deste padrão, com águas mais claras no verão.

A concentração de material em suspensão (suspensatos) varia de 43,2 mg/L a 830,5 mg/L com média de 501,9 mg/L. Os valores mais altos foram encontrados no rio Tarauacá (média: 728,8) e depois no Envira (média: 605,5) e os mais baixos no rio Moa (Figura 27). Os suspensatos são constituídos principalmente de partículas de quartzo, esmectita, illita, caulinita e feldspatos. Essa composição é em parte encontrada nos sedimentos de praia, embora divergindo nas proporções de cada mineral.

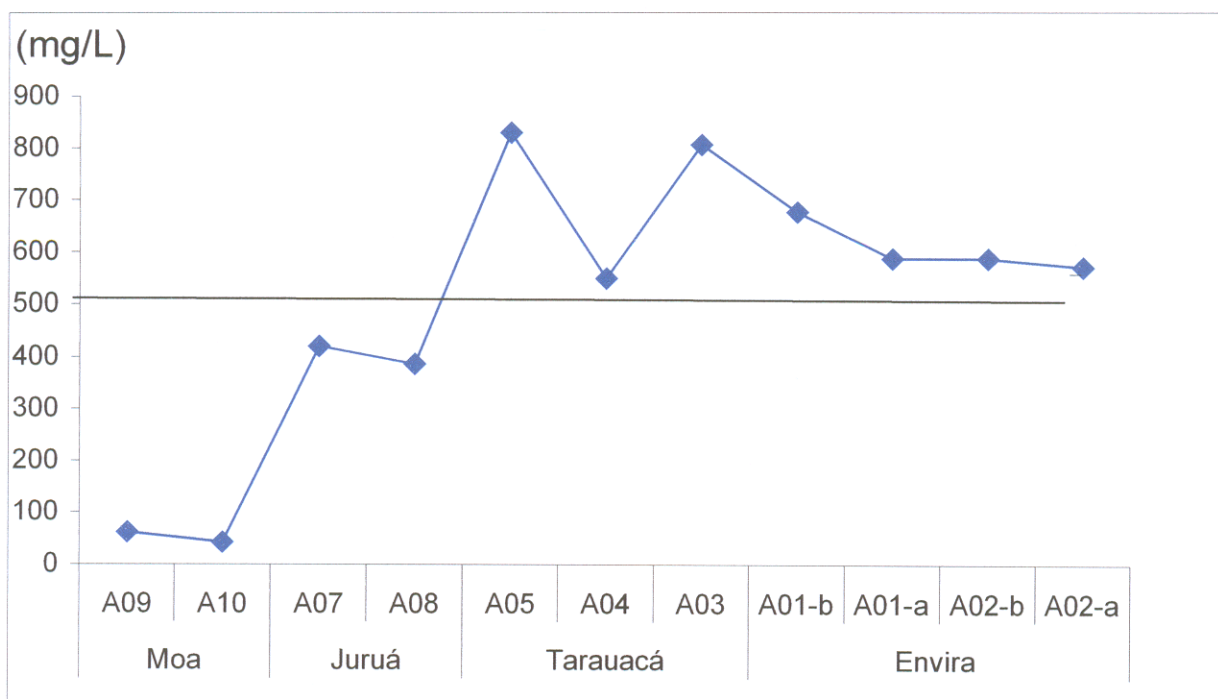


Figura 26: Distribuição areal do conteúdo de sedimentos em suspensão (suspensatos) nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.

6.2.2 pH

pH dessas águas fluviais varia de 6,83 a 8,24 com média de 7,73 (tabela 9), ou seja, são rios de águas neutras a alcalinas. Os valores destacam três regiões distintas (sub-bacias) (Figura 28): a região Envira-Tarauacá com os mais altos valores de pH (variação: 8,08 a 8,24), alcalino; a região do rio Juruá (variação: 7,11 a 7,74), neutro a levemente alcalino e a região do rio Moa (variação: 6,83 a 6,87) levemente ácido. Esses rios drenam argilitos, siltitos e argilitos carbonáticos da Formação Solimões e dos terraços Holocênicos adjacentes. Seus valores de pH são superiores a de outros rios de águas brancas da Amazônia como o Solimões, o Amazonas e o Madeira (Figura 28). O rio Moa apresenta valores de pH intermediários entre os da águas brancas e os de águas claras, por exemplo, o Trombetas com pH igual a 6,2, conforme dados de Guyot *et al.* (1996).

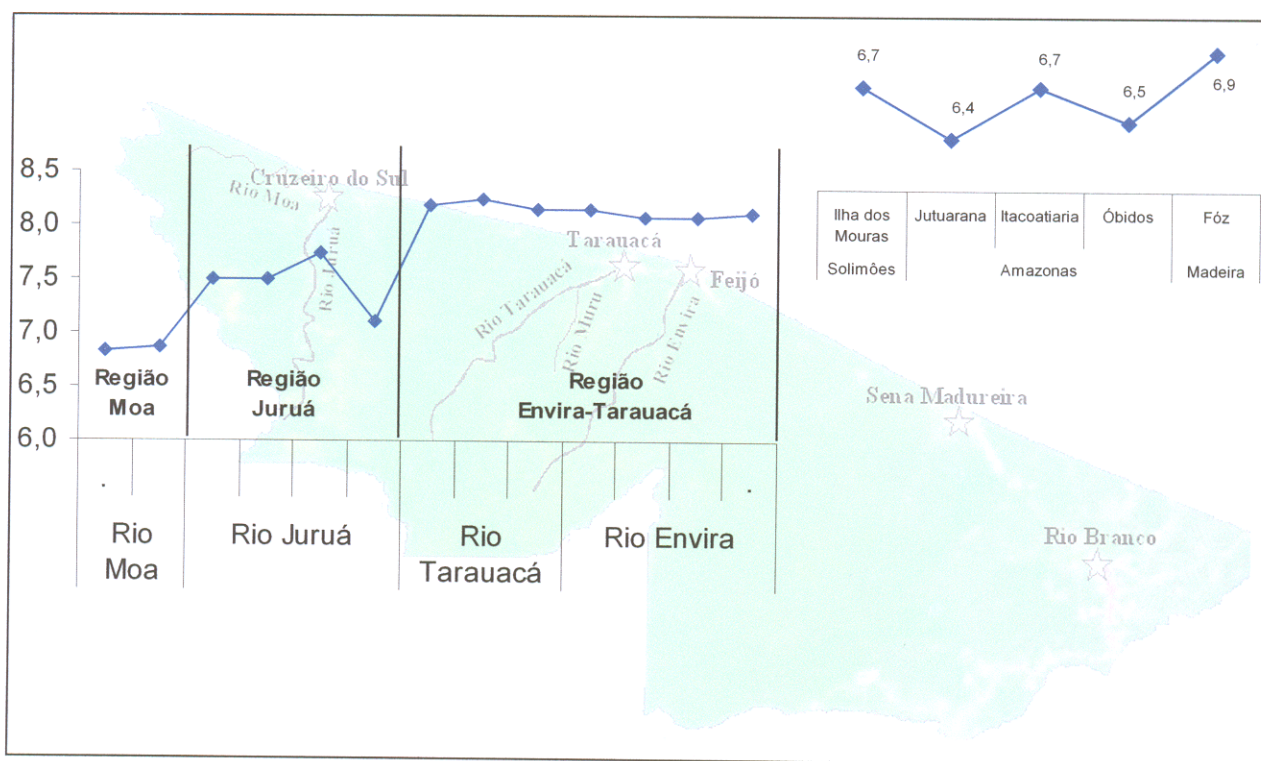


Figura 27: Distribuição areal dos valores de pH nas águas dos rios da bacia do Juruá separados por sub-bacias, comparados com dados de pH das águas dos rios Solimões, Amazonas e Madeiras, extraídos de Guyot *et al.* (1996).

Tabela 9: Parâmetros físico-químicos das águas dos rios da bacia do Juruá.

Rios	Amostras	pH	OD (mg/L)	Temp. (°C)	Cond. (mS)	TDS (mg/L)	Resis. (mh)	Sal. (g/L)
Moa	A-09	6,83	6,40	26,20	0,02	14,75	0,04	0,30
	A-10	6,87	7,20	26,70	0,03	15,08	0,04	0,30
	A-07	7,50	8,02	27,00	0,17	99,40	0,01	0,40
	A-11a	7,50	8,31	28,60	0,21	128,80	0,00	0,40
	A-11b	7,74	9,69	28,80	0,22	129,40	0,00	0,40
Juruá	A-08	7,11	6,65	26,10	0,02	15,16	0,04	0,30
	A-03	8,19	11,35	29,00	0,23	140,90	0,00	0,40
	A-04	8,24	11,40	28,90	0,42	250,00	0,00	0,50
Tarauacá	A-05	8,14	10,98	28,90	0,21	127,00	0,00	0,40
	A-01a	8,15	9,80	29,60	0,54	329,00	0,00	0,50
	A-01b	8,08	9,49	29,40	0,48	287,00	0,00	0,50
	A-02a	8,08	10,14	30,40	0,54	335,00	0,00	0,50
Envira	A-02b	8,11	9,54	29,30	0,54	327,00	0,00	0,50

6.2.3 Oxigênio dissolvido (OD)

Os valores de oxigênio dissolvido nas águas variam de 6,4 mg/L a 11,4 mg/L, apresentando média de 9,15 mg/L (tabela 9). O rio Moa é o que apresenta os menores valores de OD (6,4 e 7,2), e a região dos rios Envira e Tarauacá apresenta os maiores valores (Figura 29), em um padrão de distribuição similar aos valores de pH. Os valores de OD medidos encontram-se bem acima de 2,0 mg/L já considerados adequados à vida aquática.

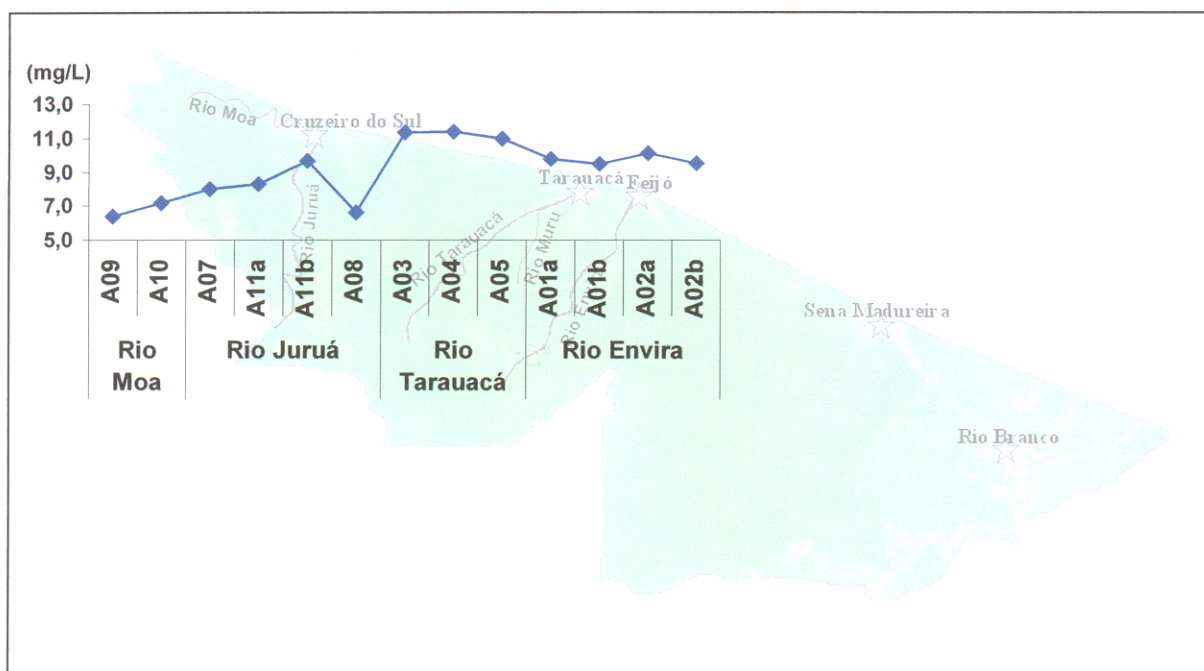


Figura 28: Distribuição areal de oxigênio dissolvido nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.

6.2.4 Temperatura

A temperatura das águas dos rios apresenta valores entre 26,1 a 30,4°C (média: 28,38 °C) (tabela 9). O rio Moa novamente representa a exceção, com os menores valores (variação: 26,2 a 26,7) (Figura 30). A temperatura mais baixa do rio Moa reflete possivelmente o quase completo sombreamento pela floresta densa circunvizinha. As temperaturas mais elevadas foram observadas nos rios Envira e Tarauacá. Em termos gerais observa-se um paralelismo entre os valores de pH, OD e temperatura das águas dos rios estudados. Sendo a temperatura do ar nas primeiras horas do dia (até 8h da manhã) em torno de 17 °C, a temperatura média das águas dos rios aqui estudados excede em média 11 °C a temperatura do ar. A temperatura mais elevada das águas dos rios em relação ao ar acima deles produz a transferência direta de calor (ou transferência de calor sensível) ocorrendo da água para o ar gerando perda de calor, o calor transferido nesse processo vindo de baixo para cima provoca evaporação, saturando o ar de umidade próximo à lâmina d'água do rio, produzindo neblina próximo

ao leito do rio nas primeiras horas do dia, sendo dissipada com o aumento da temperatura do ar (Figura 31).

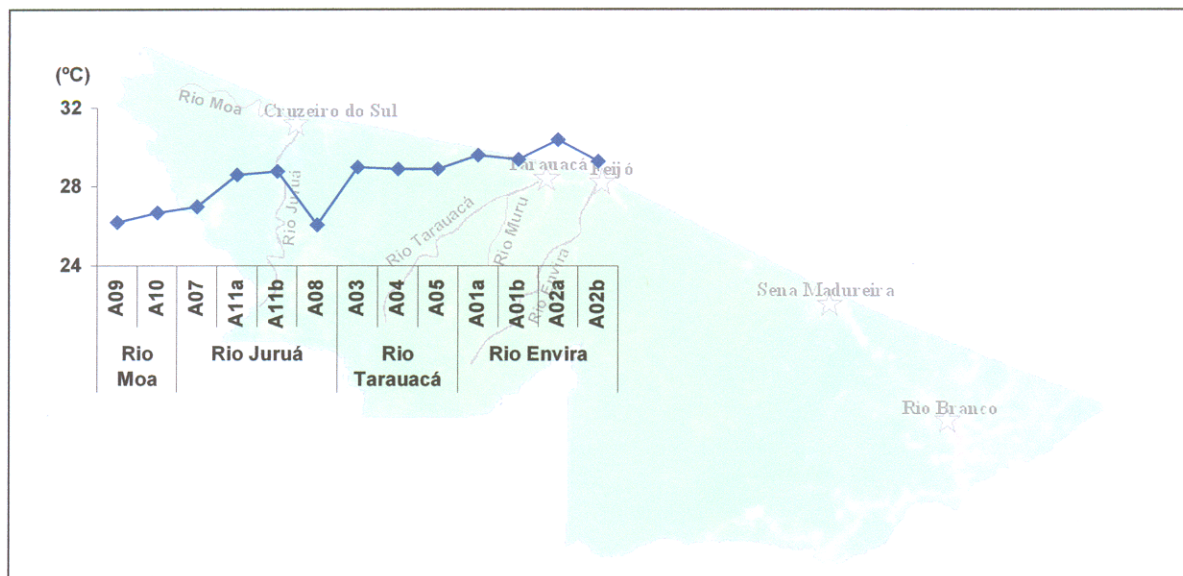


Figura 29: Distribuição areal da temperatura nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.

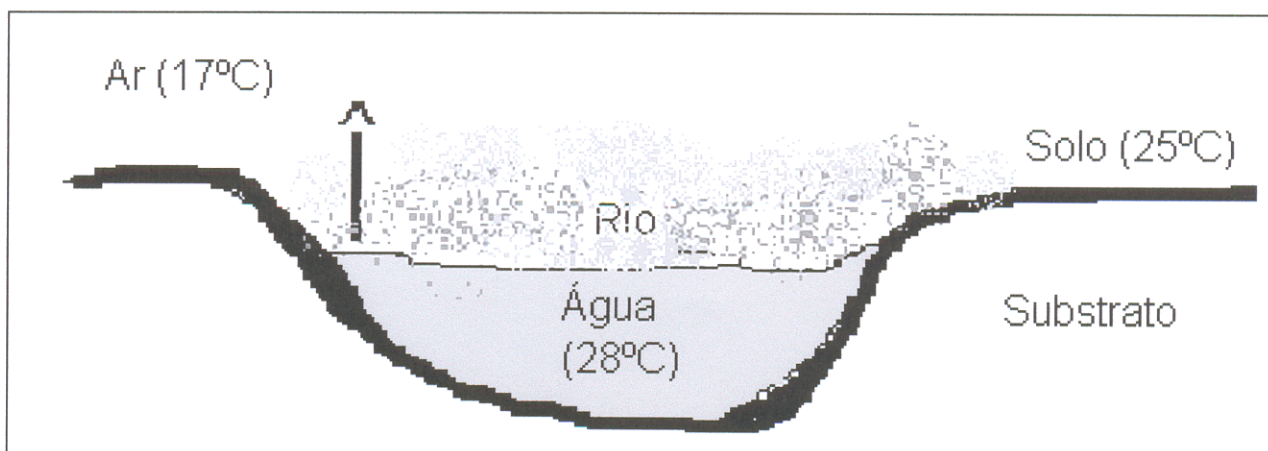


Figura 30: Transferência de calor (Q) e formação de neblina às proximidades do leito do rio devido à diferença de temperatura da água e do ar, nas primeiras horas do dia.

6.2.5 Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) nas águas dos rios apresenta variação entre 0,02 MS e 0,54 MS (média: 0,28 MS) (tabela 9). Os menores valores encontram-se no rio Moa e na amostra A08 do rio Juruá, e os maiores no rio Envira (Figura 32). A condutividade elétrica é uma expressão da concentração de íons nas águas, e a análise

de dos íons cloreto e amônia nas águas destes rios mostra maior concentração destes no rio Envira em relação ao rio Moa (Figura 33), o que está em conformidade com os dados de CE medidos nos rios Envira e Moa.

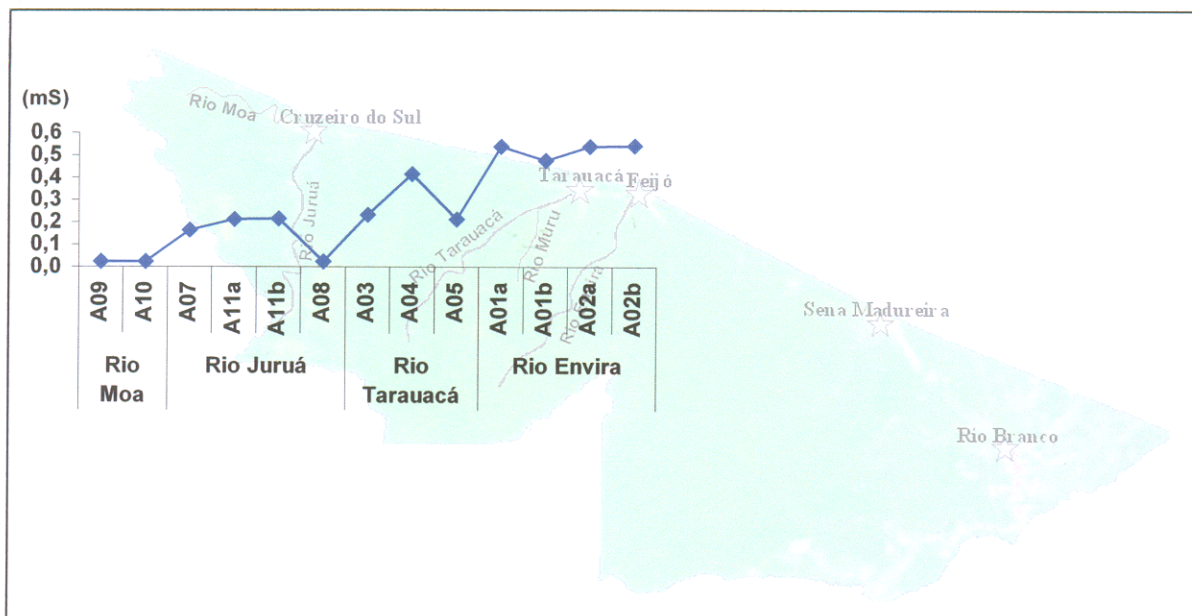


Figura 31: Distribuição areal da condutividade elétrica (CE) nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.

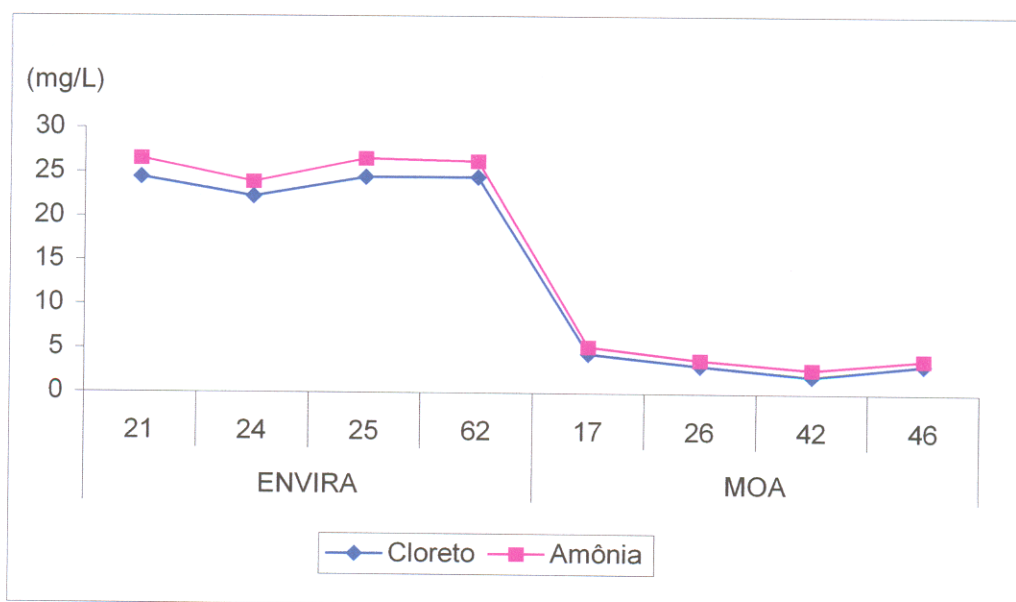


Figura 32: Variação da concentração de cloreto e amônia nas águas dos rios Envira e Moa.

6.2.6 Resistividade

Os valores de resistividade estão abaixo do limite de detecção para a maioria dos rios amostrados (tabela 9), excetuando-se as amostras do rio Moa e a amostra A07 do rio Juruá (Figura 34). O rio Moa apresenta valores em torno de $0,04 \mu\Omega$. Os maiores valores de resistividade comportam-se, inversamente, àqueles de CE encontrados no rio Moa, indicando sua pobreza em sais, íons dissolvidos.

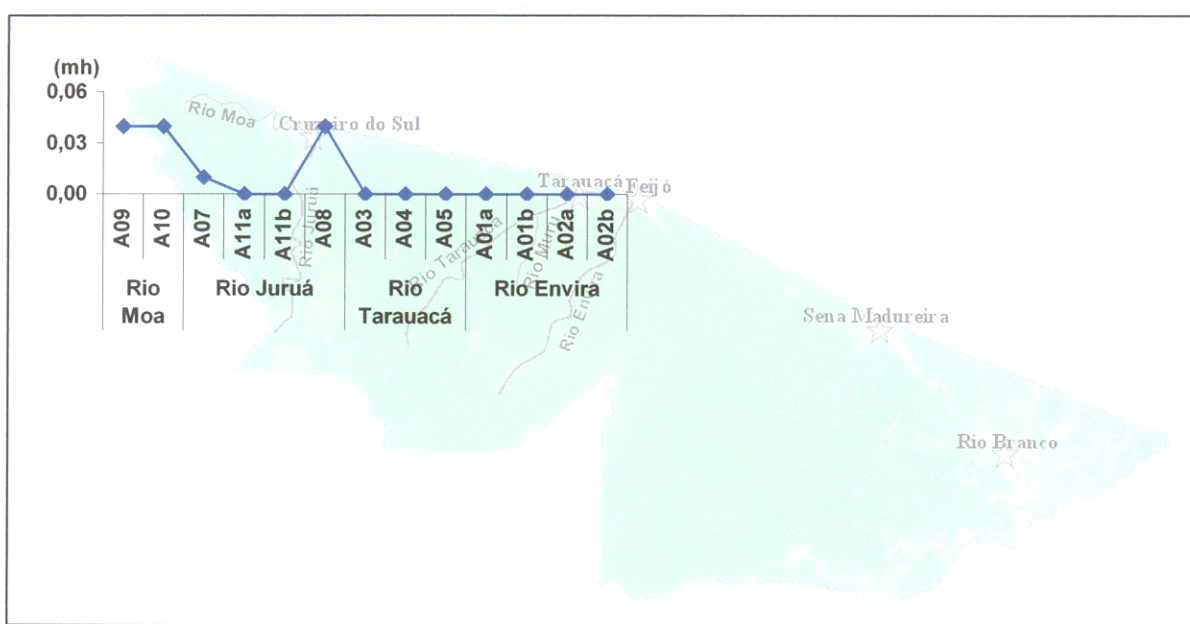


Figura 33: Distribuição areal da resistividade nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.

6.2.7 Total de sólidos dissolvidos (TDS)

Os valores de TDS variam entre $14,75 \text{ mg/L}$ e $335,00 \text{ mg/L}$ (média: $169,11 \text{ mg/L}$) (tabela 9), ou seja, apresentam uma grande variação de valores entre os rios amostrados. As águas do rio Envira apresentaram os maiores valores, enquanto as do rio Moa e a amostra A08 do rio Juruá os mais baixos (Figura 35). Os valores de TDS se correlacionam também com o pH, OD, temperatura e CE, (Figuras 28, 29, 30 e 32).

A menor quantidade de TDS no rio Moa reflete o seu vale instalado em seu médio curso em ampla área de planície de inundação, com barrancos de sedimentos holocênicos, formados principalmente por caulinita e quartzo, ao contrário dos demais que apresentam seus vales esculpidos dentro da Formação Solimões com sedimentos contendo quartzo, feldspatos (k-feldspato e albita) e argilominerais (esmectita, illita e caulinita)

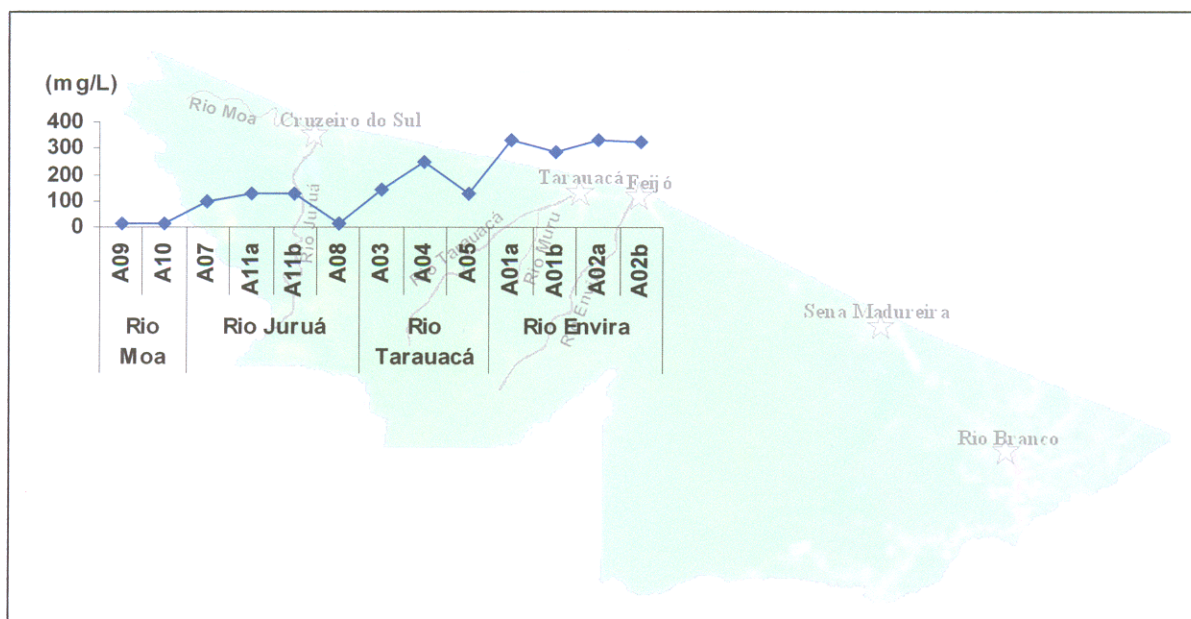


Figura 34: Distribuição areal do TDS nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.

6.2.8 Salinidade

Os valores de salinidade variam entre 0,3 g/L e 0,5 g/L com média de 0,42 (tabela 9), sendo mais baixos no rio Moa e mais altos no rio Envira e na amostra A04 do Tarauacá (Figura 36). Da mesma forma como OD, T, TDS, CE, a salinidade se relaciona com o pH nas águas dos rios estudados.

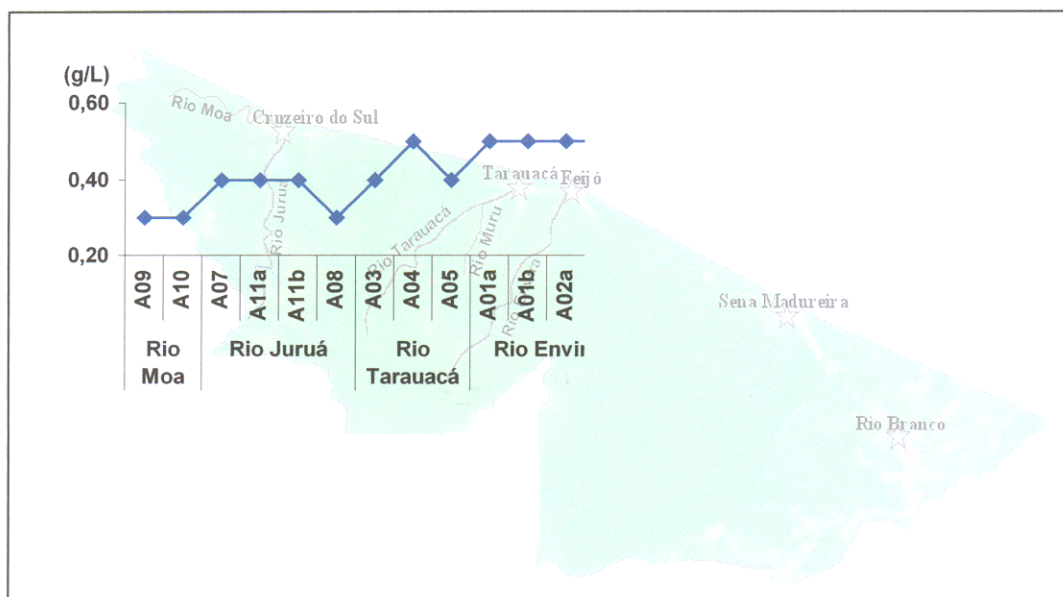


Figura 35: Distribuição areal da salinidade nas águas dos principais rios da bacia do Juruá.

6.2.9 Discussão

De um modo geral as águas dos rios aqui estudadas, bacia do Juruá, são de água branca, barrenta, dada pela alta concentração de material em suspensão (suspensato) que têm as suas espécies mineralógicas similares às encontradas nos sedimentos de praias. As características dos suspensatos e parâmetros físico-químicos permitem delimitar três zonas geográficas (sub-bacias): rios Envira-Tarauacá (em parte Muru); o próprio Juruá; e o rio Moa. A sub-bacia rios Envira-Tarauacá (Muru) se caracteriza por apresentar os valores mais altos de todos os parâmetros analisados, exceto resistividade, enquanto a do Juruá apresenta valores intermediários e a do rio Moa os mais baixos. A área da sub-bacia Envira-Tarauacá(Muru) coincide com a área de terras mais férteis do estado do Acre (ZEE, 2000), que englobam os municípios de Feijó, Tarauacá e Jordão conforme a Figura 37.

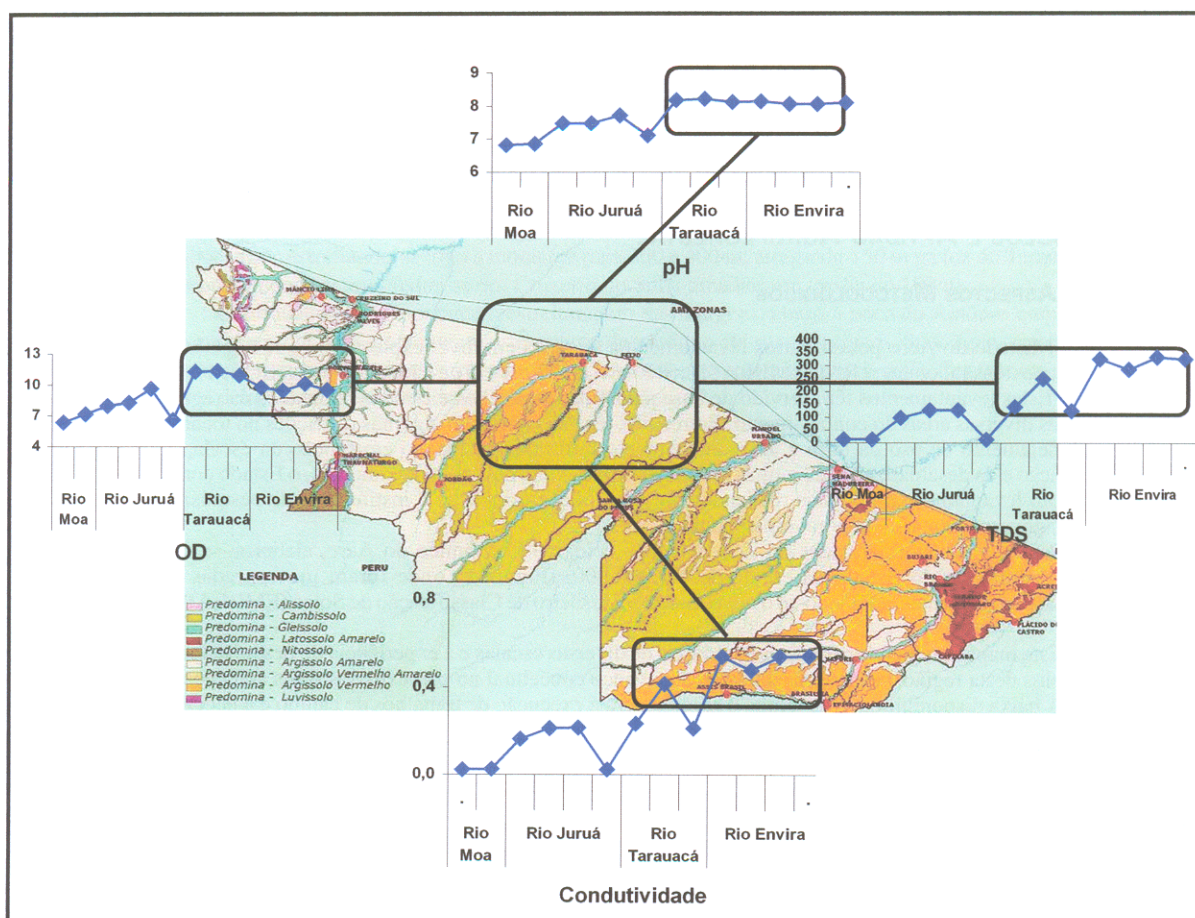


Figura 36: Variação dos parâmetros físico-químicos nas águas dos principais rios do Acre e correlação pedológica.

6.3 VEGETAIS

6.3.1 Composição química das folhas

6.3.1.1 Macronutrientes

Dos elementos analisados nas folhas de capim canarana, capim de orvalho, milho e feijão o elemento químico K foi o que apresentou maior concentração, seguido de S, enquanto Ca, Mg e P apresentaram valores intermediários, Na, Al e Ti estão em valores muito baixos (tabela 10).

Tabela 10: Distribuição das concentrações de elementos químicos em folhas de gramíneas (capim canarana e capim de orvalho), milho e feijão amostrados ao longo dos principais rios da bacia do Juruá.

	Rios do Acre									Macronutrientes 1	
	Juruá		Tarauacá		Envira		Juruá			Gramínea	Feijão
	Canarana	Orvalho	Canarana	Orvalho	Canarana	Orvalho	Milho	Feijão	Feijão #		
K	2,72	2,3	3,34	2,32	3,69	3,66	3,5	1,44	2,3	1,3	2,25
S	1,56	0,52	1,01	0,7	1,17	0,92	0,23	0,63	-	0,15	0,75
Ca	0,9	0,31	0,19	0,49	0,86	0,6	0,51	0,53	3,75	0,45	1,75
Mg	0,38	0,12	0,23	0,13	0,36	0,15	0,16	0,15	-	0,15	0,55
P	0,34	0,23	0,31	0,26	0,32	0,33	0,31	0,22	-	0,1	0,25
Fé	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,28	0,015	0,03
Na	0,01	0,02	0,01	0,02	0,16	0,02	0,01	0,02	0,14	-	-
Al	0,01	*	*	0,02	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-
Ti	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	-	-	-

*: abaixo do limite de detecção; -: não analisados; #: análise neutrônica; 1 Malavolta, 1992.

As folhas de capim canarana mostram-se mais ricas em K, S, Ca, Mg e P do que as folhas de capim de orvalho, com exceção do Ca no rio Tarauacá, mais rico nesta gramínea (tabela 10 e Figuras 38 e 39 a e b).

O capim de orvalho mais rico em K, S, Ca, Mg e P foi encontrado nos sedimentos de praia do rio Envira, enquanto a canarana mais rica nestes elementos foi encontrada tanto no Juruá como no Envira, com exceção do K, concentrado apenas na canarana do rio Envira (Figura 39 a e b).

As amostras de folhas de milho coletadas apenas no rio Juruá, da mesma forma como capim canarana e capim de orvalho, contém principalmente K, S, Ca, Mg e P, em ordem de grandeza comparável com o capim de orvalho (tabela 10).

Quando normalizados em diagramas ternários (Ca-K-P, K-P-S e K-Mg-S) (Figura 40) o capim canarana e o capim de orvalho se mostram quimicamente similares, excetuando apenas a canarana do rio Juruá, que tende a enriquecer-se mais em Ca e S. Os sedimentos são em média mais ricos em Ca extraível.

Os dados para folhas de feijão, obtidos por ativação neutrônica, em níveis mais elevados, não são representativos e ressaltam principalmente as concentrações de Ca e K (tabela 10).

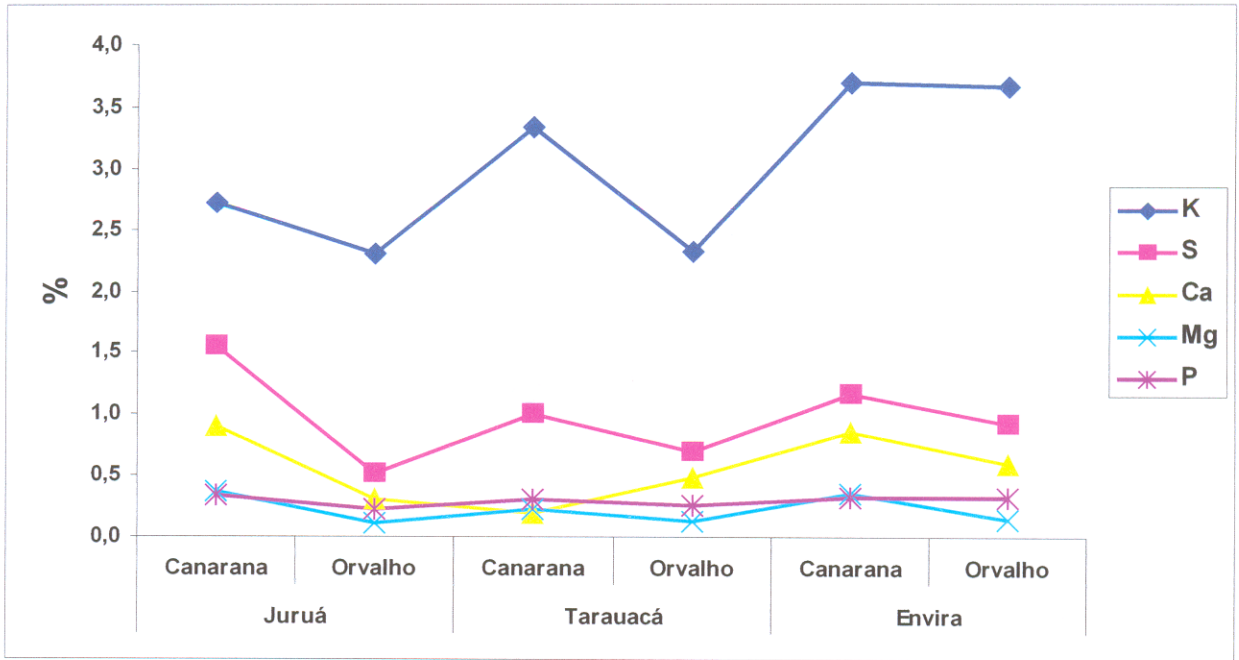


Figura 37: Distribuição de elementos químicos em vegetais nos principais rios da bacia do Juruá.

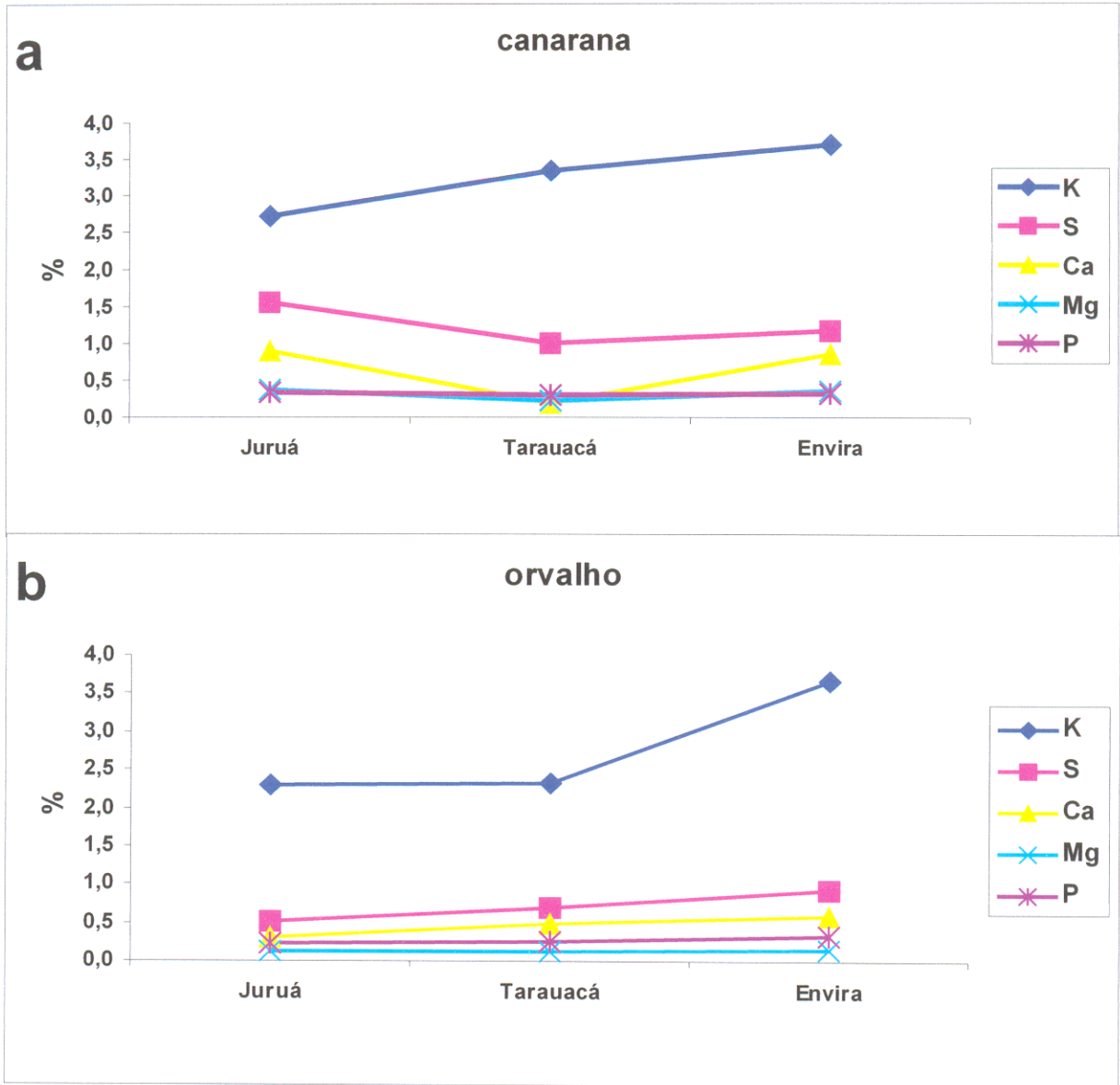


Figura 38: Distribuição de elementos químicos em folhas de gramíneas: a)capim canarana b) capim de orvalho, nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.

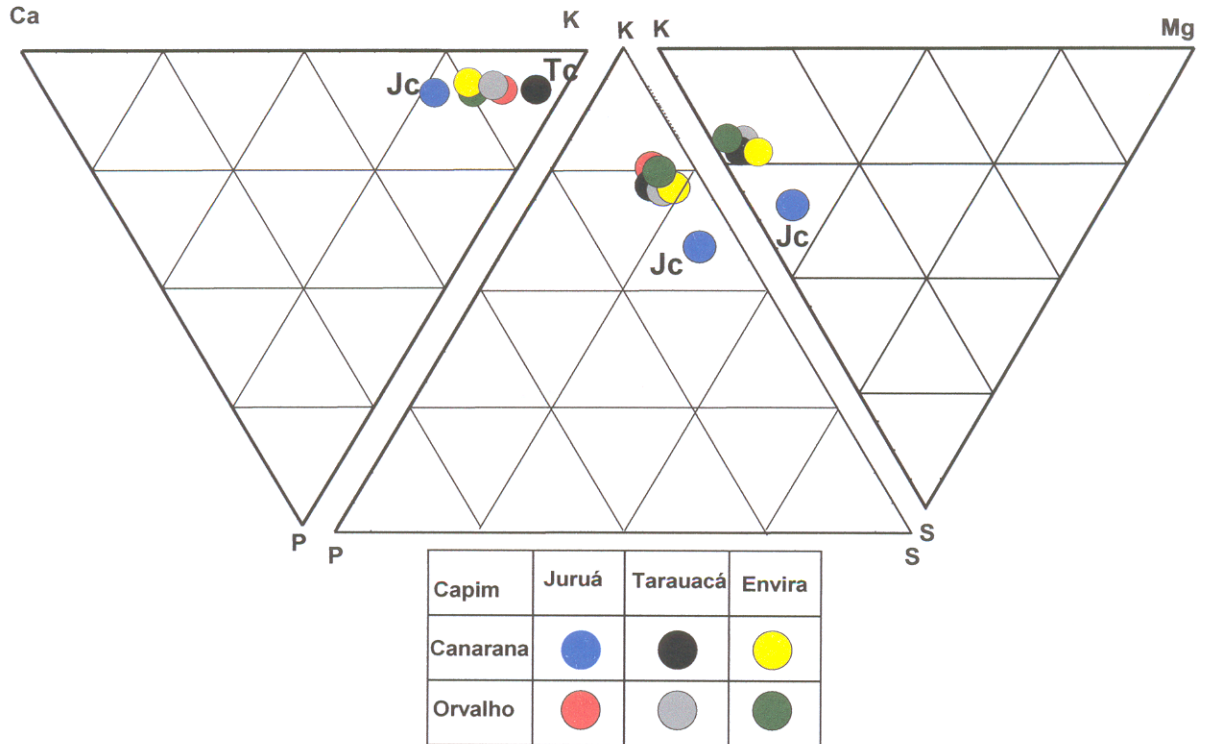


Figura 39: Distribuição das concentrações de K, P, S, Ca e Mg em capim canarana e capim de orvalho nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.

Quando comparados com os dados de Malavolta (1992) (tabela 10) verificou-se que tanto capim de orvalho como capim canarana no Acre encontram-se enriquecidos em K, S e P (Figura 41 a e b), especialmente S e P.

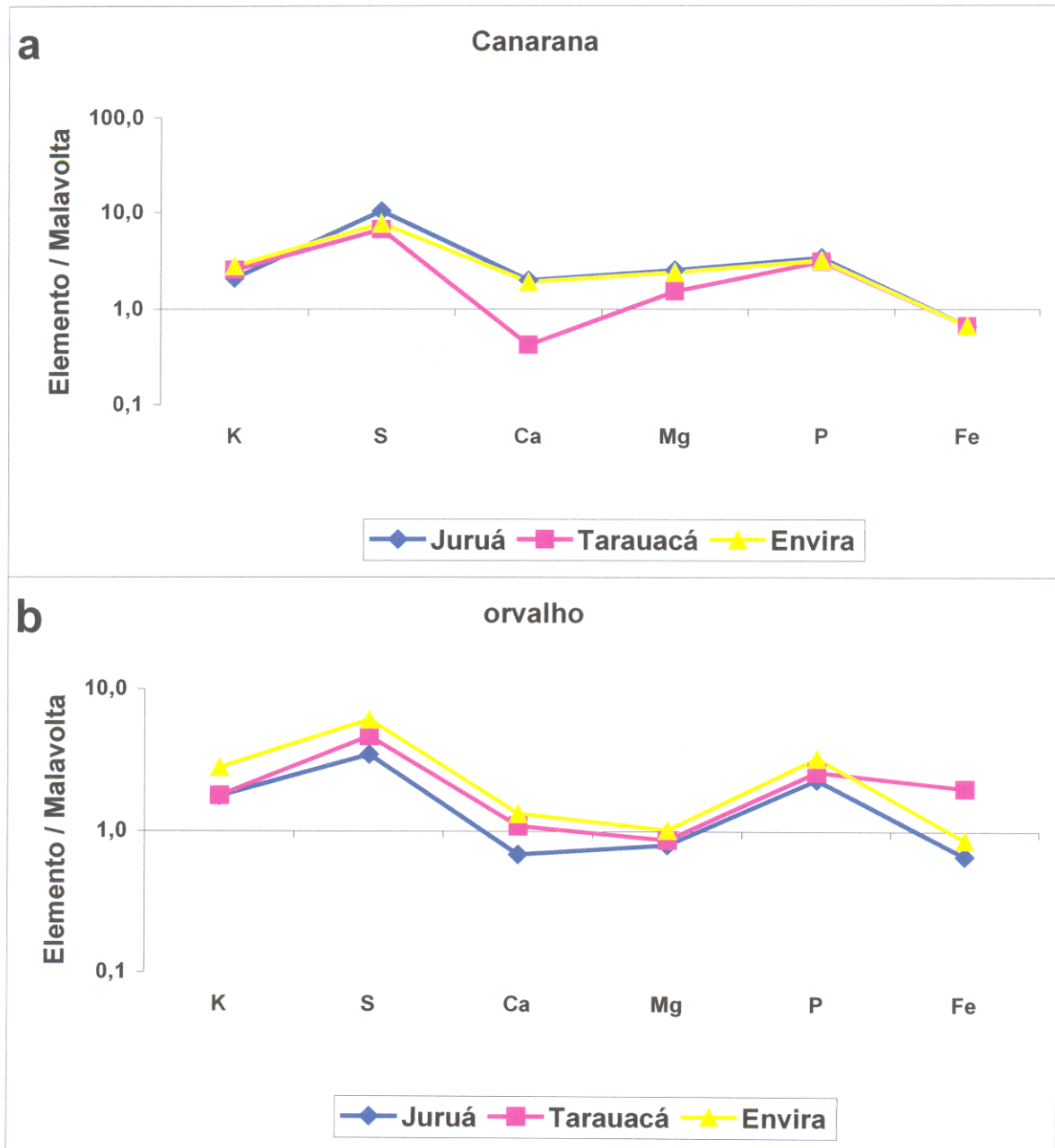


Figura 40: Normalização de macronutrientes em folhas de gramíneas, com base nos dados de Malavolta (1992), nos rios Juruá, Tarauacá e Envira: (a) capim canarana (b) capim de orvalho.

Portanto, esses resultados indicam que possivelmente os sedimentos de praia do rio Envira e em parte do rio Juruá devem ser mais ricos em K, (S), P, Ca e Mg (Figuras 42 e 43). As análises químicas para K e Ca dos sedimentos de praia dos rios Envira, Tarauacá e Juruá (tabela 10) mostram que são igualmente de fato ricos em K e Ca (Figura 44). Infelizmente, o S não foi analisado nos sedimentos. Em três amostras

coletadas dos sedimentos dos três rios investigados, onde foram feitas análises totais (Figura 45a) e extração parcial (Figura 45b) verificou-se que K e Ca totais distribuem-se igualmente nos três rios, enquanto os valores de extração parcial estão mais concentrados nos rios Tarauacá e Juruá, ou seja, K e Ca estão mais disponíveis nos sedimentos destes rios.

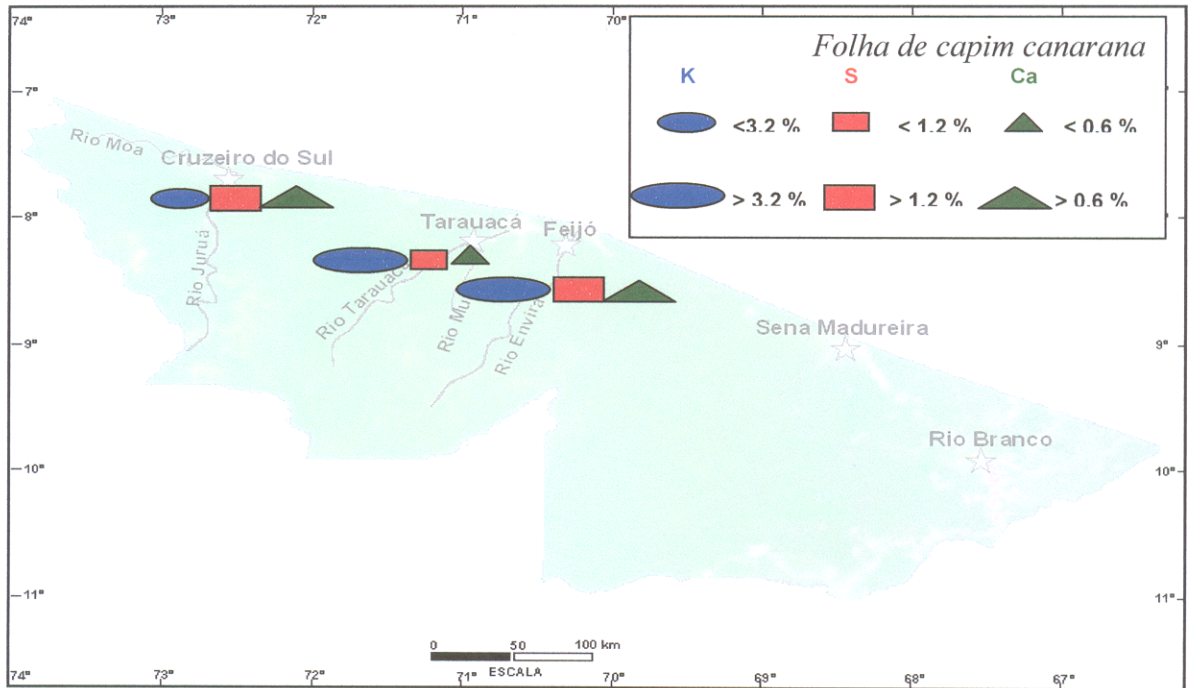


Figura 41: Distribuição das concentrações de K, S e Ca em folhas de capim canarana nos principais rios da bacia do Juruá.

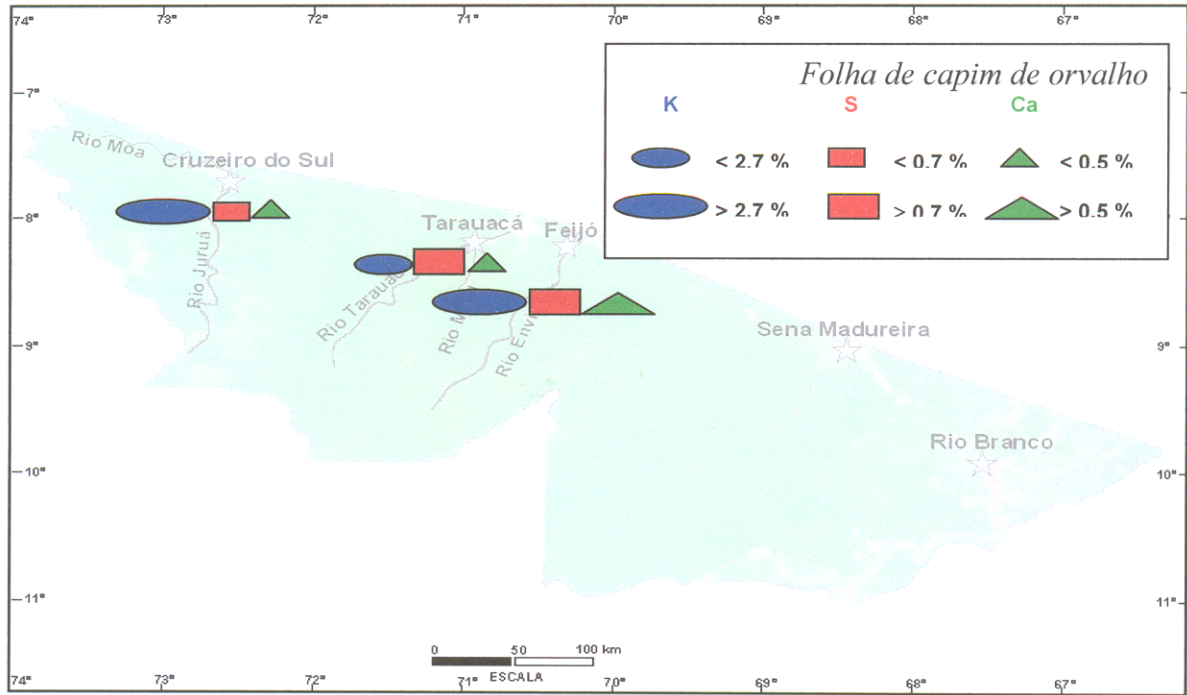


Figura 42: Distribuição das concentrações de K, S e Ca em folhas de capim de orvalho nos principais rios da bacia do Juruá.

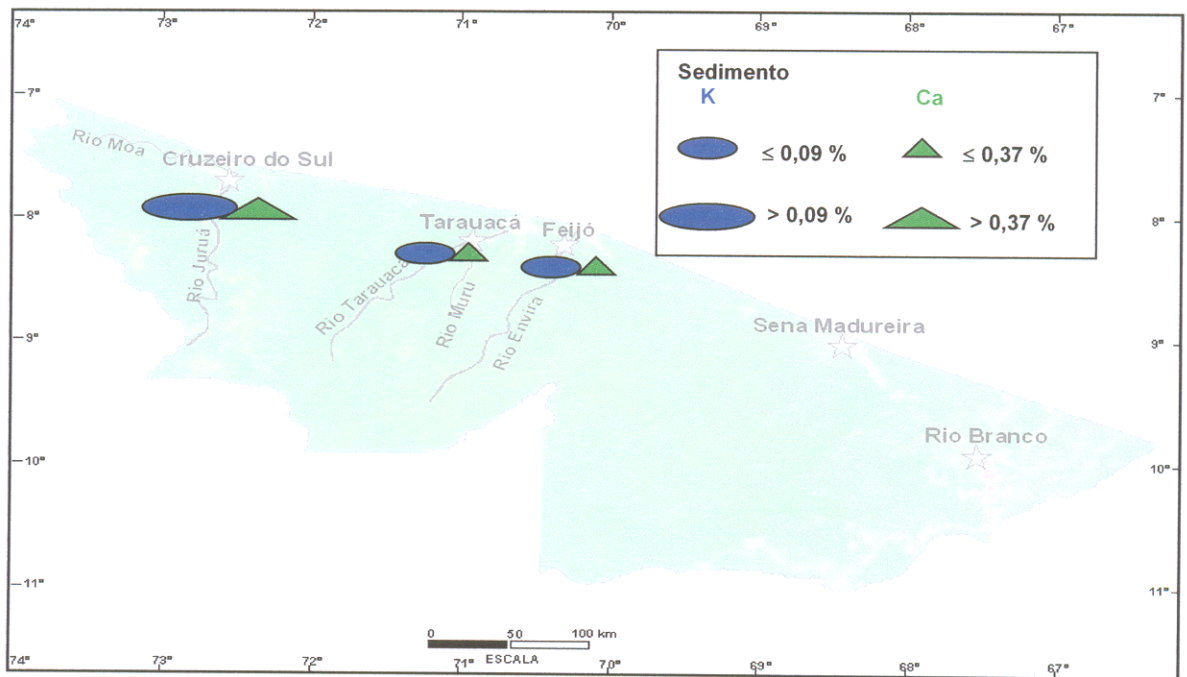


Figura 43: Distribuição das concentrações de K e Ca em sedimentos dos principais rios da bacia do Juruá.

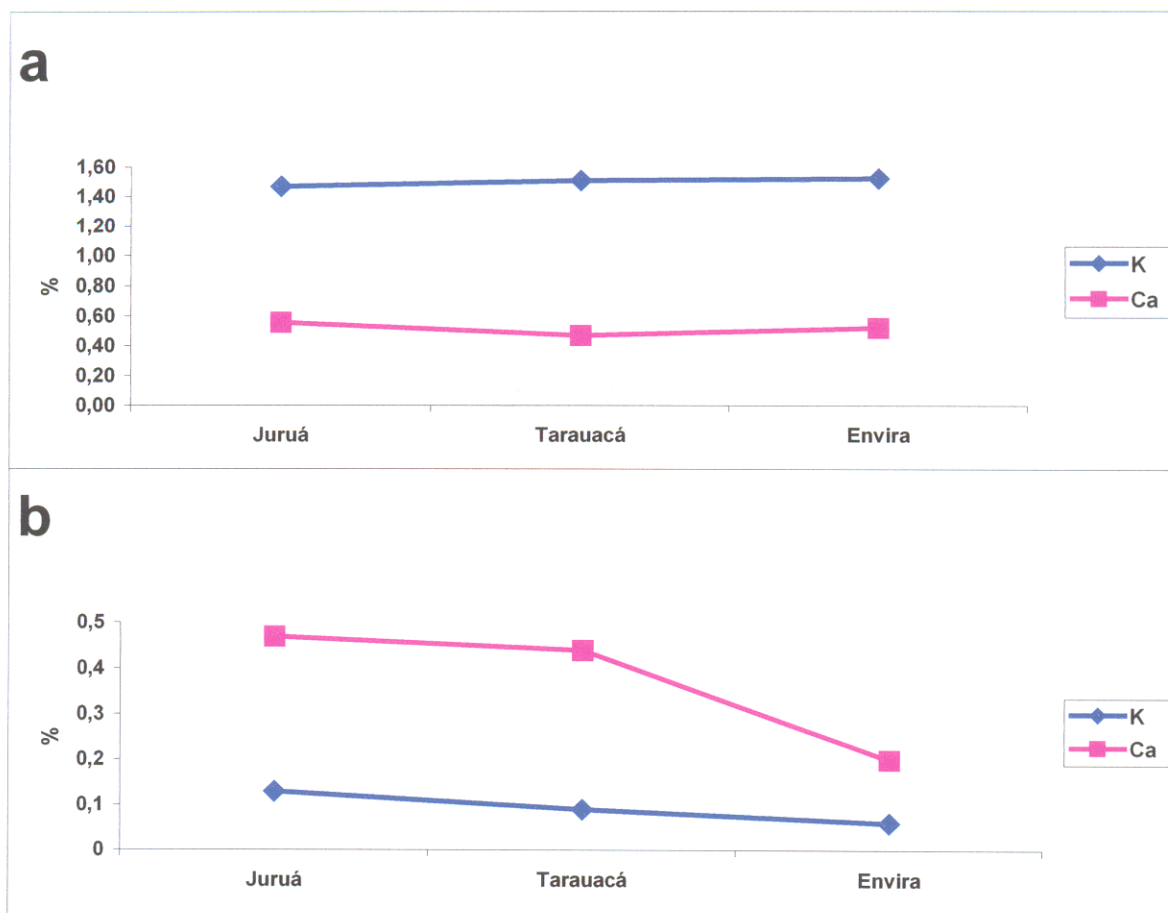


Figura 44: Distribuição K e Ca em sedimentos dos rios Juruá, Tarauacá e Envira: (a) análise total (b) extração parcial.

6.3.1.2. Transferência química de macronutrientes solo-planta

A indicação do nível de transferência de elementos químicos do solo para os cultivares pode ser obtida pela razão entre as concentrações de determinado elemento no vegetal e a concentração deste no substrato de cultivo, denominada de Coeficiente de Absorção Biológica – CAB (Kabata-Pendias, 1984 apud Lee *et al*, 1998¹).

A tabela 11 mostra o CAB para os macronutrientes K, P, Ca e Mg nas folhas de capim canarana e capim de orvalho encontrados nos sedimentos de praia dos rios Juruá, Tarauacá e Envira. O potássio e o fósforo foram os elementos químicos que

¹ LEE, J. S.; CHON, H. T., KIM, K., W. 1998. Migration and dispersion of trace elements in the rock-soil-plant system in areas underlain by black shales and slates of the Okchon Zone, Korea. Journal of Geochemical Exploration. 65. 61-78.

apresentaram maiores valores de CAB, seguidos de Ca e Mg (Figura 46). A maior incidência de transferência destes elementos ocorreu principalmente para a canarana do rio Envira, e os menores índices nas canaranas do Tarauacá, com exceção do K. O capim de orvalho também mostrou maior CAB para o rio Envira, embora menos contundente. Milho e feijão coletados apenas nos sedimentos de praia do rio Juruá apresentaram os índices de transferência CAB para o rio Juruá similar entre si (Figura 46), mas as análises são pouco representativas.

O CAB encontrado ressalta a importância dos sedimentos do rio Envira como o de maior potencial para transferência de macronutrientes, sendo possivelmente um indicador de sua fertilidade superior a dos demais rios.

Tabela 11: Distribuição do Coeficiente de Absorção Biológica (CAB) para macronutrientes em folhas de gramíneas (capim canarana e capim de orvalho), milho e feijão amostrados ao longo dos principais rios da bacia do Juruá.

CAB	Juruá				Tarauacá		Envira	
	Canarana	Orvalho	Milho	Feijão	Canarana	Orvalho	Canarana	Orvalho
K	20,92	17,69	26,92	11,08	37,11	25,78	61,50	61,00
Ca	1,91	0,66	1,09	1,13	0,43	1,11	4,30	3,00
Mg	1,12	0,35	0,47	0,45	0,92	0,52	2,12	0,90
P	11,72	7,93	10,69	7,72	13,48	11,30	21,33	21,73

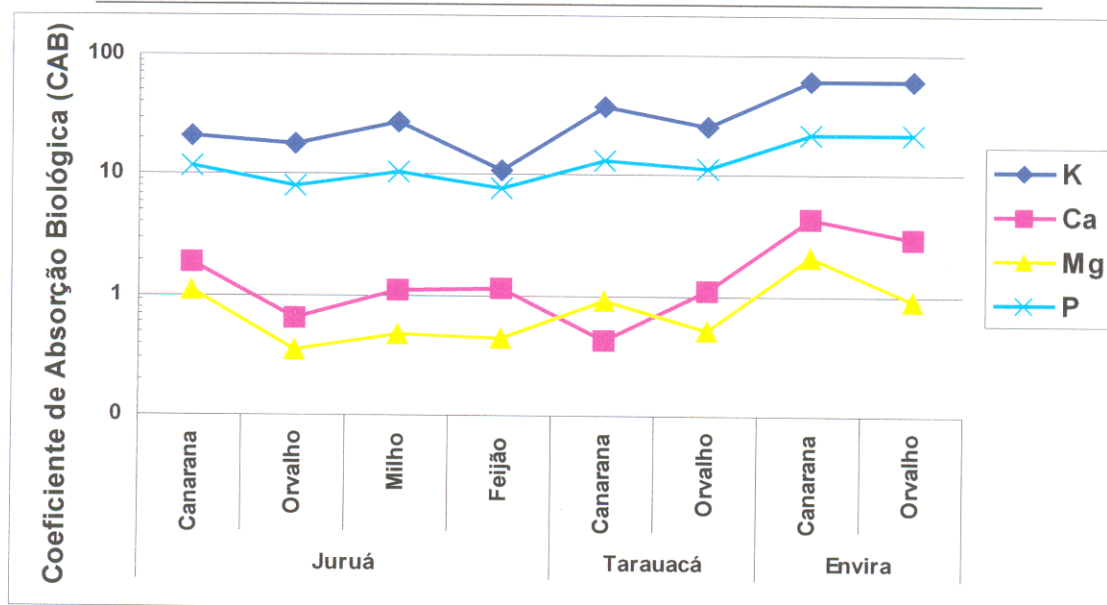


Figura 45: Coeficiente de Absorção Biológica em capim canarana, capim de orvalho e cultivares (milho e feijão) nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.

6.3.1.3. Micronutrientes

Na tabela 12 e nas Figuras 47 e 48 a e b são apresentadas às concentrações de outros elementos analisados em gramíneas e cultivares, incluindo os micronutrientes B, Mn, Cu, Zn e Mo. Nestas observa-se que o Mn é o micronutriente com maior concentração nas gramíneas dos três rios estudados seguido de Zn, Cu, B e por último Mo.

As canaranas também estão mais enriquecidas nestes elementos do que o capim de orvalho, exceto o Mn da canarana do Tarauacá (Figura 48a).

Também é evidente na Figuras 48 (a e b), a diminuição dos teores de Mn, B, Zn e Mo dos rios Juruá para o Envira tanto em capim canarana como em capim de orvalho, enquanto Cu aumenta ligeiramente para o rio Envira.

Tabela 12: Distribuição de elementos químicos em vegetais amostrados nos rios Juruá, Tarauacá e Envira. (continua)

	Juruá			Tarauacá		Envira		Malavolta 1992				
	Milho	Feijão	Feijão #	Canarana	Orvalho	Canarana	Orvalho	Canarana	Orvalho	Gramínea	Milho	Feijão
	Ppm											
B	7,33	5	*	6,67	5	7	4,5	13	4	22,5	17,5	45
Mn	72	88	*	426,3	294,5	77,5	103	226	131	190	100	165
Cu	9,54	4,22	*	8,37	6,12	9,65	7,79	9,05	10,43	10	7,5	15
Zn	20,93	27	53,5	47,4	26,95	40,9	32,95	26,6	30,2	35	32,5	70
Mo	0,77	0,35	—	1,31	0,5	1,15	0,43	0,83	0,44	0,45	0,17	0,45
Rb	27,23	13,1	29	34,17	19,8	28,8	15,7	27,2	10,9	*	*	*
Ba	17,93	32,8	105	9,9	35	6,55	54,55	13,25	53,5	*	*	*
Sr	17,87	21,7	105	28,2	10,85	10,7	13,95	22,5	16,1	*	*	*
Cr	3,24	4,68	3,8	2,86	4,2	2,82	5,21	2,69	4,14	*	*	*
Ni	1,1	1,8	—	0,97	2	1,25	2,55	1,2	1,3	*	*	*
Co	0,2	0,2	1,45	0,37	0,31	0,3	0,37	0,88	0,23	*	*	*
As	0,17	0,6	0,77	0,3	0,3	0,3	0,25	0,35	0,4	*	*	*
Sn	0,22	0,18	*	0,26	0,24	0,3	0,23	0,21	0,33	*	*	*
Sc	0,23	—	0,9	0,17	0,2	0,25	0,25	0,25	0,3	*	*	*
Pb	0,44	0,31	*	0,27	0,26	0,17	0,29	0,16	0,25	*	*	*
Ce	0,32	0,09	6,45	0,21	0,16	0,06	0,4	0,07	0,12	*	*	*
Ge	0,12	0,04	*	0,08	0,07	0,06	0,08	0,08	0,05	*	*	*
La	0,16	0,04	4,3	0,13	0,08	0,05	0,19	0,04	0,07	*	*	*
Cs	0,06	0,02	0,44	0,04	0,01	0,04	0,03	0,04	0,01	*	*	*
Y	0,1	0,03	*	0,09	0,05	0,03	0,14	0,03	0,05	*	*	*
Zr	0,07	0,02	*	0,03	0,02	0,01	0,09	0,03	0,04	*	*	*
Se	0,2	0,1	0,2	0,17	0,15	0,15	0,1	0,2	0,2	*	*	*
Hf	0,002	0,0	1,95	0,003	0,02	0,003	0,004	0,001	0	*	*	*

Tabela 12: Distribuição de elementos químicos em vegetais amostrados nos rios Juruá, Tarauacá e Envira. (conclusão)

Nb	0,02	0,01	*	0,004	0,01	0,004	0,02	0,02	0	*	*	*
Li	0,14	0,11	*	0,01	0,23	0,01	0,2	5,17	0,19	*	*	*
Ta	–	–	0,085	–	–	0,001	0,02	0,001	–	*	*	*
Th	0,04	0,01	1	0,02	0,01	0,01	0,05	0,02	0,02	*	*	*
Cd	0,09	0,01	*	0,08	0,12	0,05	0,06	0,08	0,06	*	*	*
Bi	0,02	–	*	–	–	0,03	–	0,02	0,02	*	*	*
U	0,01	–	0,34	–	–	–	0,01	–	–	*	*	*
Sb	–	–	0,1	–	–	–	–	–	–	*	*	*
Tl	–	–	*	–	–	–	0,02	–	–	*	*	*
Ga	0,1	–	*	0,1	–	–	0,1	–	–	*	*	*
Be	0,1	–	*	–	–	–	–	–	–	*	*	*
Te	–	–	*	–	–	–	–	0,02	0,02	*	*	*
Ppb												
Re	–	–	–	–	–	–	–	–	–	*	*	*
Au	14,93	3,7	33,35	15,6	16,7	14,5	17,95	12,55	3,6	*	*	*
Ag	7,26	2	–	6,67	8,5	7,5	8	8	2	*	*	*
Hg	4,67	5	–	4,33	6	4	6,55	2	4	*	*	*

– : Não avaliado; * : Abaixo do limite de detecção; #: análise neutrônica

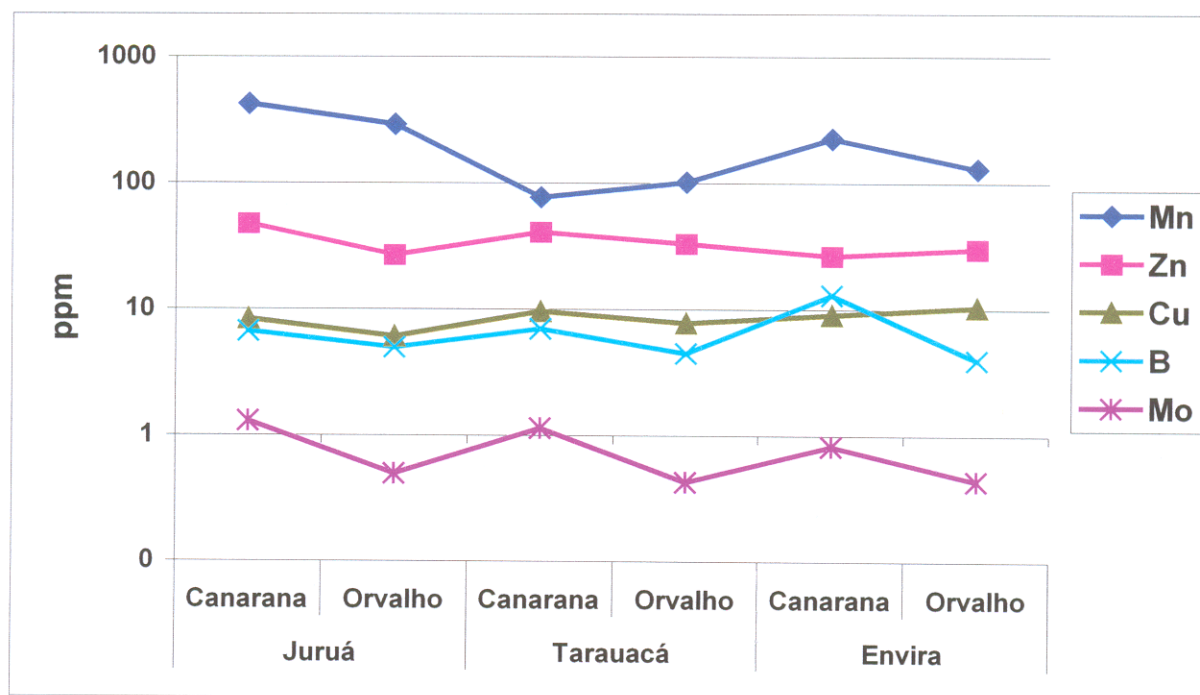


Figura 46: Distribuição comparativa da concentração de micronutrientes em folhas de capim canarana e capim de orvalho coletados nos sedimentos de praia dos rios Juruá, Tarauacá e Envira.

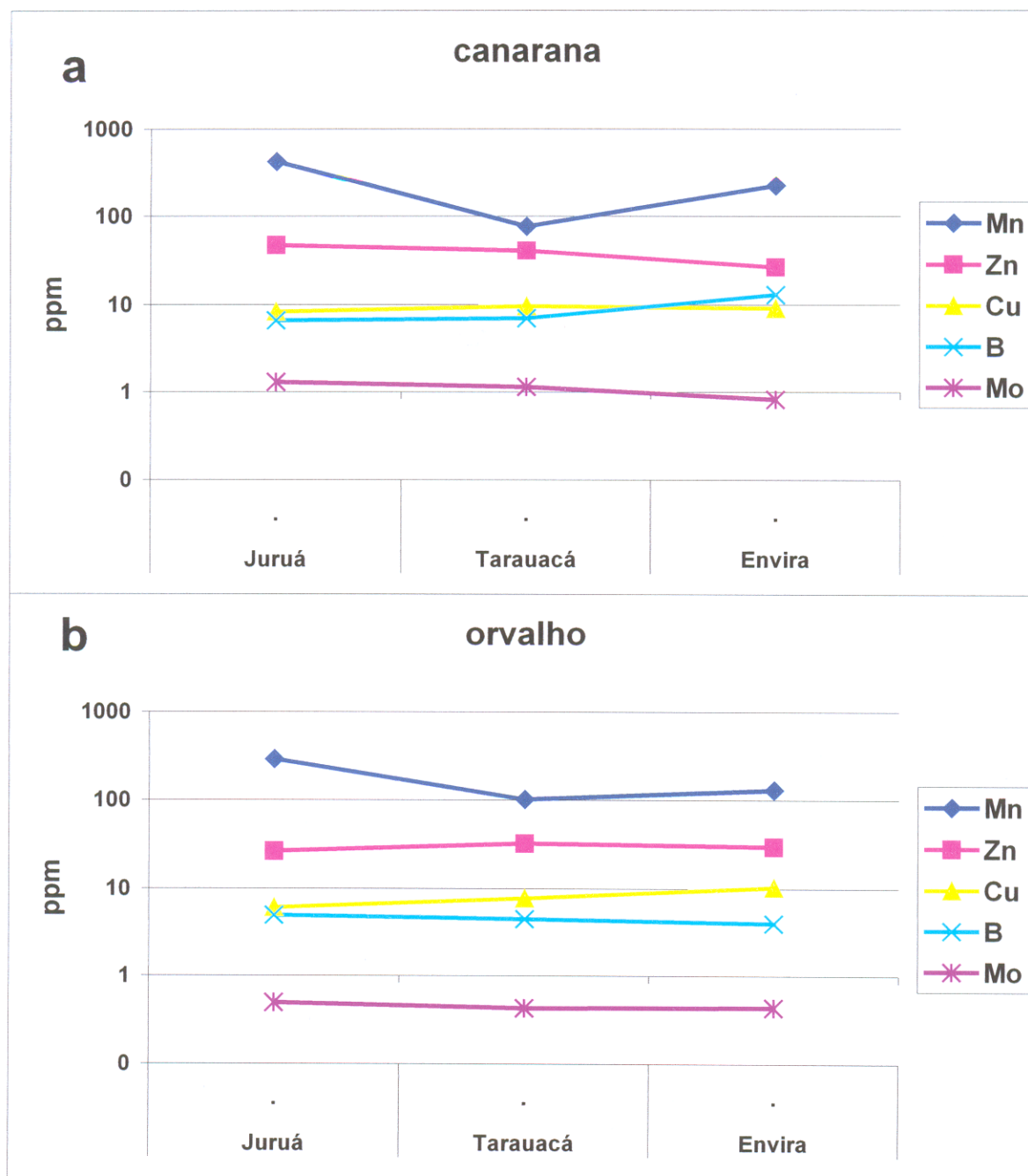


Figura 47: Distribuição da concentração de micronutrientes em gramíneas coletadas nos sedimentos de praia dos rios Juruá, Tarauacá e Envira: (a) capim canarana (b) capim de orvalho

A normalização dos micronutrientes em relação aos dados de suficiência de Malavolta (1992) mostra que apenas Mo e Mn (em parte Zn) apresentaram taxas de transferência superiores à deste autor (Figura 49 a e b) especialmente nas canaranas. Provavelmente os sedimentos de praias do Acre (bacia do Juruá) tem maior disponibilidade de Mn, Mo e mesmo Zn.

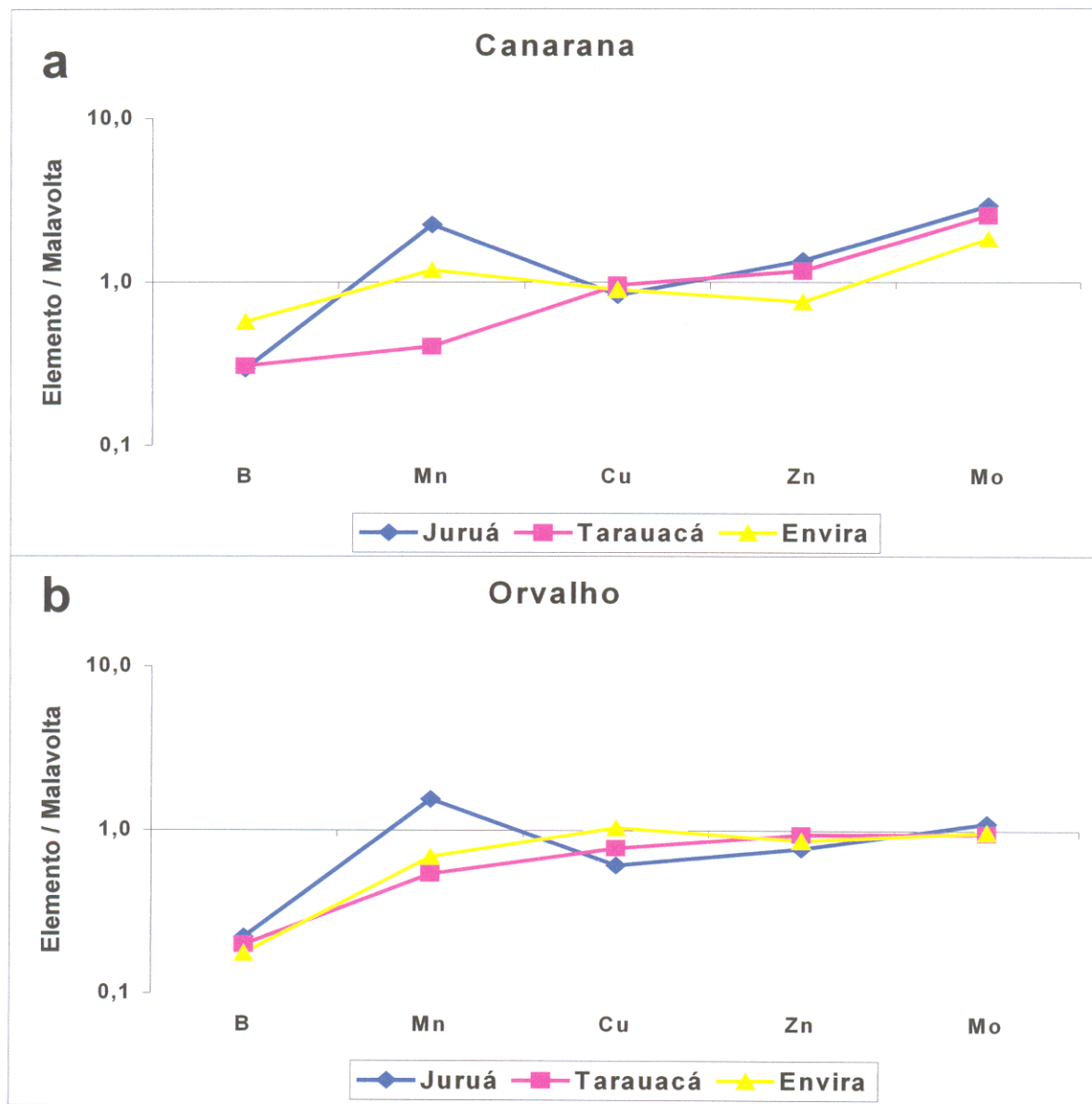


Figura 48: Normalização de micronutrientes em folhas de gramíneas coletadas nos sedimentos de praia dos rios Juruá, Tarauacá e Envira com base nos dados de Malavolta (1992): (a) capim canarana (b) capim de orvalho.

6.3.2 Outros elementos

Além dos micronutrientes clássicos foram analisados outros elementos que ocorrem em níveis de traços, conforme tabela 10. Elementos como Zr, Hf, Nb, Ta, Y, Th, U, Cs, Ge, Sc, Sn, Sb e Bi, que nos solos encontram-se normalmente como minerais refratários (resistatos), estão em valores muito baixos, ou mesmo abaixo do limite de detecção, os elementos qualificados não apresentam qualquer contraste entre as gramíneas.

Os valores de Rb e Sr variam de 10,7 a 34,1 ppm, sendo os de Rb mais elevados na canarana do que no orvalho, exceto no rio Envira. Os teores de Rb diminuem claramente do rio Juruá para o rio Envira, ao contrário do Ba que aumenta nesta direção, estando mais abundante no capim de orvalho, da mesma forma que o cromo, ou seja, Rb e Ba, embora não sendo elementos analisados costumeiramente em plantas, permitem distinguir entre si capim canarana e capim de orvalho (Figura 50).

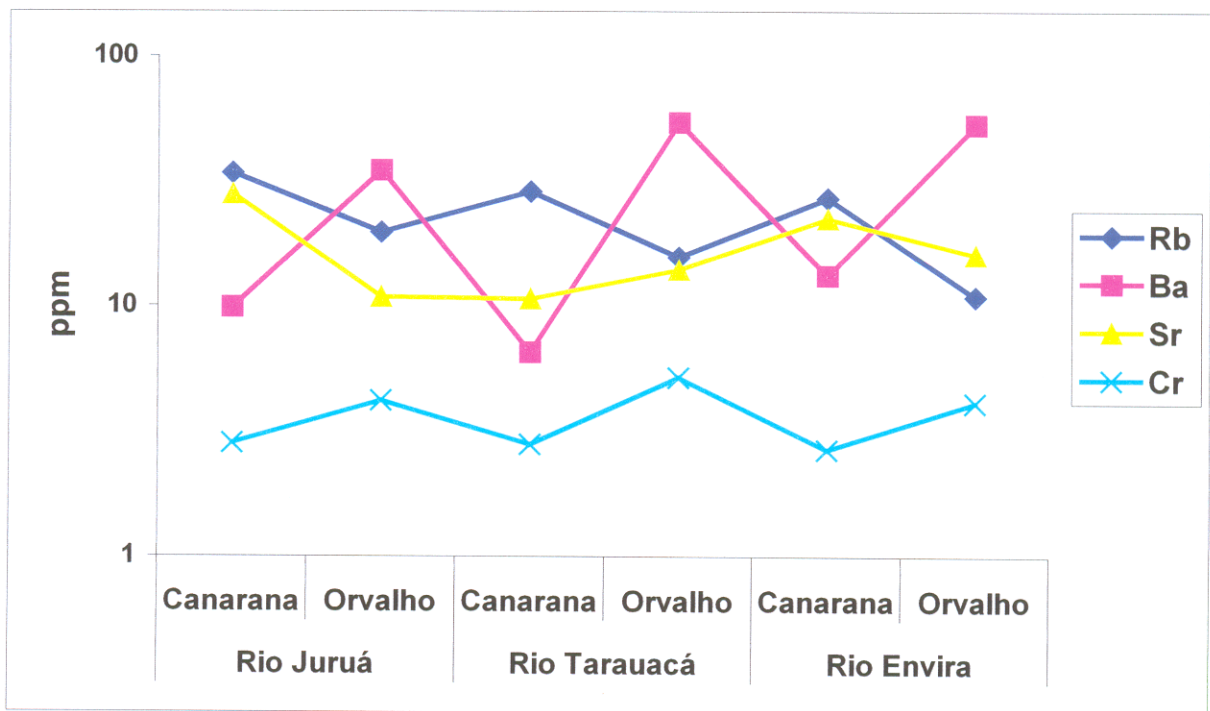


Figura 49: Distribuição de Rb, Sr, Ba e Cr em folhas de capim canarana e capim de orvalho nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.

Os elementos químicos Ni, Co, As, Pb, Ce, La, Hg e Cd (Figura 51), exceto As e Co se concentram preferencialmente no capim de orvalho, com tendência a ligeira diminuição de valores em direção do rio Envira. Au e Ag tem comportamento semelhante entre si, concentrando-se no capim de orvalho, exceto no rio Envira (Figura 51).

O capim de orvalho do rio Envira caracteriza-se, portanto por apresentar as concentrações mais baixas de Rb, Au, Ag, Hg, Mo e Zn; e os teores de Rb e Ba distinguem entre si capim canarana e capim de orvalho, com bário aumentando e rubídio diminuindo em direção ao rio Envira.

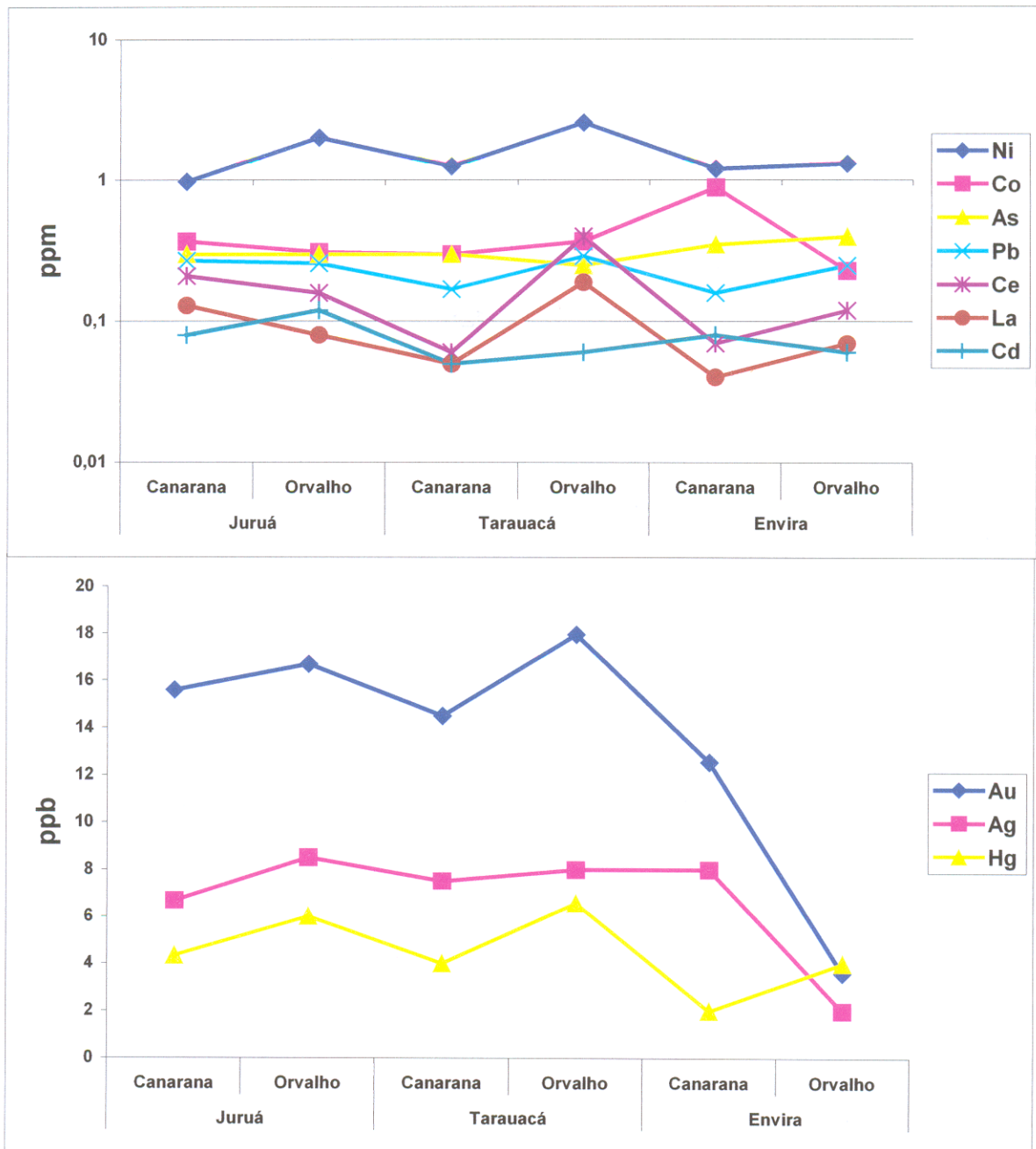


Figura 50: Concentração de elementos químicos em capim canarana e capim de orvalho nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.

6.3.3 Transferência química de micronutrientes solo-planta

Os CAB dos micronutrientes (B, Mo, Mn, Cu e Zn) (tabela 13) indicam maiores índices de transferência para B e Mo em todos os vegetais estudados, com destaque para a canarana, exceto o Mn na canarana do Tarauacá (Figura 52). O CAB do B, Mo e Cu é maior no milho e o CAB do Zn e Mn é maior no feijão, comparáveis aos das gramíneas (capim canarana e capim de orvalho).

Tabela 13: Distribuição do Coeficiente de Absorção Biológica – CAB para micronutrientes em folhas de gramíneas (capim canarana e capim de orvalho), milho e feijão amostrados ao longo dos principais rios da bacia do Juruá.

	Juruá				Tarauacá		Envira	
	Milho	Feijão	Canarana	Orvalho	Canarana	Orvalho	Canarana	Orvalho
B	7,33	5,00	6,67	5,00	3,50	2,25	13,00	4,00
Mo	3,08	1,40	5,24	2,00	7,67	2,87	5,93	3,14
Mn	0,11	0,14	0,68	0,47	0,17	0,22	1,01	0,59
Cu	0,55	0,24	0,48	0,35	0,86	0,69	1,28	1,47
Zn	0,36	0,46	0,81	0,46	0,95	0,77	0,91	1,03

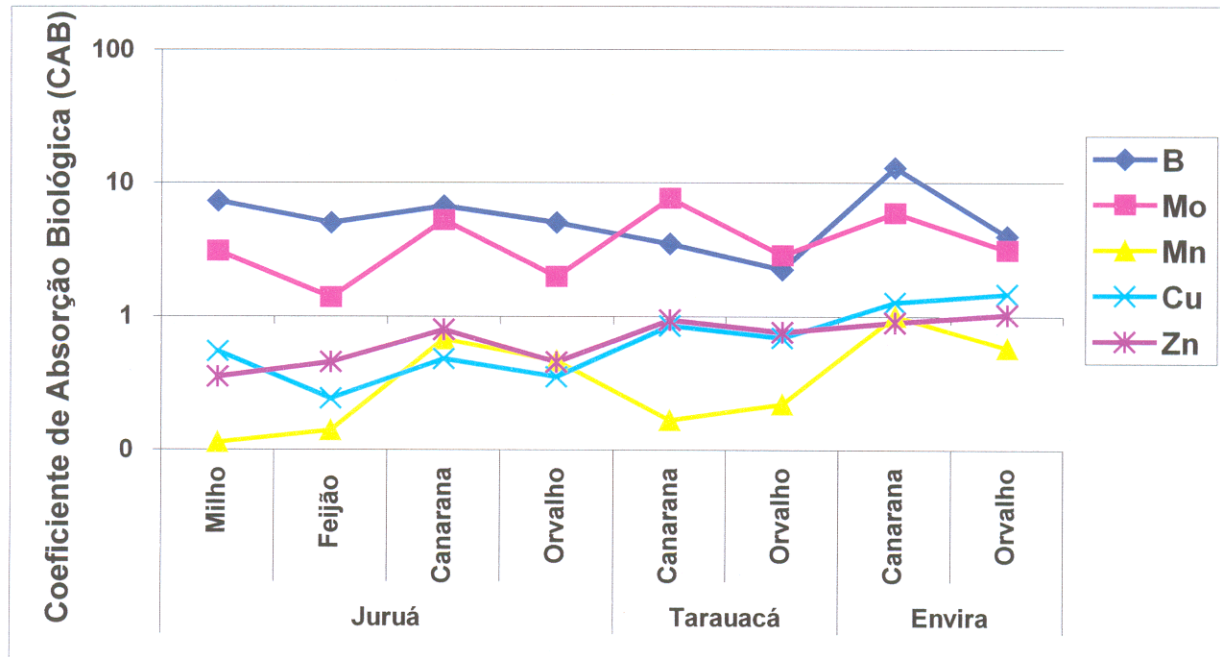


Figura 51: Coeficiente de Absorção Biológica para micronutrientes B, Mo, Mn, Cu e Zn em solo/planta nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.

6.4 As, Se E Hg NA CADEIA SEDIMENTO-CULTIVAR-CABELO HUMANO

Na tabela 14 e na Figura 53 são apresentadas às concentrações de As, Se e Hg em feijão, folha e sedimento. Destes o As é o elemento mais abundante e o Hg o menos abundante tanto nos sedimentos quanto nos cultivares. Nos cultivares, esses elementos concentram-se mais nas folhas de feijão do que nos grãos, especialmente As e Hg. As maiores concentrações de As e Hg nas folhas do vegetal foram observadas no rio Envira. O conteúdo desses elementos (As, Se e Hg) nos cultivares parece refletir aqueles dos sedimentos, embora não tenha sido observado o valor mais alto no rio Envira (Figura 53).

O CAB para As, Se e Hg em feijão (grãos e folhas) (tabela 15 e Figura 54) mostra a maior absorção pelas folhas no rio Envira, ou seja, embora com valores mais baixos de (As) este parece mais disponível. Isto coincide com maior disponibilidade de K, Ca, Mg e P do rio Envira (Figura 46) verificada em gramíneas.

Tabela 14: Distribuição da concentração (ppb) de As, Se e Hg em feijão (grão e folha) e sedimento nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.

	Juruá	Tarauacá	Envira	Juruá	Tarauacá	Envira	Juruá	Tarauacá	Envira
	Grão			Folha			sedimento		
As	530,4	700,8	623,1	1200,0	1220,0	2225,0	3723,0	3262,5	2752,5
Se	27,3	30,4	22,2	30,2	28,6	29,3	32,2	31,7	28,2
Hg	3,0	2,8	3,0	10,5	8,0	15,5	22,7	22,5	22,2

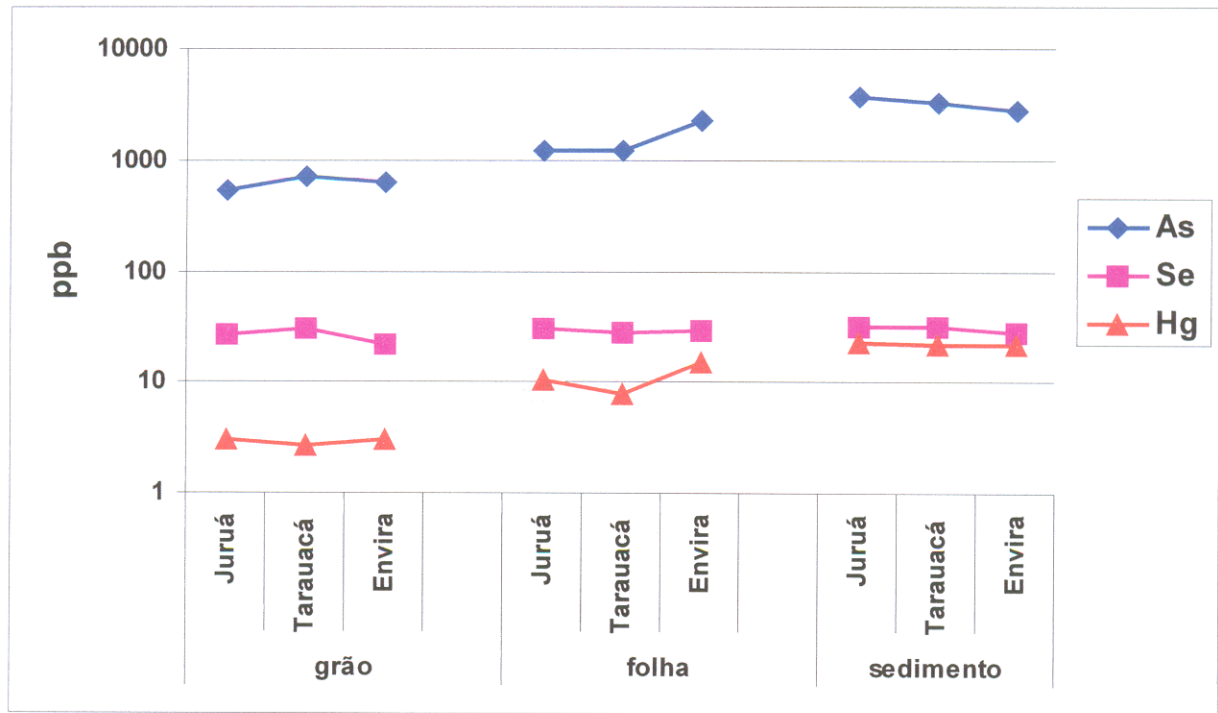


Figura 52: Concentração de As e Se em feijão (grão e folha) nos rios Juruá, Tarauacá e Envira

Tabela 15: Coeficiente de Absorção Biológica (CAB) para grãos e folhas de feijão coletados nos sedimentos de praia dos rios Juruá, Tarauacá e Envira.

	juruá		Tarauacá		Envira	
CAB	grão	folha	grão	folha	grão	folha
As	0,14	0,32	0,21	0,37	0,23	0,81
Se	0,85	0,94	0,96	0,90	0,79	1,04
Hg	0,13	0,46	0,12	0,36	0,14	0,70

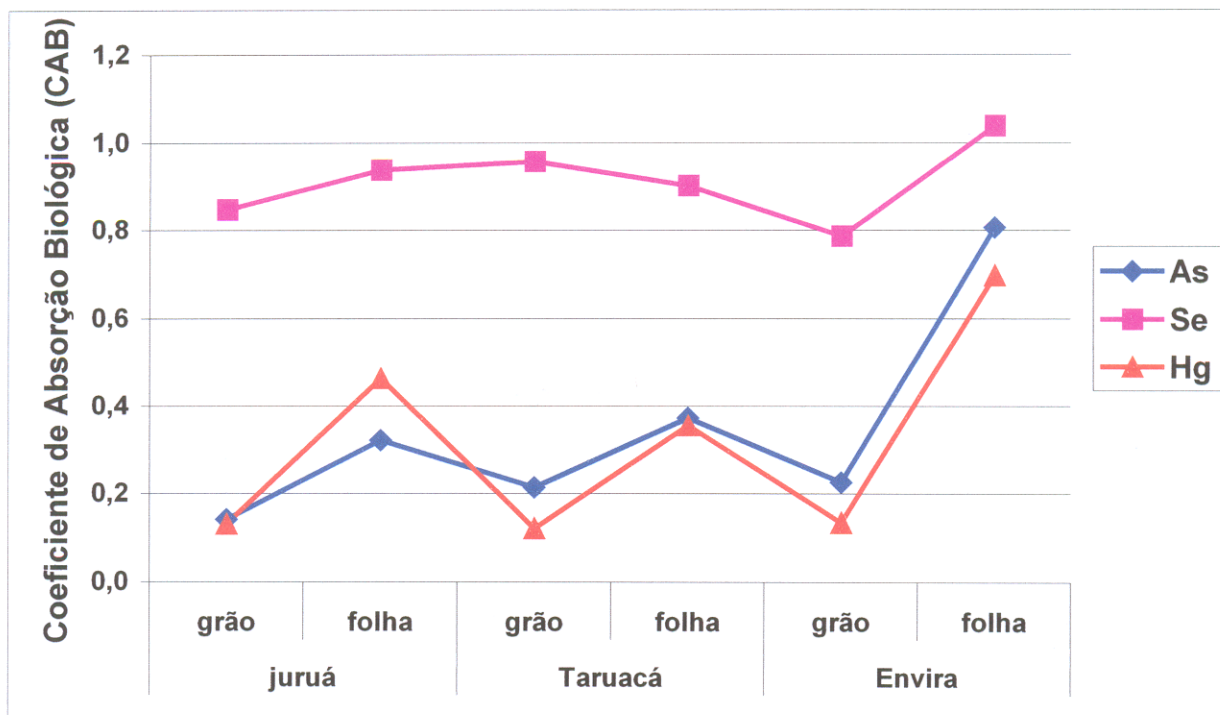


Figura 53: Distribuição do CAB em grãos e folhas de feijão cultivados nos rios Juruá, Tarauacá e Envira.

6.4.1 Hg em cabelos de humanos

Foram também analisadas 324 amostras de cabelo de habitantes das cidades ribeirinhas, sendo 63 na cidade de Feijó, 52 em Tarauacá, 159 em Cruzeiro do Sul e 50 em Rodrigues Alves. A concentração média geral de mercúrio em cabelos de ribeirinhos que vivem nas cidades investigadas da bacia do rio Juruá, é de $3992,5 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$. Dentre as cidades avaliadas, a que apresentou menor concentração média de mercúrio foi Feijó, com $1680 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$ (variação: $20 \mu\text{gHg.kg}^{-1} - 6720 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$) e a que apresentou maior concentração média foi Cruzeiro do Sul, com $6240 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$ (variação $29 \mu\text{gHg.kg}^{-1} - 38000 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$) (figura 55). Os valores médios da bacia do Juruá encontram-se, no entanto abaixo da média encontrada na cidade de Manoel Urbano, na bacia do rio Purus, que é de $14000 \mu\text{g.kg}^{-1}$, com significância estatística $<0,001$ (Jesus et al, 2003). Levando-se em consideração que a OMS apresenta como indicador de exposição para áreas não impactadas valores médios de $2000 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$ e para populações expostas $6000 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$ (WHO, 1990), os valores médios

encontrados na Bacia do rio Juruá no Estado do Acre podem ser considerados elevados, já que se encontram em uma região sem qualquer indício de impacto antropogênico, com Cruzeiro do Sul apresentando os valores mais elevados (média: $6240 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$) e os moradores de Feijó os menos elevados e abaixo da linha de referência para áreas não impactadas, estabelecida pela Organização Mundial de Saúde.

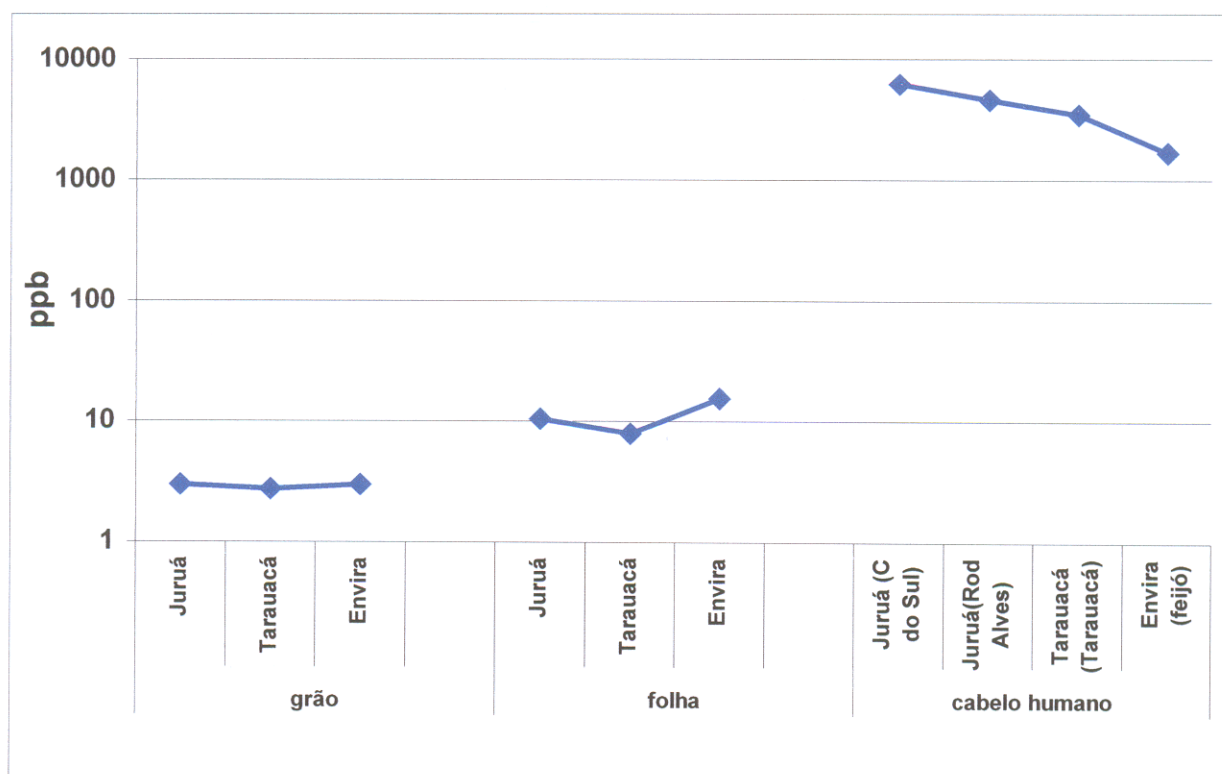


Figura 54: Distribuição das concentrações de Hg em grãos e folhas de feijão e em cabelos humanos (média para cada cidade) nas principais cidades da bacia do Juruá, no estado do Acre.

6.4.1.1 Ciclo de Hg na cadeia sedimento-cultivar-humano

A análise de mercúrio na cadeia sedimento-cultivar-humano (figura 55) revela que o mercúrio se encontra em concentrações baixas nos sedimentos e cultivares (folha e grão de feijão). Por outro lado os valores médios de Hg em cabelo humano revelaram-se elevados quando comparados com dados da WHO (1990), que seriam indicadores de exposição de área impactada. Não há indícios de impacto antropogênico e os

sedimentos analisados, bem como o cultivar (feijão) plantado sobre estes sedimentos não indica anomalias naturais de Hg. Portanto na dieta a base de feijão ou outro cultivar de praia, como milho, pobres em Hg, não respondem pelos seus valores elevados encontrados no cabelo.

6.4.1.2 Possível fonte de valores anômalos de Hg em cabelos de humanos

Tendo em vista os valores elevados de Hg encontrados em peixes carnívoros do leste do Acre, bem como em ossos fósseis (Brabo *et al*, 2003) a princípio uma dieta baseada em peixes carnívoros poderia explicar, pelo menos em parte, as concentrações elevadas de Hg encontradas nos cabelos humanos no vale do Juruá. Provavelmente os peixes carnívoros são verdadeiros bioacumuladores de Hg como identificado por Padberg (1990) a partir de *habitat* com teores normais desse elemento. Isto permite inferir que deva existir uma relação evolutiva entre o mercúrio em ossos fósseis e os peixes carnívoros atuais desses rios, cuja fonte deve ser mais estudada, enquanto os cultivares via sedimento-solo de praia, com teores muito baixos, parecem não fazer parte da cadeia mercurial de bioacumulação humana. Surpreende o fato de que haja grande variação do conteúdo de Hg na mesma bacia hidrográfica, que drena uma mesma unidade geológica, a Formação Solimões, constituída basicamente de sedimentos siltoargilosos. Possivelmente elementos culturais como uma dieta mais carnívora em Cruzeiro do Sul, explique os valores anormais de Hg dessa parte da bacia. Os habitantes desse município também têm dieta alimentar complementada ou centrada em carne de caça e suína, ao contrário de Feijó e Tarauacá.

7 CONCLUSÕES

Os rios que constituem a bacia do rio Juruá na porção ocidental do Estado do Acre, com destaque para os rios Envira, Tarauacá, Muru e Juruá, são em geral de águas barrentas, e com grande quantidade de material em suspensão (suspensato). São rios de águas neutras a alcalinas com valores de pH mais elevados nos rios Envira e Tarauacá, que também se destacam pelos valores relativamente altos de OD, TDS e salinidade comparados a outros rios da Amazônia.

Durante o verão, época da vazante, esses rios apresentam extensas praias, equivalentes às barras de pontais, além de barrancos cobertos parcialmente com sedimentos recentes. À medida que suas águas vão baixando e as praias se ampliando, as mesmas vão sendo utilizadas para culturas de pequeno ciclo, como feijão, milho, melancia, entre outras, indicando que os sedimentos destas praias se comportam solos, pois se prestam a agricultura. Os estudos realizados mostram que em geral os sedimentos de praia são siltosos e compostos por quartzo, grãos de agregados de argilominerais (esmectita, illita e caulinita), feldspato e muscovita. Os grãos são de baixa esfericidade e arredondamento. Quimicamente são constituídos por SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , além de K_2O e MgO , em valores acima daqueles encontrados nas praias (barra em pontal) da maioria dos rios amazônicos investigados para esse fim, a exemplo dos trabalhos de Franzinelli & Poter (1985).

A fertilidade destes sedimentos de praia empiricamente conhecida dos ribeirinhos, foi demonstrada neste trabalho através da alta disponibilidade de K, S, Ca, P, Mn, Zn, Cu, B e Mo, elementos estes amplamente conhecidos como macro e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento da vida vegetal. Nas folhas dos vegetais foram encontrados valores de concentração de K, S, P e em parte Ca e Mg acima da faixa de suficiência considerada por Malavolta (1992) para gramíneas tanto no capim canarana quanto no capim de orvalho nos três rios estudados, que podem ser explicados através da elevada disponibilidade dos elementos nos solos de praia. O Coeficiente de Absorção Biológica (CAB) para as gramíneas mostra que a transferência se dá na seguinte ordem $\text{K} > \text{P} > \text{Ca} > \text{Mg}$, sendo mais elevada no rio Envira, ou seja, seus sedimentos tem o maior potencial de transferência solo-vegetal dos três rios estudados.

Entre outros elementos estudados, Rb e Sr foram os que apresentaram os maiores valores de concentração e contrastes: Rb concentra-se mais nas canaranas, mas com seus teores diminuindo na direção do rio Juruá para o rio Envira, ao contrário do Ba que se concentra no capim de orvalho e aumenta nesta direção. Estes dois elementos, mesmo não sendo analisados costumeiramente em plantas permitem assim distinguir entre si capim canarana e capim de orvalho.

No feijão as folhas são os tecidos que mais concentram As, Se e Hg, principalmente As. Os valores encontrados nos cultivares e gramíneas de As, Se e Hg parecem refletir suas concentrações encontradas nos sedimentos.

Os sedimentos de praia da bacia do rio Juruá, dentro do Estado do Acre, junto às suas cidades ribeirinhas, são pobres em Hg, da mesma forma como os cultivares, como feijão, cultivados sobre os mesmos. Portanto uma possível ocorrência natural de anomalia mercurial nestes sedimentos-solos, como era de se esperar, em decorrência dos altos valores de Hg encontrados em peixes carnívoros na bacia do Purus, no mesmo Estado, bem como em cabelo humano de ribeirinhos dessa bacia está descartada. Na bacia do Juruá, também os valores de Hg em cabelo humano são elevados, porém inferiores ao Purus, mesmo assim seus valores indicariam impacto antropogênico. Esse impacto não foi detectado, pois além de ser uma região de baixa densidade populacional, é desprovida de atividades industriais simples quiçá de indústrias químicas pesadas. Além disso, não há indícios de mineralizações portadoras de Hg. Dessa forma os valores anormais em cabelo humano, encontrados principalmente em Cruzeiro do Sul, poderiam ser explicados através de uma dieta concentrada em peixes carnívoros, possíveis bioacumuladores de Hg, como foi descrito por Santos *et al* (2002) no vale do rio Purus. Além disso os habitantes de Cruzeiro do Sul têm o hábito de complementar a sua dieta com carne de caça e muita carne suína. Essas matrizes ainda não foram objetos de análises de Hg e fica aqui como sugestão para novas investigações. Em súmula, os dados aqui apresentados, como aqueles de Santos *et al* (2002), mostram que não há indícios de impacto ambiental de Hg no Acre, tanto de ordem geológica como antropogênica. Os valores elevados de Hg em cabelo humano podem estar relacionados ao consumo de peixes carnívoros, expressivos

bioacumuladores de Hg a partir de valores de *background*, e mesmo de carne silvestre (tatu – *Tolypentis tricinctus*) e suína.

Os sedimentos das praias e dos barrancos dos rios de água branca da região central e ocidental do Acre (bacia do Juruá) são de fato férteis, adequados a agricultura de pequeno ciclo, e seus nutrientes e outros elementos são assimilados plenamente pelos vegetais e cultivares. A composição química dos sedimentos e dos cultivares, assim como de cabelos humanos, mostra que a região não apresenta quaisquer anomalias geoquímicas dentro do espectro dos elementos analisados, seja ela natural (geológica) ou antropogênica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACTLABS Group Website Canadian Schedule of Services and Fees, 2000.
<<http://www.actlabs.com/docs/Service%20Guide%20-%20Canada%20-0web.pdf>>.
Acesso em jan de 2000.
- AKAGI, H. 1998. **Studies on mercury pollution in the Amazon, Brazil**. Global Environmental Research. 2(2):193-202.
- 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. 152p.(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**. IX Congresso Brasileiro de Geoquímica (anais). Belém-Pará. 174-177p
- ATSDR-Agency for toxic substances and disease registry, 1996 – **Toxicological profile for Selenium**, PHS-UDHHS-USA.
- ATSDR-Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2000. **Toxicological profile for arsenic** U. S. Departament of health and Humam Services. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, USA.
- AZEVEDO, F. A. & CHASSIN, A., A., M. 2003. **Metais: gerenciamento da toxicidade**. São Paulo-SP. Ed Atheneu. p. 239-259.
- BAKIR F, DAMLUJI SF, AMIM-ZAKI L,MURTADHA M, KHALIDY A, AL RAWI NY, TIKRITTI S, DHAHIL HI, CLARKISON TW, SMITH JC, DOROTHY RA, 1973. **Methylmercury poisong in Iraq**. *Science* **180**, 230-241.
- BERGQVIST, L .P; RIBEIRO, A. M; BOCQUENTIN-VILLANUEVA, J. 1998. **Primatas, roedores e liptoternas do Mio-Plioceno da Amazônia Sul Ocidental (Formação Solimões, Bacia do Acre), Brasil**. *Geologia Colombiana.*, **23**: 19-29.
- BRABO, E.S., ANGÉLICA, R.S., SILVA, A.P., FAIAL, K.R.F., MASCARENHAS, A.F.S., SANTOS, E.C.O., JESUS, I.M., LOUREIRO, E.C.B. 2003. **Assessment of mercury levels in soils, watwers, bottom sediments and fishes of Acre State in Brazilian Amazon**. *Water, Air, and Soil Pollution* **147**: 61-77.

- BRANCHES, F. R. Y., ERICKSON, T. B., AKS, S. E., HRYHORCZUK, D. O. 1993. **He prime of Void: mercury exposure in the Amazonian.** Rain forest. *Journal of Toxicology* 295-306.
- CARAPPELLA S.C., 1992. **Arsenic and arsenic alloys.** In: Kroschwitz, J. I., Howe-Grant, M. Ed. *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology.* New York, NY: John Wiley and Sons. v. 3, p. 624-633.
- CARROLL, D. 1974. **Clay Mineral: A Guide to Their X-ray Identification.** *The Geological Society of America. Special Paper:* 75p.
- COSTA, M. L.; ALMEIDA H. D. F.; REGO, J. A. R.; VIANA, E. C. A.; MARTINS, M. M. M. 2002. **Os sedimentos de praias do estado do Acre: Natureza imatura e aptidão agrícola.** Resumo. Congresso Brasileiro de Geologia. p. 355.
- CRUMP K., LANDINGHAM C., SHAMLA Y. E. C., DAVIDSON P., MYERS G., CLARKSON T. 2000. **Benchmark concentrations for methylmercury obtained from the Seychelles child development study.** *Health perspectives* **108**: 257-263.
- D'ITRI F., M., 1972. **Biological Methylamines of mercury i the environmental.** In: D'ITRI FM (Ed). *The environmental mercury problem.* Cleveland: CRC Press, p 167.
- DABEKA, R. W.; MCKENZIE, A. D.; LACROIX, G. M. A.; CLEROUX, C.; BOWE, S.; GRAHAM, R. A.; CONACHER, H. B. S.; VERDIER, P. 1993. **Survey of arsenic in total diet food composites and estimation of the dietary intake of arsenic by canadian adults and children.** *J. Assoc. Of Anal. Chem. Int.*, v.76, n.1, p.14-25.
- EMBRAPA 1999. **Perguntas mais frequentes sobre fertilidade.** Disponível em <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/faqfert/faqfert.html>. Acesso em 19 nov 2004.
- FDA. Food and Drug Administratio, 2001. **Guidance Document for arsenic in shelfish.** Disponível em: <<http://www.cfsan.fda.gov/~frf/guid.as.html>>. Acesso em 32 de out 2001.
- FERNANDES, R. S.; GUIMARÃES, A. F.; BIDONE, E. D.; LACERDA, L. D. & PFEIFFER, W. C., 1990. **Monitoramento do mercúrio na área do projeto Carajás.** In: *Seminário Nacional Riscos e Conseqüências do Uso do Mercúrio* (S. Hacon; L. D. Lacerda; W. C. Pfeiffer & D. Carvalho, eds.), pp. 211-228, Rio de Janeiro: Finep/UFRJ.

- FRANZINELLI, E. & POTTER, P.E. 1985. **Areias recentes dos rios da Bacia Amazônica: petrográfica, textural e química**. Revista Brasileira de geociências. **15(3)**: 213-220.
- GOYER R., E., 1996. **Toxics effects of metals**. In: KLAASSEMCD. (Ed), Casarett and Doull's Toxicology, the basic science of poisons, 5th Ed., New York, McGraw Hill, pp. 691-736.
- GRAEME A.K. & POLLOCK C. V. 1998, **Heavy metal toxicity**, part I: arsenic and mercury, *The Journal of Emergency Medicine*, v. 16, n. 1, p. 45-56
- GRANDJEAN P., WEIHE P., WHITE R. F., 2000. **Delayed neurotoxicity due to developmental exposure the methylmercury**. *International Conference on Heavy metals in the Enviroment*, pp: contr 1162.
- GUYOT J.L., FILIZOLA N., GUIMARÃES V. 1996. **Amazon suspended sediment yield measurements using an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)**. First results. In Hydrology in the Humid Tropic Environment, IAHS, Kingston, Nov. 1996.
- HILDEBRAND S. G., HUCKABEE J. W., SANZDIAZ F., JANZEN S. A., KUMAR K. D., 1980. **Distribution of mercury in the enviroment al Almadén, Spain**. Oak Ridge National Laboratory.
- IARC, 1980. **Monografs on the evaluation of carcinogenic risk of chemical to man**. Vol. 23, Some metals and metallic compounds.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2000. N. 3, Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em [http:// http://www.ibge.gov.br/ibge/ estatistica/populcao/censo2000/default.shtm](http://www.ibge.gov.br/ibge/estatistica/populcao/censo2000/default.shtm)>. Acesso 20 abr. 2001.
- JAIN & ALI I, 2000. **Arsenic: ocorrence, toxicity and especiation techniques**. Wat. Res. V. 34, n. 17, p. 4303-4312.
- JENSEN, S. & JERNELOV, A. 1969. **Biological methylation of mercury in aquatic organisms**. Nature 223: 753-754.
- JESUS, I.M., SILVA, P.A., SANTOS, O.E., BRABO, E.S., CÂMARA, V.M., MASCARENHAS, A.F.S., FAIAL, K.F., LOUREIRO, E.C.B., 2003. **Mercúrio em populações de áreas sem impacto ambiental de garimpagem de ouro na Amazônia brasileira, Estado do Acre, Brasil**. In: IX Congr. Bras. Geoq., IX, Belém, SBGq., Anais. 1: 109-111.

- KIRK-OTHMER 1992. **Encyclopedia of Chemical Technology**, 3rd ed., John Wiley & Sons: New York, , vol. 12.
- KNIGHT, P. 1997. **New cheaper transport routes for Brazilian soya exports will boost production development**. *Oils & Fats International*, vol.13(3): 15-17.
- LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W. C.; OTT, A. T. & SILVEIRA, E. G., 1988. **Mercury contamination in the Madeira river, Amazon – Hg inputs to the environmental**. *Biotropica*, 21:91-93.
- LATRUBESSE E. M. & RAMONELL C.G. 1994. **A climatic model for southwestern Amazônia in last glacial times**. In: M. Iriondo (ed.). *Quaternary of South America*, 21:163-169.
- LEBEL, J.; ROULET, M.; MERGLER, D.; LUCOTTE, M.; LARRIBE, F. 1997. **Fish diet and exposure in a riparian Amazon population**. *Water, Air and Soil Pollution*, 97: 31-44.
- LECHER P. J., MILLER J. R., LACERDA L. D., VINSON D., BOZONGO J. C., LYONS W. B., WARWICK J. J., 2000. **Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments**. *The Science of the Total Environment* 260: 87-86.
- LEE, J. S.; CHON, H. T., KIM, K., W. 1998. **Migration and dispersion of trace elements in the rock-soil-plant system in areas underlain by black shales and slates of the Okchon Zone, Korea**. *Journal of Geochemical Exploration*. 65. 61-78.
- MALAVOLTA, E. 1992. **ABC da análise de Solos e Folhas: amostragem, interpretação e sugestão de adubação**. Ed Agronômica Ceres – São Paulo-SP.
- MALM O., CASTRO M. B., BASTOS W. R., BRANCHES F. J. P., ZUFFO C. E., PFEIFFER W. C., 1995. **An assessment of mercury pollution in different gold-mining areas, Amazon Brazil**: *The Science of the Total Environment* 175: 127-140.
- MARSH D., CLARCKSON T., MYERS G., DAVIDSON P., COX C., CERNICHERF E., TANNER M., LEDNAR W., SHAMLAYEC, CHOYSI O., HORAREAU C., BERLIN M., 1995. **The Seychelles study of fetal methylmercury exposure and child development: Introduction**: *Neurotoxicology* 16: 583-596.
- MASCARENHAS, A. F.S.; Brabo, E.S.; SILVA a. p., Faial, K.F., Jesus, I.M.; Santos, E.C. A. 2004. **Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material**

- particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil.** VOL. 34(1) Manaus, AM, p. 61 - 68.
- MIRANDA, E. E & COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 1 mar. 2005.
- MOORE, D. M. & REYNOLDS JR, R. C. 1997. **X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals.** New York, Oxford. 378p.
- MURAI T., IWATA H., OTOSHI T., ENDO G., HORIGUSHI S., FUKUSHIMA S, 1993. **Renal lesions induced in F334/DuCrj rats by 4-weeks oral administration of dimethylarsenic acid.** *Toxic. Lett.*, v.66, p. 53-61.
- MURATA K., WEIHE P., RENZONI A., DEBES F., VASCONCELOS R., ZINO F., ARAKI S., JORGENSEN P. J., WHITE R. F., GRANDFEAN P., 1999. **Delayed evoked potential in children exposure to methyl mercury from sea food.** *Neurotoxicology and teratology* 21: 343-348.
- PADBERG, S., 1990. **Mercury determination in samples from Tapajós river (Itaituba),** Institut for Angewandte Physikalische Chemie ICH-4, Forschungszeutren Jullich Jullich D-5170, 13p.
- PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D.; MALM, O.; SOUZA, C. M. M.; SILVEIRA, E. G. & BASTOS, W. R., 1989. **Mercury concentrations in inland waters of Rondonia, Amazon, Brazil.** *Science Total Environmental*, 87/88: 233-240.
- QUEIROZ, I. R., 1995. **Determinação de metilmercúrio em peixes da região de garimpo.** Dissertação (Mestrado) – Faculdades de Ciências Farmacêuticas de São Paulo, São Paulo.
- RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. 1976. **Levantamento de recursos naturais (geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra).** Folha SC. 19, Rio Branco, v. 12. Rio de Janeiro. DNPM.
- REUTHER, R. 1994. **Mercury accumulation in sediment and fish from rivers affected by alluvial gold mining in the Brazilian Madeira Basin, Amazon.** *Environmental Monitoring and Assessment* 32, 239-258.

- RHEINBOLDT H., 1988. **História da Balança e A Vida de J. J. Berzelius**, Nova Stella Editorial, EDUSP (coeditora) 1ª ed. São Paulo, Brasil.
- RODRÍGUEZ M. D. R. C., WASSERMAN J. C., BERZAS N. J. J., GARCIA B. L. F., AMOROUX D., DONARD O. F. X., 2000. **Chemical availability of mercury in stream sediments from the Almadén area, Spain.** *Journal of Environmental Monitoring* 2: 360-366.
- SANTOS, E. C. O.; JESUS, I. M.; BRABO, E. S.; CÂMARA, V. M.; LOUREIRO, E. C. B.; MASCARENHAS, A. F. S.; FAIAL, K. F. F.; SILVA, A. P.; SILVA, R. U.; LUIZ, R. R.; HIGUCHI, H. 2002. **Exposure to mercury in the urban population of Rio Branco city, State of Acre, Brazil.** *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, New York, 69(3): 314-319.
- SANTOS, E. C. O.; JESUS, I. M.; BRABO, E. S.; LOUREIRO, E. C. B.; MASCARENHAS, A. F.; WEIRICH, J.; CÂMARA, V. M. & CLEARY, D., 2000. **Mercury exposure in riverside Amazon communities in Pará, Brazil.** *Environmental Research*, 84:100-107.
- SCHOOF RA, YOST LJ, CRECELIUS E, IRGOLIC K, GOESSLER W, GUO HR, ET AL. 1998. **Dietary arsenic intake in Taiwanese districts with elevated arsenic in drinking water.** *Human Ecol Risk Assess* 4:117-135.
- SILVA, A P.; SANTOS, E.C.; BRABO, E.S.; CÂMARA, V.M.; MASCARENHAS, A.F.S.; JESUS, I.M.; FAIAL, K.R.F., LOUREIRO E.C.B. 1999. Contribuição ao estudo da poluição por mercúrio no Estado do Acre. *Revista Saúde e Ambiente*, 31(1/2): 34-42.
- SIOLI, H., 1975. **Tropical rivers as expressions for their terrestrial environments.** Pp. 275-288. In: Golley, F.B. y Medina, E. (eds.): *Tropical Ecological Systems. Trends in terrestrial and aquatic research.* Springer-Verlag, New York.
- SWENSSON, A.; ULFARSSON, V.; 1963. **Toxicology of organic mercury compounds used as fungicides.** *Occup Health Ver.*, v.15, p. 5-11.
- TAYLOR, S.R. AND MCLENNAN, S.M. 1985. **The Continental Crust; its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks.** *Blackwell, Oxford.* 312.

- USGS. Minerals information. Mineral Commodity Summaries 2001: **Arsenic**. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/arsenic/160301pdf>. Acesso em: 13 jan 2002.
- VAN DOKKUM, W.; DE VOS, R.H.; MUYS, T.H.; WESSTRA, J.A. 1989. **Mineral and trace elements in total diets in The Netherlands**. Brit. J. Nutr., v. 61, p. 7-15.
- VIRRAGHAVAN T., SUBRAMANIAN K.S., ARULDOSS J.A., 1999. **Arsenic in drinking water-problems and solutions**. Wat. Sci. Tech., a. 40. n.2, p, 113-120.
- WEBELEMENTS. Here is a brief summary of mercury 2005: **Mercury**. Disponível em: <http://www.webelements.com>. Acesso em: 12 jun 2005
- WEDEPOHL, K. H. (1995) "*The composition of the continental crust*". Geochimica et cosmochimica Acta. Elsevier Science (Pergamon). Vol. 59, nº 7, pp. 1271-1232,
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2001. Environmental Health Criteria 224: **Arsenic and arsenic compounds**. World Health Organization, Geneva, p. 201.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 1990. **Methylmercury**. World Health Organization. Geneva. 101-114p.
- YAMADA M., MINAMI T., YAMADA G., TOHNO Y., TOHNO S., IKEDA Y., TASHIRO T., CONO Y., KAWAKAMI K., 1986. **Different element ratios of red cosmetics excavated from ancient burials of Japan**. *Sci Total Environ.*, v. 1999, n. 3, p. 293-298.
- YAMANAKA K., OHTSUBO K., HASEGAWA A., HAYASHI H., OUI H., KANISAWA M., OKADA S., 1996. **Exposure do dimethylarsenic acid, a main metabolite of inorganic arsenics, strongly promotes tumorigenesis initiated by 4-nitroquinolone 1-oxide in the lungs of mice**. *Carcinogenesis.*, v. 17, p. 767-770.
- YANG, S.; JUNG, H., S.; LI, C. 2003. **Two unique weathering regimes en the Changjiang and Huanghe basins: geochemical evidence from river sediments**. *Sedimentary Geology. (Aarticle in press)*.
- ZAKIA, M.J.B. 2000. **Clima**. In: ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre.
- ZEE - Zoneamento ecológico-econômico do Estado do Acre. 2000, Zoneamento ecológico-econômico: **Recursos naturais e meio ambiente** – documento final. Rio Branco: SECTMA, V. I.

ANEXOS

ANEXO A. CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM SEDIMENTOS E VEGETAIS (ÁGUA RÉGIA + ICP-MS). (Continua)

From ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD. 852 E. HASTINGS ST. VANCOUVER BC V6A 1R6 PHONE(604)253-3158 FAX(604)253-1716 @ CSV TEXT FORMAT

To Universidade Federal do Para

Acme file # A351082 Received: JUL 8 2003 * 25 samples in this disk file.

Analysis: GROUP 1VE - 1.000 GM

Amostras	Envira			Tarauacá			Juruá			Milho	Feijão	Sedimento							
	Canarana	Orvalho	Sedimento	Canarana	Orvalho	Sedimento	Canarana	Orvalho	Sedimento										
	V01d	V02b	V02c	S02a	V03a	V05a	V03c	V05b	S03a	V07c	V09a	V11e	V07d	V11d	V07b	V09c	V11b	V11c	S07a
	%																		
K	2,93	4,44	3,66	0,06	4,04	2,64	2,85	1,79	0,09	2,84	2,97	2,36	2,63	1,96	3,74	3,91	2,84	1,44	0,13
S	1,02	1,31	0,92	< .01	0,80	1,22	0,82	0,57	< .01	2,02	1,34	1,31	0,59	0,44	0,19	0,21	0,30	0,63	< .01
Ca	0,73	0,99	0,60	0,20	0,19	0,78	0,55	0,43	0,44	1,17	0,69	0,83	0,27	0,34	0,41	0,59	0,53	0,53	0,47
Mg	0,30	0,42	0,15	0,17	0,12	0,34	0,13	0,13	0,25	0,50	0,35	0,30	0,11	0,14	0,12	0,15	0,22	0,15	0,34
P	0,25	0,38	0,33	0,02	0,33	0,29	0,25	0,27	0,02	0,45	0,31	0,27	0,25	0,20	0,35	0,28	0,31	0,22	0,03
Na	0,01	0,30	0,02	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Fe	0,00	0,02	0,01	1,23	0,01	0,01	0,02	0,03	1,64	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	2,23
Al	< .01	0,01	0,01	0,73	< .01	< .01	0,01	0,02	1,21	0,01	< .01	< .01	< .01	< .01	0,01	0,02	0,01	< .01	1,64
Ti	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ppm																		
B	8,0	18,0	4,0	1,0	6,0	8,0	6,0	3,0	2,0	7,0	6,0	7,0	5,0	5,0	6,0	6,0	10,0	5,0	< 1
Mn	93,0	359	131	223	66,0	89,0	73,0	133	463	515	218	546	324	265	72	96,0	48,0	88,0	628
Cu	7,8	10,3	10,4	7,1	7,9	11,4	9,7	5,9	11,2	13,2	7,0	6,0	6,4	5,9	8,7	9,6	10,3	4,2	17,3
Zn	19,9	33,3	30,2	29,2	29,4	52,4	29,8	36,1	42,9	67,4	35,2	39,6	29,0	24,9	19,4	30,9	12,5	27,0	58,7
Mo	0,5	1,2	0,4	0,1	1,4	0,9	0,5	0,3	0,2	1,9	0,8	1,3	0,8	0,2	0,4	1,5	0,4	0,4	0,3
Rb	32,6	21,8	10,9	8,0	16,9	40,7	9,6	21,8	12,5	35,0	36,2	31,3	20,7	18,9	29,8	28,4	23,5	13,1	15,4
Ba	7,2	19,3	53,5	60,3	6,3	6,8	61,3	47,8	92,6	12,8	9,2	7,7	37,0	33,0	17,3	22,0	14,5	32,8	140
Sr	16,9	28,1	16,1	13,3	4,0	17,4	15,6	12,3	19,4	38,0	21,3	25,3	9,9	11,8	15,1	22,6	15,9	21,7	29,3
Cr	2,6	2,8	4,1	8,2	2,8	2,8	5,3	5,1	12,0	3,7	2,4	2,5	3,8	4,6	2,6	4,1	3,0	4,7	15,4
Ni	1,2	1,2	1,3	8,5	1,2	1,3	2,5	2,6	11,2	1,6	0,7	0,6	1,9	2,1	0,9	1,4	1,0	1,8	16,7
Co	0,3	1,5	0,2	6,4	0,3	0,3	0,2	0,5	8,5	0,4	0,3	0,5	0,5	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2	13,2
As	0,2	0,5	0,4	2,0	0,3	< .1	0,1	0,4	3,3	< .1	< .1	< .1	0,2	0,4	0,1	0,3	0,1	0,6	4,3
Sn	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,6	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,1	0,2	0,2	0,7
Sc	0,3	0,2	0,3	1,8	0,3	0,2	0,3	0,2	2,7	0,2	0,2	0,1	< .1	0,2	0,2	0,3	0,2	< .1	3,7
Pb	0,2	0,1	0,3	7,6	0,2	0,1	0,3	0,3	11,5	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	13,6
Ce	0,0	0,1	0,1	20,7	0,1	0,1	0,2	0,6	32,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,6	0,2	0,1	36,3
Ge	0,1	0,1	0,1	< .1	0,1	0,1	0,1	0,1	< .1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	< .1
La	0,0	0,1	0,1	10,3	0,0	0,1	0,1	0,3	16,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	16,9
Cs	0,1	0,0	0,0	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	1,4

CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM SEDIMENTOS E VEGETAIS
(ÁGUA RÉGIA + ICP-MS). (Conclusão)

Y	0,0	0,1	0,0	4,9	0,0	0,0	0,1	0,2	8,9	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	10,0
Zr	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,1	0,1	2,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,7
Se	0,2	0,2	0,2	<.1	0,2	0,1	0,1	0,1	<.1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1
Hf	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	<.001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Nb	<.001	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	<.001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Li	0,0	10,3	0,2	6,2	0,0	0,0	0,2	0,2	8,2	0,0	<.01	<.01	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	13,0
Ta	0,0	<.001	<.001	<.05	0,0	0,0	0,0	0,0	<.05	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.05
Th	<.01	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,1	4,5	0,0	<.01	<.01	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	5,3
Cd	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2
Bi	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	<.02	<.02	<.02	0,1	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	0,0	<.02	0,2
U	<.01	<.01	<.01	0,4	<.01	<.01	0,0	0,0	0,7	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	0,0	0,0	<.01	<.01	0,9
Sb	<.02	<.02	<.02	0,2	<.02	<.02	<.02	<.02	0,2	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	0,2
V	<2	<2	<2	22,0	<2	<2	<2	<2	28,0	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	36,0
Tl	<.02	<.02	<.02	0,1	<.02	<.02	<.02	0,0	0,1	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	0,1
Ga	<.1	<.1	<.1	2,2	<.1	<.1	<.1	0,1	3,2	0,1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	0,1	<.1	<.1	4,6
In	<.02	<.02	<.02	0,0	<.02	<.02	<.02	<.02	0,0	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	0,0
Be	<.1	<.1	<.1	0,5	<.1	<.1	<.1	<.1	1,0	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	0,1	<.1	<.1	1,4
W	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1	<.1
Te	<.02	0,0	0,0	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02	<.02
Ppb																			
Re	<2	<2	<2	<1	<2	<2	<2	<2	<1	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	<2	<2	<1
Au	16,3	8,8	3,6	0,3	18,9	10,1	22,0	13,9	1,1	6,2	18,2	22,4	14,0	19,4	4,2	21,5	19,1	3,7	1,0
Ag	13,0	3,0	2,0	15,0	6,0	9,0	9,0	7,0	15,0	5,0	6,0	9,0	6,0	11,0	5,0	8,0	10,0	2,0	19,0
Hg	1,0	3,0	4,0	15,0	5,0	3,0	7,0	6,0	26,0	3,0	4,0	6,0	6,0	6,0	5,0	4,0	5,0	5,0	32,0